



Это цифровая копия книги, хранящейся для потомков на библиотечных полках, прежде чем ее отсканировали сотрудники компании Google в рамках проекта, цель которого - сделать книги со всего мира доступными через Интернет.

Прошло достаточно много времени для того, чтобы срок действия авторских прав на эту книгу истек, и она перешла в свободный доступ. Книга переходит в свободный доступ, если на нее не были поданы авторские права или срок действия авторских прав истек. Переход книги в свободный доступ в разных странах осуществляется по-разному. Книги, перешедшие в свободный доступ, это наш ключ к прошлому, к богатствам истории и культуры, а также к знаниям, которые часто трудно найти.

В этом файле сохранятся все примечания, комментарии и другие записи, существующие в оригинальном издании, как наименование о том долгом пути, который книга прошла от издателя до библиотеки и в конечном итоге до Вас.

Правила использования

Компания Google гордится тем, что сотрудничает с библиотеками, чтобы перевести книги, перешедшие в свободный доступ, в цифровой формат и сделать их широкодоступными. Книги, перешедшие в свободный доступ, принадлежат обществу, а мы лишь хранители этого достояния. Тем не менее, эти книги достаточно дорого стоят, поэтому, чтобы и в дальнейшем предоставлять этот ресурс, мы предприняли некоторые действия, предотвращающие коммерческое использование книг, в том числе установив технические ограничения на автоматические запросы.

Мы также просим Вас о следующем.

- Не используйте файлы в коммерческих целях.
Мы разработали программу Поиск книг Google для всех пользователей, поэтому используйте эти файлы только в личных, некоммерческих целях.
- Не отправляйте автоматические запросы.
Не отправляйте в систему Google автоматические запросы любого вида. Если Вы занимаетесь изучением систем машинного перевода, оптического распознавания символов или других областей, где доступ к большому количеству текста может оказаться полезным, свяжитесь с нами. Для этих целей мы рекомендуем использовать материалы, перешедшие в свободный доступ.
- Не удаляйте атрибуты Google.
В каждом файле есть "водяной знак" Google. Он позволяет пользователям узнать об этом проекте и помогает им найти дополнительные материалы при помощи программы Поиск книг Google. Не удаляйте его.
- Делайте это законно.
Независимо от того, что Вы используете, не забудьте проверить законность своих действий, за которые Вы несете полную ответственность. Не думайте, что если книга перешла в свободный доступ в США, то ее на этом основании могут использовать читатели из других стран. Условия для перехода книги в свободный доступ в разных странах различны, поэтому нет единых правил, позволяющих определить, можно ли в определенном случае использовать определенную книгу. Не думайте, что если книга появилась в Поиске книг Google, то ее можно использовать как угодно и где угодно. Наказание за нарушение авторских прав может быть очень серьезным.

О программе Поиск книг Google

Миссия Google состоит в том, чтобы организовать мировую информацию и сделать ее всесторонне доступной и полезной. Программа Поиск книг Google помогает пользователям найти книги со всего мира, а авторам и издателям - новых читателей. Полнотекстовый поиск по этой книге можно выполнить на странице <http://books.google.com/>



CU50546783

530 P67

Obsheponiatnaia fi



THE LIBRARIES
COLUMBIA UNIVERSITY

GENERAL LIBRARY

obshcheponyatnaya
ОБЩЕПОНЯТНАЯ

gorubaya

gizika

Ф И З И К А,

knizhka

СОСТАВЛЕННАЯ

prof. N. Pisarevskim

Н. Писаревскимъ.

Nikolai Fyodorovich Pisarevskii

Часть I-я.

Издание 2-е, вновь обработанное и значительно увеличенное.

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

ВЪ ТИПОГРАФИИ И. ГЛАЗУНОВА И КОМП.

1854.

ПЕЧАТАТЬ ПОЗВОЛЯЕТСЯ,

**съ тѣмъ, чтобы по отпечатаніи представлено было въ Ценсурный Комитетъ
узаконенное число экземпляровъ. С.-Петербургъ, 23 Марта, 1854 года.**

Ценсоръ Н. Елакинъ.

ЕГО ИМПЕРАТОРСКОМУ ВЫСОЧЕСТВУ

ГОСУДАРЮ НАСЛѢДНИКУ ЦЕСАРЕВИЧУ,

ГЛАВНОМУ НАЧАЛЬНИКУ ВОЕННО-УЧЕБНЫХЪ ЗАВЕДЕНІЙ.

**Съ благорословіемъ посвящаетъ
составитель.**

153667

40841

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Первое изданіе общепонятной физики было вмѣстѣ первымъ опытомъ моимъ популярнаго изложенія этой науки. Я имѣлъ въ виду представить не послѣдовательное и строгое развитіе науки, а только сводъ важнѣйшихъ истинъ и примѣненій основанныхъ на немъ. Цѣлю моею было не обременять читателей точными доказательствами, а познакомить его путемъ преимущественно нагляднымъ съ сущностію выводовъ науки. При этомъ я былъ долженъ пожертвовать точностію, такъ называемой, механической части физики и оптики, могущихъ быть изложенными надлежащимъ образомъ, только при помощи математическаго развитія. Увлекаясь заданною идеею, я уклонялся, къ сожалѣнію, въ иныхъ мѣстахъ отъ научной строгости и поэтому механическая часть физики и статья о свѣтѣ далеко не могли удовлетворить строгому научному разбору.

Благосклонный же пріемъ, оказанный публикою первому изданію моей физики, которая разошлась почти въ теченіи трехъ мѣсяцевъ, лестные отзывы журналовъ, имѣвшихъ въ виду, очевидно, не строгій разборъ, но единственно поощреніе моего труда, и наконецъ покровительство оказанное моей книгѣ министерствомъ народнаго просвѣщенія, удостоившимъ ее принятіемъ въ свое вѣдомство въ видѣ учебнаго пособія, заставили меня обратить полное вниманіе на тщательную разработку 2-го изданія. При этомъ я воспользовался

замѣчаніями извѣстныхъ нашихъ физиковъ Ленца и Перевощикова, указаніями извѣстнаго нашего писателя, по части естественныхъ наукъ, Хотинскаго и совѣтами преподавателей Тыртова, Пчельникова и Чарухина. — Благодаря ихъ указаніямъ, я рѣшился вновь разработать второе изданіе и, пользуясь пребываніемъ моимъ въ Парижѣ въ прошедшемъ году, посѣщалъ съ этою цѣлю курсъ знаменитаго современнаго физика Реньо и лекціи въ Сорбонской школѣ. Взявши за образецъ лучшія современные физическія сочиненія Миллера, Кунчека, Пулье и Гесслера, я старался изложить теперешній мой курсъ съ научною строгостію, такъ чтобы онъ могъ служить пособіемъ при изученіи физики по болѣе подробнымъ руководствамъ. Имѣя также въ виду удовлетворить читателямъ, незнакомымъ съ математикою и требующимъ, такъ называемаго, популярнаго изложенія, я раздѣлилъ всю мою книгу на двѣ части, изъ которыхъ въ одной, напечатанной крупнымъ шрифтомъ, находится все то, что могло быть изложено болѣе нагляднымъ путемъ, безъ математическихъ доказательствъ, а въ другой, напечатанной цѣпикомъ, изложены строгія доказательства, такъ что читатель можетъ по собственному желанію выбирать тотъ или другой способъ изложенія. Поэтому математическія формулы, встрѣчаемыя въ книгѣ, не должны путать тѣхъ, которые желаютъ ознакомиться только съ важнѣйшими истинами науки. Я постоянно имѣлъ въ виду и въ этомъ изданіи послѣдній классъ читателей, зная, что въ настоящее время наука постоянно распространяетъ свою область между большинствомъ публики. Теперь уже миновало то время, когда считали возможнымъ приближеніе къ такъ называемому святилищу науки только въ жреческомъ облаченіи. Въ настоящее время съ равнымъ доступомъ можетъ приближаться къ олтарю ея каждый, желающій озарить свой умъ благотворнымъ свѣтомъ познанія. Наука съ одинаковымъ радушіемъ должна открывать неистощимыя свои сокровища какъ мыслителю, вникающему въ малѣйшія подробности, такъ и обыкновенному человѣку, черпающему изъ сокровищницы науки только то, что позволяютъ его силы.

Я воспользовался въ настоящемъ изданіи однимъ весьма важнымъ замѣчаніемъ, сдѣланнымъ мнѣ нѣкоторыми изъ указанныхъ выше лицъ, чтобы отдѣлить сущность науки отъ примѣненій. Въ этомъ только случаѣ мало знакомый съ физикой можетъ удобно слѣдить за

общей нити, состоящую изъ послѣдовательной связи истинъ науки. Для удовлетворенія этому условію всѣ примѣненія напечатаны пети-томъ. Нѣкоторые весьма важныя примѣненія, какъ напр. фотографія и др., пропущенныя въ первомъ изданіи, помѣщены во второмъ. Я изложилъ съ особенною подробностію химическую статью, важную по приложеніямъ въ общежитіи и по необходимости, для яснаго усвоенія многихъ физическихъ истинъ, въ особенности въ статьѣ о свѣтѣ и электричествѣ. Теорія свѣта изложена отдѣльно послѣ изложенія законовъ отраженія, преломленія и разложенія свѣта. Прибавлена новая статья о метеорологическихъ явленіяхъ. Всѣ новыя наблюденія и открытія не упущены изъ виду. Лучшія модели различныхъ приборовъ сняты для курса, во многихъ случаяхъ, съ натуры, такъ что въ настоящей книгѣ можно встрѣтить много фигуръ, не попадающихся въ другихъ курсахъ физики.

Изданіе это обогащено многочисленными и превосходно исполненными фигурами, число которыхъ въ одной первой части почти равно числу фигуръ всего сочиненія при первомъ изданіи. Всѣ неудовлетворительныя старыя фигуры замѣнены новыми, выполненными лучшими заграничными художниками.

Насъ упрекали нѣкоторые за описаніе различныхъ физическихъ приборовъ, говоря что изученіе физики не должно заключаться въ описаніи физическаго кабинета. На это замѣчаніе можно отвѣтить слѣдующимъ вопросомъ: какую невыгоду имѣетъ описаніе двухъ приборовъ, служащихъ для повѣрки какого нибудь доказаннаго закона? По всей вѣроятности только ту, что даетъ понятіе о различіи способовъ, употребляемыхъ для достиженія одной и той же цѣли. Лица, приводящія подобные упреки и заботящіяся о томъ, чтобы изложеніе развивало учащагося, упускаютъ изъ виду, что это различное разсматриваніе одного предмета именно и способствуетъ наибольшему развитію. Въмѣстѣ съ тѣмъ оно показываетъ ходъ усовершенствованій по части опытовъ, служащихъ важнѣйшими средствами для изученія законовъ природы. Напр. въ настоящемъ курсѣ помѣщено нѣсколько машинъ для повѣрки законовъ равноускореннаго движенія. Машина Атвуда помѣщена, какъ по важности основанія своего устройства, такъ и потому, что она встрѣчается почти въ каждомъ физическомъ кабинетѣ. Спрашивается, почему же послѣ того нельзя показать изучающему, что той же самой цѣли можно дости-

гнуть совершенно другимъ способомъ посредствомъ вращающагося цилиндра Морена. Почему же наконецъ не указать, что этотъ вращающійся цилиндръ можетъ быть устроенъ весьма просто по системѣ Секретана для каждаго физическаго кабинета и при томъ, судя по средствамъ послѣдняго, различнымъ образомъ. Почему напр. требовать, чтобы въ физикѣ описывались исключительно только банальныя приборы, встрѣчающіеся въ каждомъ курсѣ. Видѣ нельзя же довольствоваться описаніемъ одного барометра съ чашечкою и умолчать о сифонномъ и другихъ усовершенствованіяхъ ртутнаго барометра. Обыкновенно описываютъ ихъ въ различныхъ курсахъ физики, потому что приборы эти весьма употребительны. Почему же не описать анероиднаго барометра, который въ настоящее время значительно распространенъ. Какъ не привести описанія различныхъ насосовъ: этимъ показывается ходъ развитія послѣднихъ машинъ и вмѣстѣ съ тѣмъ получается возможность удовлетворить различнымъ требованіямъ изучающаго, потому что одному изъ нихъ нужно описаніе такого, а другому инаго насоса. Намъ скажутъ, въ чему же описаніе различныхъ машинъ, употребляемыхъ въ обществѣ, какъ напр. *лампы, кузнечныхъ молотовъ* и т. п.? На это мы отвѣтимъ, что каждый приборъ имѣетъ относительную важность: что неважно въ глазахъ одного, то необходимо другому. При составленіи же этого *общепонятнаго* курса я имѣлъ въ виду по возможности удовлетворить самымъ разнообразнымъ требованіямъ. Обремененіе курса подобными примѣненіями было бы тогда вредно, если бы они стояли на первомъ планѣ. Чтобы отдѣлить примѣненія отъ такъ называемой сущности науки, они напечатаны петитомъ. Для доказательства важности примѣненій стоитъ только указать на лучшіе курсы физики Миллера, Пулье, Кунчека, Гесслера, Баумгартена и другихъ.

Скажемъ теперь нѣсколько словъ о самомъ распредѣленіи статей въ настоящемъ курсѣ. Онъ разбитъ на двѣ части, изъ которыхъ въ первой изложена, такъ называемая, механическая часть физики до явленій колебаній, т. е. явленія притяженія на разстояніи и различные виды частичнаго притяженія. Чтобы доставить себѣ большую свободу въ распредѣленіи статей и вмѣстѣ съ тѣмъ, чтобы имѣть возможность обстоятельно излагать опытные изслѣдованія въ зависимости отъ различныхъ причинъ, имѣющихъ вліяніе на нихъ, я изложилъ въ началѣ, по примѣру Пулье, общій очеркъ физическихъ

явленій. Изъ него начинающій, во первыхъ, можетъ видѣть, изученіемъ какихъ явленій онъ будетъ заниматься и, во вторыхъ, получаетъ хотя краткое понятіе о томъ, что такое центръ тяжести, вѣсъ, термометръ, температура, пары и т. п. наиболѣе необходимыя, при послѣдующемъ изложеніи, приборы и явленія. Это даетъ большой просторъ при изложеніи чисто механической статьи и вообще статьи о равновѣсіи твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ тѣлъ, гдѣ почти на каждомъ шагѣ приходится указывать на зависимость, напр. плотности, упругости и другихъ явленій отъ теплоты. Весьма бы странно было, если бы ученикъ, окончившій половину физики, былъ въ полной увѣренности, что пройденные имъ законы непреложны для всѣхъ случаевъ, и узналъ бы только подъ конецъ курса, что измѣненіе ихъ зависитъ отъ теплоты или отъ другихъ причинъ. Нельзя же утаить отъ ученика, что вода, служащая для опредѣленія единицы вѣса, должна быть взята 4 при 4°, 1 стоградуснаго термометра. Какимъ образомъ ученикъ можетъ слушать цѣлый годъ курсъ физики, не имѣя никакого понятія объ устройствѣ термометра. Не должно упускать изъ виду, что физика есть наука, въ которой всѣ факты находятся въ большемъ или меньшемъ соотношеніи между собою.

Изложивъ же первоначально краткій очеркъ явленій, необходимыхъ для доставленія лучшей послѣдовательности подробному изложенію физики, получается возможность разсматривать отдѣльно чисто механическую статью о равновѣсіи силъ и движеніи и о машинахъ. Черезъ это достигаются важныя удобства, во первыхъ, ученикъ видитъ отдѣльную совокупность законовъ, относящуюся не къ одной только тяжести, но и ко всѣмъ вообще силамъ, во вторыхъ, онъ можетъ съ болѣею послѣдовательностію слѣдить за явленіями тяжести. Какая выгода была изъ того, что въ статью о тяжести включали машины и сопротивленія движенію, и между прочимъ объ ударѣ; мы говоримъ по собственному опыту: все это перепутывается въ головѣ начинающаго и онъ смотритъ на маятникъ, какъ на простую машину, подобно блоку и вороту, потому что маятникъ стоитъ въ курсахъ вслѣдъ за послѣдними. Обыкновенно включеніе простыхъ машинъ въ статью о тяжести оправдываютъ тѣмъ, что для изученія ихъ необходимо имѣть понятіе о центрѣ тяжести. Что же мѣшаетъ дать ученику это понятіе нѣсколько прежде и потомъ въ свою очередь говорить подробнѣе о законахъ центра тяжести.

VIII

Я уклонился также отъ разсмотрѣнія явленій тяжести и частичнаго притяженія отдѣльно въ твердыхъ, жидкихъ и воздухообразныхъ тѣлахъ, а изложилъ сперва явленія тяжести во всѣхъ состояніяхъ скопленія тѣлъ, потомъ точно также поступилъ и съ явленіями частичнаго притяженія. Такое измѣненіе, сдѣланное для единства обозрѣнія, весьма мало уклоняется впрочемъ отъ прежняго изложенія.

Во второй части заключаются статьи о волнообразныхъ движеніяхъ, звукъ, свѣтъ, теплотѣ, магнетизмѣ и электричествѣ.

Теперешнее изданіе этой книги будетъ заключать вдвое большій объемъ противу прежняго, отличаясь при этомъ незначительною прибавкою цѣны.

Въ заключеніе мнѣ остается изъявить искреннюю благодарность М. С. Хотинскому за участіе, принятое имъ по редакціи настоящаго сочиненія во время моего отсутствія за границую.

Парижъ,
7-го Декабря 1853 года.



ВВ. Преснимъ читателей предварительно справиться съ листомъ замѣченныхъ опечатокъ, напечатанныхъ въ концѣ книги.

ОГЛАВЛЕНІЕ 1-й ЧАСТИ.

ОБЩЕЕ ПОНЯТІЕ ОБЪ ЕСТЕСТВЕННЫХЪ НАУКАХЪ.

Параграфы.	Стран.
Понятіе о природѣ	1
Тѣло	2
Явленіе	3
Предметъ естествознанія	—
Естественная исторія	—
Подраздѣленіе ея	—
Способы изученія явленій	5
Наблюденіе	—
Опытъ	—
Законы природы	6
Способъ объясненія явленій	—
Сила	7
Ипотеза	—
Науки явленій	8
Общая физика	—
Химія	9
Астрономія	—
Физиологія	10
Геологія	—
Частная физика	—

ФИЗИКА.

Существенныя свойства тѣлъ.

1. Предметъ и цѣль физики	13
2. Понятіе о притяженіи, пространствѣ и времени	14
3. Матерія	—
— Физическое тѣло	—
— Существенныя свойства	—
4. Протяженность	15
— Измѣреніе протяженій	—
5. Непроницаемость	17
6. Инерція	19
7. Взаимное дѣйствіе тѣлъ	20

Краткое обозрѣніе физическихъ явленій.

8.	Дѣлимость тѣлъ	21
9.	Связность	22
—	Масса	23
—	Плотность	—
10.	Частичное притяженіе	24
11.	Частичное отталкиваніе	—
12.	Различныя состоянія тѣлъ	—
13.	Упругость	26
14.	Прилипаніе	27
—	Волосность	28
15.	Химическое сродство	—
16.	Тяжесть	—
—	Вѣсъ	29
—	Центръ тяжести	31
17.	Звукъ	—
18.	Свѣтъ	32
19.	Теплота	34
—	Разширеніе тѣлъ	35
—	Термометръ	36
—	Измѣненіе состояній	37
—	Распространеніе теплоты	38
20.	Магнетизмъ	—
21.	Электричество	39
22.	Раздѣленіе явленій	40
23.	Общія законы дѣйствія силъ	41

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНІЯ И РАВНОВѢСІЯ.

(Механика).

Законы равномернаго и равноускореннаго движенія.

24.	Движеніе	43
25.	Сила (причина движенія)	44
26.	Элементы силы	45
27.	Опредѣленіе величины силъ	—
—	Динамометръ	46
28.	Раздѣленіе механики	47
29.	Элементы движенія	—
30.	Непрерывное дѣйствіе силъ	49
31.	Различіе движеній въ зависимости отъ дѣйствія силъ	—
32.	Законы равномернаго движенія	51
33.	Перемѣнное движеніе	52
34.	Равноускоренное движеніе	53
35.	Опредѣленіе скорости при равноускоренномъ движеніи	54
36.	Опредѣленіе пути при равноускоренномъ движеніи	—
37.	Равноускоренное движеніе	60
38.	Неравноускоренное движеніе	61
39.	Періодическое движеніе	62
40.	Движеніе массы при непрерывномъ дѣйствіи силы	—
—	Количество движенія	64
41.	Количество дѣйствія	—
42.	Общія выводы изъ уравненій равноускореннаго движенія	67

Взаимное дѣйствіе силъ.

43.	Общее понятіе о взаимномъ дѣйствіи силъ	72
44.	Составленіе силъ, дѣйствующихъ на точку по одному и по противоположнымъ направленіямъ	73
45.	Составленіе силъ, дѣйствующихъ на точку по перпендикулярнымъ направленіямъ	74
—	Параллелограммъ скоростей	77
—	Повѣрка закона параллелограмма силъ	—

45. Примеры составления силъ, дѣйствующихъ по пересѣкающимся направлениямъ.	79
46. Разложеніе силъ дѣйствующихъ на точку.	80
— Примеры разложенія силъ.	81
47. Составленіе силъ, дѣйствующихъ на двѣ точки тѣла.	83
48. Сложеніе двухъ пересѣкающихся силъ.	—
49. Сложеніе двухъ параллельныхъ силъ.	—
50. Статические моменты.	86
— Значеніе ихъ.	87
51. Центръ параллельныхъ силъ.	—
52. Сложеніе нѣсколькихъ параллельныхъ силъ.	—
53. Разложеніе ихъ.	88
54. Пара силъ.	—

Дѣйствіе силы на тѣло, движущееся по инерціи.

55. Различные случаи дѣйствія силъ на тѣло, движущееся по инерціи.	89
56. Дѣйствіе силы по линіи совпадающей съ направлениемъ движенія.	—
57. Дѣйствіе силы по линіи пересѣкающей направленіе движенія.	90
58. Параболическое движеніе.	—
59. Центральное движеніе.	94
— Центральная сила.	95
60. Законъ сохраненія площадей.	—
61. Законъ скоростей.	96
62. Виды кривыхъ линій.	97
63. Движеніе по кругу.	98
64. Движеніе по эллипсу.	—
65. Отношенія между временами обращеній.	101
66. Величина центростремительной силы.	—
67. Различные отношенія между стремительными силами.	102
68. Центробѣжная сила.	103
— Повѣрка законовъ центробѣжной силы.	104
— Примѣненія центробѣжной силы.	106

Движеніе неподвижно-соединенныхъ между собою точекъ около оси вращенія.

69. Движеніе неподвижно-соединенныхъ точекъ около оси вращенія.	110
— Моментъ инерціи.	112

Ударъ тѣлъ.

70. Понятіе объ ударѣ.	113
71. Явленія происходящія при ударѣ.	114
72. Различные виды удара.	—
73. Прямой ударъ неупругихъ шаровъ.	115
74. Прямой ударъ упругихъ шаровъ.	119
75. Ударъ шара о неподвижную плоскость.	121
76. Косой ударъ.	123

Сопротивленія движенію.

77. Различіе сопротивленій движенію.	124
78. Треніе.	—
79. Обстоятельства имѣющія вліяніе на треніе.	125

Законы равновѣсія силъ въ машинахъ.

80. Понятіе о машинахъ.	130
81. Различные виды машинъ.	133

I. Простыя машины.

82. Рычагъ.	—
83. Роды рычага.	134
84. Условія равновѣсія рычага при дѣйствіи двухъ силъ.	—

Краткое обозрѣніе физическихъ явленій.

8.	Дѣлимость тѣлъ	21
9.	Связность	22
—	Масса	23
—	Плотность	—
10.	Частичное притяженіе	24
11.	Частичное отталкиваніе	—
12.	Различныя состоянія тѣлъ	—
13.	Упругость	26
14.	Прилипаніе	27
—	Волосность	28
15.	Химическое сродство	—
16.	Тяжесть	—
—	Вѣсъ	29
—	Центръ тяжести	31
17.	Звукъ	—
18.	Свѣтъ	32
19.	Теплота	34
—	Разширеніе тѣлъ	35
—	Термометръ	36
—	Измѣненіе состояній	37
—	Распространеніе теплоты	38
20.	Магнетизмъ	—
21.	Электричество	39
22.	Раздѣленіе явленій	40
23.	Общія законы дѣйствія силъ	41

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНІЯ И РАВНОВѢСІЯ.

(Механика).

Законы равномернаго и равноускореннаго движенія.

24.	Движеніе	43
25.	Сила (причина движенія)	44
26.	Элементы силы	45
27.	Опредѣленіе величины силъ	—
—	Динамометръ	46
28.	Раздѣленіе механики	47
29.	Элементы движенія	—
30.	Непрерывное дѣйствіе силъ	49
31.	Различіе движеній въ зависимости отъ дѣйствія силъ	—
32.	Законы равномернаго движенія	51
33.	Переменное движеніе	52
34.	Равноускоренное движеніе	53
35.	Опредѣленіе скорости при равноускоренномъ движеніи	54
36.	Опредѣленіе пути при равноускоренномъ движеніи	—
37.	Равноускоренное движеніе	60
38.	Неравноускоренное движеніе	61
39.	Періодическое движеніе	62
40.	Движеніе массы при непрерывномъ дѣйствіи силы	—
—	Количество движенія	64
41.	Количество дѣйствія	—
42.	Общія выводы изъ уравненій равноускореннаго движенія	67

Взаимное дѣйствіе силъ.

43.	Общее понятіе о взаимномъ дѣйствіи силъ	72
44.	Составленіе силъ, дѣйствующихъ на точку по одному и по противоположнымъ направленіямъ	73
45.	Составленіе силъ, дѣйствующихъ на точку по перпендикулярнымъ направленіямъ	74
—	Параллелограммъ скоростей	77
—	Повѣрка закона параллелограмма силъ	—

45. Примеры составления силъ, дѣйствующихъ по пересѣкающимся направлениямъ.	79
46. Разложеніе силъ дѣйствующихъ на точку.	80
— Примеры разложенія силъ.	81
47. Составленіе силъ, дѣйствующихъ на двѣ точки тѣла.	83
48. Сложеніе двухъ пересѣкающихся силъ.	—
49. Сложеніе двухъ параллельныхъ силъ.	—
50. Статическіе моменты.	86
— Значеніе ихъ.	87
51. Центръ параллельныхъ силъ.	—
52. Сложеніе нѣсколькихъ параллельныхъ силъ.	—
53. Разложеніе ихъ.	88
54. Пара силъ.	—

Дѣйствіе силы на тѣло, движущееся по инерціи.

55. Различные случаи дѣйствія силъ на тѣло, движущееся по инерціи.	89
56. Дѣйствіе силы по линіи совпадающей съ направлениемъ движенія.	—
57. Дѣйствіе силы по линіи пересѣкающей направленіе движенія.	90
58. Параболическое движеніе.	—
59. Центральное движеніе.	94
— Центральная сила.	95
60. Законъ сохраненія площадей.	—
61. Законъ скоростей.	96
62. Виды кривыхъ линій.	97
63. Движеніе по кругу.	98
64. Движеніе по эллипсу.	—
65. Отношенія между временами обращеній.	101
66. Величина центростремительной силы.	—
67. Различныя отношенія между стремительными силами.	102
68. Центробѣжная сила.	103
— Повѣрка законовъ центробѣжной силы.	104
— Примѣненія центробѣжной силы.	106

Движеніе неподвижно-соединенныхъ между собою точекъ около оси вращенія.

69. Движеніе неподвижно-соединенныхъ точекъ около оси вращенія.	110
— Моментъ инерціи.	112

Ударъ тѣлъ.

70. Понятіе объ ударѣ.	113
71. Явленія происходящія при ударѣ.	114
72. Различныя виды удара.	—
73. Прямой ударъ неупругихъ шаровъ.	115
74. Прямой ударъ упругихъ шаровъ.	119
75. Ударъ шара о неподвижную плоскость.	121
76. Косой ударъ.	123

Сопротивленія движенію.

77. Различіе сопротивленій движенію.	124
78. Треніе.	—
79. Обстоятельства имѣющія вліяніе на треніе.	125

Законы равновѣсія силъ въ машинахъ.

80. Понятіе о машинахъ.	130
81. Различныя виды машинъ.	133

I. Простыя машины.

82. Рычагъ.	—
83. Роды рычага.	134
84. Условія равновѣсія рычага при дѣйствіи двухъ силъ.	—

Краткое обозрѣніе физическихъ явленій.

8.	Дѣлимость тѣлъ	21
9.	Связность	22
—	Масса	23
—	Плотность	—
10.	Частичное притяженіе	24
11.	Частичное отталкиваніе	—
12.	Различныя состоянія тѣлъ	—
13.	Упругость	26
14.	Прилипаніе	27
—	Волосность	28
15.	Химическое сродство	—
16.	Тяжесть	—
—	Вѣсъ	29
—	Центръ тяжести	31
17.	Звукъ	—
18.	Свѣтъ	32
19.	Теплота	34
—	Раздѣленіе тѣлъ	35
—	Термометръ	36
—	Измѣненіе состояній	37
—	Распространеніе теплоты	38
20.	Магнетизмъ	—
21.	Электричество	39
22.	Раздѣленіе явленій	40
23.	Общіе законы дѣйствія силъ	41

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНІЯ И РАВНОВѢСІЯ.

(Механика).

Законы равномернаго и равноускореннаго движенія.

24.	Движеніе	43
25.	Сила (причина движенія)	44
26.	Элементы силы	45
27.	Опредѣленіе величины силъ	—
—	Динамометръ	46
28.	Раздѣленіе механики	47
29.	Элементы движенія	—
30.	Непрерывное дѣйствіе силъ	49
31.	Различіе движеній въ зависимости отъ дѣйствія силъ	—
32.	Законы равномернаго движенія	51
33.	Переменное движеніе	52
34.	Равноускоренное движеніе	53
35.	Опредѣленіе скорости при равноускоренномъ движеніи	54
36.	Опредѣленіе пути при равноускоренномъ движеніи	—
37.	Равноускоренное движеніе	60
38.	Неравноускоренное движеніе	61
39.	Періодическое движеніе	62
40.	Движеніе массы при непрерывномъ дѣйствіи силы	—
—	Количество движенія	64
41.	Количество дѣйствія	—
42.	Общіе выводы изъ уравненій равноускореннаго движенія	67

Взаимное дѣйствіе силъ.

43.	Общее понятіе о взаимномъ дѣйствіи силъ	72
44.	Составленіе силъ, дѣйствующихъ на точку по одному и по противоположнымъ направленіямъ	73
45.	Составленіе силъ, дѣйствующихъ на точку по перпендикулярнымъ направленіямъ	74
—	Параллелограммъ скоростей	77
—	Повѣрка закона параллелограмма силъ	—

45. Примеры составления силъ, дѣйствующихъ по пересѣкающимся направлениямъ	79
46. Разложеніе силъ дѣйствующихъ на точку	80
— Примеры разложенія силъ	81
47. Составленіе силъ, дѣйствующихъ на двѣ точки тѣла	83
48. Сложеніе двухъ пересѣкающихся силъ	—
49. Сложеніе двухъ параллельныхъ силъ	—
50. Статическіе моменты	86
— Значеніе ихъ	87
51. Центръ параллельныхъ силъ	—
52. Сложеніе нѣсколькихъ параллельныхъ силъ	—
53. Разложеніе ихъ	88
54. Пара силъ	—

Дѣйствіе силы на тѣло, движущееся по инерціи.

55. Различные случаи дѣйствія силъ на тѣло, движущееся по инерціи	89
56. Дѣйствіе силы по линіи совпадающей съ направлениемъ движенія	—
57. Дѣйствіе силы по линіи пересѣкающей направленіе движенія	90
58. Параболическое движеніе	—
59. Центральное движеніе	94
— Центральная сила	95
60. Законъ сохраненія площадей	—
61. Законъ скоростей	96
62. Виды кривыхъ линій	97
63. Движеніе по кругу	98
64. Движеніе по эллипсу	—
65. Отношенія между временами обращеній	101
66. Величина центростремительной силы	—
67. Различныя отношенія между стремительными силами	102
68. Центробѣжная сила	103
— Повѣрка законовъ центробѣжной силы	104
— Примѣненія центробѣжной силы	106

Движеніе неподвижно-соединенныхъ между собою точекъ около оси вращенія.

69. Движеніе неподвижно-соединенныхъ точекъ около оси вращенія	110
— Моментъ инерціи	112

Ударъ тѣлъ.

70. Понятіе объ ударѣ	113
71. Явленія происходящія при ударѣ	114
72. Различныя виды удара	—
73. Прямой ударъ неупругихъ шаровъ	115
74. Прямой ударъ упругихъ шаровъ	119
75. Ударъ шара о неподвижную плоскость	121
76. Косой ударъ	123

Сопротивленія движенію.

77. Различіе сопротивленій движенію	124
78. Трєніе	—
79. Обстоятельства имѣющія вліяніе на трєніе	125

Законы равновѣсія силъ въ машинахъ.

80. Понятіе о машинахъ	130
81. Различныя виды машинъ	133

I. Простыя машины.

82. Рычагъ	—
83. Роды рычага	134
84. Условія равновѣсія рычага при дѣйствіи двухъ силъ	—

Парагр.	Стр.
85. Двуплечій рычагъ	135
86. Одноплечій рычагъ	136
87. Колѣнчатый рычагъ	137
88. Условія равновѣсія рычага при дѣйствіи нѣсколькихъ силъ	138
89. Физическій рычагъ	—

Примѣры употребленія рычаговъ въ общезжитіи.

90. Примѣненія рычаговъ	139
91. Ворота	142
92. Блокъ	143
93. Наклонная плоскость	145
94. Клинь	146
95. Винтъ	148
96. Отношеніе между выигрышемъ силы и скорости	150

II. Сложныя машины.

97. Составной рычагъ	153
98. Блоковая машина	154
99. Система воротовъ	155
100. Веревоочная машина	—
101. Сложныя винтовые машины	156

Механическіе движители, приводы и уравнители.

102. Цѣль и различные способы передачи движенія	160
---	-----

ПРІТЯЖЕНІЕ НА РАВСТОЯНІИ.

Тяжесть.

103. Тяжесть	177
104. Опыты надъ дѣйствіемъ тяжести	—
105. Наружный видъ земли	181
106. Обзоръ дѣйствія тяжести	185
107. Зависимость притяженія отъ массы и разстоянія	186

Дѣйствіе тяжести.

108. Давленіе и паденіе тѣлъ	190
109. Направленіе тяжести	191
110. Центръ тяжести	193
111. Нахожденіе центра тяжести	195
112. Условія равновѣсія тѣлъ	199
113. Роды равновѣсія тѣлъ висящихъ	—
114. Роды равновѣсія тѣлъ подпертыхъ	201
115. Устойчивость тѣлъ	202
116. Примѣненія законовъ центра тяжести	205
117. Опредѣленіе вѣса тѣлъ	207
118. Обыкновенные вѣсы	210
— Чувствительность ихъ	219
119. Зависимость чувствительности отъ линіи соединяющей точки привѣса грузовъ	221
120. Математическія доказательства выведенныхъ условий	224
121. Описаніе различныхъ вѣсовъ	226
122. Плотность тѣлъ	238
123. Угловыи вѣсъ	239
124. Опредѣленіе его	—

Свободное паденіе тѣлъ.

125. Равное дѣйствіе тяжести на свободно падающія тѣла	245
126. Законы свободного паденія и повѣрка ихъ	248

Дѣйствіе тяжести на тѣла, движущіяся по инерціи.

127.	Движеніе тѣлъ брошенныхъ	261
—	Движеніе тѣлъ брошенныхъ отвѣсно къ горизонту	262
—	— — — — — наклонно къ горизонту	263
128.	Примѣненія законовъ брошенныхъ тѣлъ	264

Дѣйствіе тяжести на тѣла, движущіяся по наклонной плоскости и по дугѣ круга.

129.	Движеніе по наклонной плоскости и по кривой линіи	266
------	---	-----

Определеніе напряженія тяжести.

130.	Напряженіе тяжести	269
131.	Маятникъ	270
132.	Законы движенія математическаго маятника	272
133.	Физическій маятникъ	279
134.	Определеніе длины и продолжительности колебанія физическаго маятника	280
135.	Устройство физическаго маятника	285
136.	Примѣненія маятника	287
137.	Обстоятельства, имѣющія вліяніе на различіе дѣйствія тяжести	299
138.	Определеніе средней плотности земли	305

Общее понятіе о тяготѣнн.

139.	Движеніе небесныхъ тѣлъ	308
------	-----------------------------------	-----

*Дѣйствіе тяжести на жидкія тѣла.**РАВНОВѢСІЕ КАПЕЛЬНО-ЖИДКИХЪ ТѢЛЪ.**(Гидростатика).*

140.	Существенныя свойства жидкостей	312
141.	Законъ Паскаля	314
—	Гидравлическій прессъ	317
142.	Условія равновѣсія жидкостей	319
143.	Вліяніе тяжести на равновѣсіе жидкихъ тѣлъ	320
144.	Давленіе жидкости на дно сосуда	322
145.	Давленіе жидкости на бока сосудовъ	325
146.	Равновѣсіе жидкости въ сообщающихся сосудахъ	329
147.	Равновѣсіе несмѣшивающихся жидкостей въ одномъ сосудѣ	331
148.	Равновѣсіе жидкостей въ сообщающихся сосудахъ	332
149.	Архимедовъ законъ	333
150.	Плаваніе тѣлъ	335
151.	Примѣненіе архимедова закона къ определенію удѣльнаго вѣса тѣлъ	339

Вліяніе тяжести на движеніе жидкихъ тѣлъ.

152.	Предметъ гидродинамики	349
153.	Теченіе жидкостей изъ сосудовъ	—
154.	Образованіе жиы	—
—	Сжатіе жиы	350
155.	Скорость истеченія жидкостей изъ отверстій	351
—	Фонтаны	355
156.	Слѣдствія изъ торричеліевой теоремы	357
157.	Приставныя трубки	358
158.	Теченіе воды по трубамъ	360
159.	Истеченіе чрезъ волосныя трубки	361
160.	Боковое давленіе	—
161.	Ударъ воды	362
162.	Вліяніе паденія на скорость теченія	363
163.	Работа производимая паденіемъ	364
164.	Гидравлическіе двигатели	365
—	Водяныя мельницы	367
—	Гидравлическій таранъ	371

*Законы равновѣсія газообразныхъ тѣлъ.**(Аэростатика).*

165.	Отличительныя свойства газовъ	373
166.	Тяжесть газовъ	376
167.	Законъ равнаго давленія	377
168.	Зависимость упругости отъ давленія	—
169.	Атмосфера	378
170.	Доказательства давленія воздуха	379
171.	Величина давленія воздуха	384
172.	Барометръ	384
173.	Исправленіе барометрическихъ наблюденій	390
174.	Различныя устройства барометровъ	391
175.	Мариотовъ законъ	403
176.	Слѣдствія изъ мариотова закона	413
177.	Приборы основанныя на мариотовомъ законѣ	414
—	Укороченный барометръ	415
—	Предохранительныя трубки	—
—	Манометры	417
178.	Измѣреніе высотъ посредствомъ барометра	423
179.	Воздушный насосъ	429
180.	Сгущенный насосъ	439
—	Воздушное ружье	440
—	Насыщеніе воды газами	441
181.	Явленія и приборы основанныя на давленіи воздуха	443
—	Водостолбная машина	448
—	Героновъ фонтанъ	449
—	Пожарная труба	—
—	Сосудъ для поенія птицъ	450
—	Лампы	—
—	Насосъ священниковъ	451
—	Перемежающійся колодезь	452
—	Ливеръ	453
—	Сифонъ	454
—	Атмосферная желѣзная дорога	457
—	Насосъ гидравлическаго пресса	460
—	Мариотова стеклянка	461
182.	Приложеніе архимедова закона къ газамъ	462
183.	Аэростаты	464
184.	Парашютъ	466
185.	Опредѣленіе силы для поднятія шара	469

Движеніе газовъ.

186.	Газометры	470
187.	Мѣха	473
188.	Законы истеченія газовъ	475
189.	Опредѣленіе скорости истеченія	479
190.	Боковое давленіе	—
191.	Вѣтренныя мельницы	—

Притяженіе на безконечномаломъ разстояніи.

192.	Понятіе о сплѣненіи	481
193.	Кристаллизація	483
194.	Одноформенность и изомерность	494
195.	Отношеніе кристалловъ къ частичнымъ силамъ	—
196.	Различныя роды твердыхъ тѣлъ	—
197.	Твердость	495
198.	Хрупкость	496
199.	Тягучесть	497
200.	Упругость	—
201.	Приложеніе упругости	499
202.	Опредѣленіе предѣла твердости	501
203.	Дѣйствіе частичныхъ силъ въ жидкостяхъ	505

Матер.	Стр.
204. Дѣйствіе частичныхъ силъ въ газахъ	541
205. Зависимость сцѣпленія отъ теплоты	—
206. Дѣйствіе частичныхъ силъ между разнородными тѣлами	—
207. Прилипаніе	542
208. Вліяніе прилипанія на равновѣсіе жидкостей	545
— Волосность	548
209. Объясненіе волосности	550
210. Явленія зависація отъ волосности	553
211. Эндоосмозъ	558
212. Вліяніе испаренія на эндоосмозъ	561
213. Прилипаніе газовъ къ твердымъ и жидкимъ тѣламъ	—
214. Смѣщеніе разнородныхъ газовъ	566
215. Распространеніе газовъ	537
216. Раствореніе ихъ	538

Сила химическаго притяженія (сродство).

(Химія).

217. Сила сродства	539
218. Эквиваленты (пан)	541
219. Законъ кратныхъ пропорцій	543
220. Химическіе знаки и формулы	—
221. Атомическая теорія и теорія объемовъ	546
222. Объемъ пая и объемъ атома	548
223. Обстоятельства, имѣющія вліяніе на силу сродства	549
224. Состояніе частицъ тѣлъ при соединеніи ихъ	550
225. Химическія разложенія	551
226. Постоянство химическихъ законовъ	—
227. Раздѣленіе простыхъ тѣлъ	—
228. Обзорѣніе металлоидовъ. Кислородъ	552
— Водородъ	554
— Азотъ	555
— Хлоръ	556
— Бромъ	—
— Іодъ	557
— Фторъ	—
— Сѣра	—
— Селень	—
— Фосфоръ	—
— Углеродъ	558
— Кремній	560
— Боръ	—
229. Общіе свойства химическихъ соединений	—
230. Обзорѣніе важѣйшихъ химическихъ соединений	564
— Азотная кислота	565
— Сѣрнистая кислота	567
— Сѣрная кислота	—
— Углекислота	569
— Фосфорная и фосфористая кислоты	570
— Кремневая кислота	571
— Соляная кислота	—
— Царская водка	572
— Сѣрнисто-водородная кислота	—
— Фосфористо-водородная кислота	573
— Болотный газъ	—
— Маслородный газъ	—
231. Общее понятіе о металлахъ	577
232. Обзорѣніе важѣйшихъ основаній и солей. Калии и соли его	579
— Натръ и соли его	580
— Амміакъ	581
— Известь	582
— Окись барія	583
— Магнезія	—
— Гипоземъ	—

Парагр.	Стран.
233. Общіе приемы добыванія тяжелыхъ metalloвъ	—
234. Свойство органическихъ соединеній	584
235. Анализъ органическихъ тѣлъ	585
236. Свободное разложеніе органическихъ тѣлъ	587
237. Броженіе	588
238. Изомерность органическихъ соединеній	—
239. Теорія органическихъ соединеній	—
240. Химическое изслѣдованіе растеній	589
241. Вещества заключающіяся въ клѣточкѣ	591
242. Безазотистыя тѣла	592
243. Азотистыя тѣла	—
244. Разложеніе растительныхъ тѣлъ	593
245. Особенныя части растеній	594
246. Органическія кислоты	—
247. Органическія основанія	595
248. Жиръ и жирныя масла	—
249. Летучія масла	—
250. Смолы	—
251. Красящія вещества	596
252. Неорганическія части растеній	—
253. Питаніе растеній	597
254. Питаніе животныхъ	600
255. Кровь	602
256. Химическій составъ нѣкоторыхъ твердыхъ частей тѣлъ	603
257. Условія необходимыя для питанія веществъ	604
258. Питательныя вещества. Молоко	606
— Масло	607
— Сыръ	—
— Яйца	—
— Мясо	—
— Растительныя вещества: рожь, картофель и проч.	609
— Овощи и плоды	610
— Напитки	611

ОБЩЕЕ ПОНЯТІЕ ОБЪ ЕСТЕСТВЕННЫХЪ НАУКАХЪ.

Слово *природа* или *естество* имѣетъ различныя значенія. Такъ ^{Понятіе}напр. подъ этимъ словомъ разумѣется иногда собраніе такихъ свойствъ ^{о при-}или принадлежностей предметовъ, посредствомъ которыхъ они отлича- ^{родъ.}ются одни отъ другихъ. Весьма часто съ этимъ словомъ соединяють понятіе противоположное всему искусственному, при образованіи котораго всегда предполагается участіе человѣческаго ума, какъ напр. при составленіи картины, изваяніи статуи и тому подобныхъ предметовъ. Но подъ болѣе общимъ названіемъ *природы* разумѣють собраніе всего того, что можетъ быть познаваемо органами нашихъ чувствъ. Въ этомъ только значеніи *природа* составляетъ одинъ изъ важнѣйшихъ предметовъ изученія и потому мы рассмотримъ ближайшимъ образомъ средства употребляемыя человѣкомъ для ея познанія.

Для принятія разнаго рода внѣшнихъ впечатлѣній человѣкъ обладаетъ различными органами, изъ которыхъ каждый соотвѣтствуетъ особенному классу впечатлѣній. Такъ напр. посредствомъ *глаза* мы *видимъ* окружающіе насъ предметы; *ухо* позволяетъ намъ *слышать* шумъ, раздающійся вокругъ насъ; съ помощію *носа* мы обоняемъ *запахъ* издаваемый пахучими тѣлами, *языкъ* и нѣбо во рту даютъ намъ возможность судить о *вкусъ* извѣстныхъ вещей; наконецъ *ослзаніе* распространенное почти по всей поверхности *нашего тѣла* и, преимущественно, на *оконечностяхъ рукъ* даетъ намъ понятіе о *формѣ* предметовъ, къ намъ прикасающихся. Только помощію этихъ органовъ, служащихъ единственными посредниками между человѣкомъ и природою, онъ можетъ доставить душѣ своей вѣрное понятіе о существованіи всего того, что находится внѣ ея.

Чтобы удостовѣриться въ невозможности составить себѣ безъ этого посредства понятіе о какой либо части природы возьмемъ наприимѣръ слѣпорож-

деннаго. Хотя помощію осязанія онъ и въ состояніи представить себѣ очертаніе или фигуру разныхъ вещей, но за то ему нѣтъ никакой возможности составить себѣ хотя малѣйшее понятіе о различныхъ цвѣтахъ. Всѣ наши усилія объяснить ему различіе цвѣтовъ посредствомъ описанія останутся безуспѣшными, потому что нѣтъ никакой возможности выразить словами, что такое красный или голубой цвѣтъ. Точно также было бы невозможно, посредствомъ описанія доставить глухому понятіе о тонахъ, издаваемыхъ какимъ либо инструментомъ. По этому, желая приобрѣсть *надлежащее* понятіе о природѣ, мы должны предварительно собрать о ней свѣденія посредствомъ органовъ чувствъ.

Древніе ученые мало обращали вниманія на этотъ способъ приобрѣтенія познаній; такъ напримѣръ мы находимъ у греческихъ философовъ только однѣ умозрительныя разсужденія о вещественномъ мірѣ, а потому неудивительно, что собранныя этимъ путемъ представленія о природѣ или не имѣютъ никакого значенія или совершенно противорѣчатъ тому, что существуетъ на самомъ дѣлѣ. Умозрительныя разсужденія о природѣ, неоснованныя на показаніяхъ чувствъ, сравниваютъ съ разказами человѣка о комнатѣ, въ которой онъ находится съ завязанными глазами.

Оцѣнивая по достоинству впечатлѣнія чувствъ, нельзя однакожъ не замѣтить, что одни чувства сами по себѣ также недостаточны для совершеннаго и надлежащаго познанія природы. — Ребенокъ, собирая посредствомъ чувствъ впечатлѣнія, еще не имѣетъ надлежащаго о нихъ понятія, потому что умъ его, не достигнувъ должнаго развитія, не можетъ группировать ихъ какъ слѣдуетъ и, что еще важнѣе, не въ состояніи сравнивать ихъ между собою. — Только помощію сравненія, человѣкъ убѣждается въ истинѣ всѣхъ принимаемыхъ имъ впечатлѣній.

Сравнивая впечатлѣнія, приобрѣтаемыя органами, мы замѣчаемъ, что одни впечатлѣнія доставляютъ намъ понятія о существованіи какъ цѣлой природы, такъ и отдѣльныхъ частей ея въ неизменномъ видѣ, между тѣмъ какъ другія даютъ намъ только понятія о различныхъ *измѣненіяхъ*, претерпѣваемыхъ произведеніями природы.

т. 10. **Перваго рода** понятія, доставляемыя намъ въ одно и тоже время преимущественно органами осязанія и зрѣнія, приобрѣтаются собственно о той части природы, которая носитъ названіе *предметовъ* или *тѣлъ*. Сюда принадлежатъ различные камни, растенія и животныя.

При этомъ не должно упускать изъ виду, что каждое новое впечатлѣніе о природѣ необходимо сравнивать съ запасомъ впечатлѣній уже приобрѣтенныхъ нами. Чтобы убѣдиться въ необходимости этого сравненія, возьмемъ для примѣра впечатлѣнія, доставляемыя намъ луною, звѣздами и облаками. Такъ какъ въ принятіи этихъ впечатлѣній участвуетъ одно только зрѣніе, то съ перваго взгляда кажется, что ни луна, ни звѣзды, ни облака не могутъ быть причислены къ тѣламъ. Но если сравнить доставляемыя ими впечатлѣнія съ запасомъ впечатлѣній уже приобрѣтенныхъ нами при помощи совокупнаго дѣйствія осязанія и зрѣнія, то легко поймемъ, что тѣла эти вовсе не составляютъ исключенія изъ сдѣланнаго нами опредѣленія. Если же они и не вполне удовлетворяютъ ему, то это потому только, что мы не имѣемъ возможности прикоснуться къ нимъ руками.

Точно также при помощи увеличительнаго стекла въ едва замѣтной каплѣ бодотной воды обнаруживается множество живыхъ и вмѣстѣ съ тѣмъ недоступныхъ для осязанія существъ, называемыхъ *инфузоріями*, которыя безъ всякаго сомнѣнія принадлежать тоже къ тѣламъ.—Это показываетъ несовершенство органовъ нашихъ чувствъ, дѣйствующихъ только въ извѣстныхъ предѣлахъ.—Вотъ почему всегда должно повѣрять и сравнивать умомъ впечатлѣнія, доставляемые органами чувствъ.

Обращая вниманіе на окружающія насъ тѣла, не трудно замѣтить, ^{явленіе} что они бываютъ подвержены различнымъ *измѣненіямъ*.—Такъ на примѣръ, слѣдя весною за цвѣткомъ, мы можемъ видѣть постепенное возрастаніе стебля, появленіе листьевъ, развитіе цвѣтовъ во время лѣта и наконецъ самое уничтоженіе ихъ съ появленіемъ зимы. Точно также поражаетъ наше вниманіе перемѣщеніе тѣлъ съ одного мѣста на другое.

Подобнаго рода *измѣненія*, замѣчаемыя въ тѣлахъ органами нашихъ чувствъ, называются *явленіями*.

Изъ собранія разнородныхъ свѣденій о тѣлахъ и явленіяхъ ^{Предметъ естествознанія.} вещественнаго міра составила наука, называемая *естествознаніемъ*.

Наука эта мало по малу наполнялась разнообразіемъ свѣденій, вносимыхъ въ область ея людьми занимавшимися изслѣдованіемъ природы и называвшимися *естествоиспытателями*. Понятно, что при быстромъ развитіи естествознанія не было уже возможности одному человѣку заниматься отдѣльнымъ изученіемъ всѣхъ предметовъ этой науки.—Вслѣдствіе того родилась необходимость раздѣлить обширную область естествознанія на части, изъ которыхъ каждая сдѣлалась предметомъ отдѣльнаго изученія. Это раздѣленіе труда при изученіи природы, подобно тому какъ и при всѣхъ большихъ предпріятіяхъ, было сдѣлано на томъ основаніи, чтобы всѣ однородные предметы и явленія составляли особія другъ отъ друга группы.—Это отличіе группъ или подобныхъ частей обозначилось самымъ различіемъ впечатлѣній, доставляемыхъ намъ природою.

Такимъ образомъ изъ разнообразныхъ впечатлѣній природы были ^{Естественная исторія.} отдѣлены сперва свѣденія о признакахъ и свойствахъ обнаруживаемыхъ произведеніями природы въ ихъ саомытномъ, естественномъ состояніи. Изслѣдованія этихъ существенныхъ или, какъ говорятъ, *характеристическихъ* признаковъ, посредствомъ которыхъ тѣла различаются между собою, вошли въ составъ науки, называемой *естественной исторіей*.

Но и эту науку, представлявшую разнообразіе свѣденій, въ свою очередь, ^{Подраздѣленіе} должно было подраздѣлить на части. — Части эти могутъ быть легко отдѣлены другъ отъ друга, если только мы не будемъ стремиться къ тому, чтобы разграничить ихъ самыми строгими предѣлами. Последнее условіе невозможно, потому что въ природѣ нѣтъ почти ничего вполне отдѣльнаго, а все, заключающееся въ ней, находится въ болѣе или менѣе тѣсной связи между собою и всякая попытка разложить науку о природѣ, какъ обыкновенную мозаичскую картину, на точные квадраты есть дѣло совершенно невозможное.

Сверхъ того мы можемъ составить себѣ отчетливое понятіе только о томъ, что намъ извѣстно въ подробности, слѣдовательно весьма затруднительно

обрисовать ясно это раздѣленіе для тѣхъ, которые или не знаютъ вовсе, или мало знакомы съ подробнымъ содержаніемъ наукъ, входящихъ въ область естественной исторіи.

По этому мы не будемъ здѣсь разпредѣлять со строгою точностію границы между частями естественной исторіи, но покажемъ только *основанія*, служившія поводомъ къ ея подраздѣленію.

Самое поверхностное наблюденіе отдѣльныхъ предметовъ естественной исторіи подало поводъ къ первоначальному раздѣленію ихъ на предметы одаренные жизнію и лишенные жизни, изъ которыхъ первые были снова подраздѣлены на тѣла обладающіе произвольнымъ наружнымъ движеніемъ и лишенные этого движенія. Такимъ образомъ означились три большія отдѣленія, названные царствами — животныхъ, растений и минераловъ: изъ нихъ первое составило предметъ *зоологіи*, второе — *ботаники*, а третье — *минералогіи*.

Самый образъ разсматриванія предметовъ, входившихъ въ эти науки, былъ поверхностный и ограничивался однимъ изученіемъ наружныхъ ихъ свойствъ, до тѣхъ поръ пока болѣе точное разсматриваніе предметовъ заставило человѣка устремить вниманіе на новую сторону изслѣдованій. — Съ этого времени получили развитіе новыя науки *анатомія животныхъ* и *растений*, имѣвшія цѣлю изслѣдованіе отдѣльныхъ частей каждаго недѣлимаго. Но и это направленіе, служившее, такъ сказать, продолженіемъ предыдущаго не могло долго удовлетворять любопытства естествоиспытателей. — Тогда обратили вниманіе на вопросъ о *жизненныхъ явленіяхъ*, для изслѣдованія котораго человѣку недостаточно было ножа и увеличительнаго стекла, служившихъ ему главными орудіями при анатомическихкихъ занятіяхъ. На этомъ новомъ пути изслѣдованія человѣкъ замѣтилъ, что тѣла какъ животныя, такъ и растительныя обладаютъ способностію къ принятію въ себя постороннихъ, такъ называемыхъ питательныхъ веществъ, доставляющихъ имъ средство къ поддержанію своего существованія; сверхъ того человѣкъ нашелъ, что тѣла эти для своего развитія, поддержанія и распространенія обладаютъ особенными сосудами и орудіями, называемыми *органами*, посредствомъ которыхъ принятые питательныя вещества переводятся въ составныя части этихъ тѣлъ въ замѣнъ другихъ частей, постоянно выдѣляемыхъ ими. — Тѣла эти, къ которымъ принадлежатъ животныя и растенія, вслѣдствіе присутствія такихъ характерическихъ признаковъ, называются *органическими*. Последовательный рядъ измѣненій, постоянно обнаруживаемыхъ ими, вслѣдствіе совокупной дѣятельности всѣхъ органовъ каждаго животнаго и растенія называется *жизнію*, которая бываетъ по этому животная или растительная.

Совсѣмъ другое представляетъ въ этомъ отношеніи царство минераловъ. — Объясненіе главнѣйшихъ признаковъ этого царства мы покажемъ примѣрами и для того выберемъ различной величины куски мѣлу, сѣры и глины.

Хотя тѣла эти и отличаются съ перваго взгляда другъ отъ друга, но тѣмъ неменѣе они представляютъ также и сходство между собою. — Сходство заключается въ томъ, что каждое изъ этихъ тѣлъ въ отдѣльности состоитъ изъ однородныхъ частицъ.

И въ самомъ дѣлѣ, если отъ каждаго изъ выбранныхъ кусковъ отломить небольшія части, то послѣднія нисколько отъ того не измѣнятся въ сущности и будутъ намъ представлять мѣлъ, сѣру, и глину только въ меньшей массѣ. При изслѣдованіи существенныхъ свойствъ этихъ тѣлъ для насъ все равно, будемъ ли мы разсматривать огромные куски, образующіе цѣлыя горы или только небольшіе кусочки.

Ни въ одномъ изъ этихъ тѣлъ мы не найдемъ такихъ частицъ, которыя бы представляли существенную противоположность съ другими частицами того же самаго тѣла и по этому мы не можемъ допустить, чтобы какая нибудь одна частица была необходимѣе другой для существованія куска мѣлу или чтобы одна изъ частицъ послѣдняго имѣла, сравнительно съ другою, особенную цѣль или назначеніе. Тончайшая пылинка мѣлу, едва прилипающая къ

пальцу, составляетъ въ сущности такой же мѣлъ, какъ и огромная гора послѣдняго.

Такъ какъ тѣла минеральнаго царства не обладаютъ подобно животнымъ и растеніямъ особенными органами для принятія и переработыванія питательныхъ веществъ, то и называютъ ихъ *неорганическими* тѣлами. Но и на этомъ поприщѣ естествоиспытатели вскорѣ исчерпали предметъ первоначальнаго своего изслѣдованія. Ознакомившись съ отдѣльными свойствами минераловъ, они замѣтили, что нѣкоторые изъ нихъ, кромѣ существенныхъ своихъ признаковъ, отличаются также и огромнымъ распространеніемъ своимъ на земномъ шарѣ въ видѣ правильныхъ или неправильныхъ массъ и громадныхъ слоевъ. При этомъ начали обращать вниманіе какъ на форму ихъ расположенія, такъ и на самое разнообразіе матеріаловъ ихъ составляющихъ. Такимъ образомъ составила новая наука — *геомозіа*.

Покажемъ теперь какимъ образомъ приобрѣтаются свѣденія объ явленіяхъ и къ какимъ результатамъ приводитъ ближайшее ихъ изученіе. Способъ изученія явленій.

Пути, употребляемые нами для собранія свѣденій о явленіяхъ природы, бываютъ различны.

При самобытномъ обнаруженіи какого нибудь явленія въ природѣ человѣкъ первоначально разсматриваетъ его въ томъ видѣ какъ оно совершается, неупотребляя ни какихъ средствъ съ своей стороны для его измѣненія.

Такое разсматриваніе явленій называется *наблюденіемъ*. Чтобы доставить наблюденіямъ достовѣрность и получить посредствомъ нихъ наиболѣе опредѣлительное понятіе о явленіи стараются сперва замѣтить его ходъ или постепенное развитіе, потомъ обращаютъ вниманіе на отношеніе его къ другимъ явленіямъ и такимъ образомъ изучаютъ главнѣйшія его свойства. — Но при этомъ бываетъ необходимо отдѣлять отъ изучаемаго явленія побочныя обстоятельства, несоставляющія его сущности, что можно сдѣлать только послѣ нѣсколькихъ повторенныхъ наблюденій. Наблюденіе.

На этомъ основаніи или ожидаютъ не повторится ли желаемое явленіе само собою безъ всякаго нашего участія или прибѣгаютъ къ помощи искусства, въ особенности тогда, когда явленіе представляется намъ или весьма рѣдко или бываетъ въ извѣстной связи съ другими явленіями.

Въ послѣднемъ случаѣ человѣкъ поставляетъ тѣла природы въ такое положеніе, при которомъ по его мнѣнію должно произойти извѣстное явленіе и смотритъ потомъ въ какой мѣрѣ оправдалось его предположеніе. Такое воспроизведеніе явленій называется *опытомъ*. Если мы будемъ слѣдить за замораживаніемъ воды зимою, то это будетъ наблюденіе. Когда же мы станемъ повторять тоже явленіе въ лѣтнее время или въ теплой комнатѣ посредствомъ извѣстныхъ средствъ, доставляемыхъ намъ наукою, то это будетъ уже опытъ. Опытъ.

Какъ для наблюденія, такъ и для опыта мы прибѣгаемъ къ пособию различныхъ орудій или инструментовъ, которые или позволяютъ намъ воспроизводить самыя явленія или доставляютъ пособие нашимъ чувствамъ къ точнѣйшему наблюденію ихъ; такъ напримѣръ

при разсмотрѣніи предметовъ чрезвычайно малыхъ мы употребляемъ увеличительныя стекла.

Закономъ
приро-
ды.

Какимъ бы образомъ человекъ ни изучалъ явленія, онъ постоянно стремится къ тому чтобы найти самый способъ ихъ развитія и опредѣлить по какимъ *правиламъ* они совершаются. Внимательное и продолжительное изслѣдованіе явленій въ этомъ отношеніи показало, что они всегда происходятъ по опредѣленнымъ и неизмѣннымъ *правиламъ*, познание которыхъ даетъ человеку возможность предсказывать какимъ образомъ должно совершаться известное явленіе. Такъ напр. мы знаемъ, что всегда и вездѣ вода течетъ съ высокаго мѣста на низкое, слѣдовательно еслибы мы желали спустить воду изъ какого нибудь озера, то должно провести отъ озера канаву къ такому мѣсту, которое лежитъ ниже озера. Эти постоянныя правила, по которымъ совершаются явленія называются *законами природы*.

Способъ
объясне-
нія явле-
ній.

Но мыслящій человекъ не ограничивается однимъ изученіемъ законовъ природы; онъ видитъ изъ опыта, что ни одно *измѣненіе* въ состояніи тѣла не можетъ происходить безъ причины. Такъ напримѣръ для перемѣщенія тѣла съ одного мѣста на другое онъ толкаетъ его рукою; слѣдовательно причиною перемѣщенія тѣла служитъ въ этомъ случаѣ толчекъ. Чтобы *объяснить* себѣ такимъ образомъ каждое явленіе, человекъ отыскиваетъ *причину* его.

Ходъ умственной дѣятельности, употребляемый въ этомъ случаѣ человекомъ, можетъ быть объясненъ слѣдующимъ примѣромъ:

На землѣ лежитъ камень; возьмемъ его въ руку и поднимемъ вверхъ. При этомъ камень очевидно измѣнитъ свое мѣсто, произведя движеніе вмѣстѣ съ нашею рукою. Понятно, что камень есть *тѣло*, а движеніе *явленіе*.

Въ чемъ же именно заключается причина этого явленія обнаруживающагося движеніемъ?

Естественно, что въ этомъ случаѣ собственное наше усиліе, происходящее отъ нашей воли, заставляетъ камень оставить свое прежнее мѣсто и перейти на другое.

Обращая вниманіе на поднятый камень, не трудно замѣтить, что находясь въ рукѣ, онъ производитъ на нее известное давленіе, котораго она не ощущаетъ въ томъ случаѣ, когда бываетъ поднята одна безъ камня.

Чтобы объяснить причину этого явленія, стоитъ только выпустить камень изъ руки. Предоставленный самому себѣ онъ не останется повисшимъ на воздухѣ и не будетъ плавать въ немъ, но въ то же мгновеніе, когда наша рука оставитъ его, камень начнетъ опускаться книзу и упадетъ на землю.

Вслѣдствіе того мы заключаемъ, что явленіе *давленія* на руку происходитъ отъ *стремленія* камня къ землѣ. Тутъ опять новое явленіе, обнаруживающееся паденіемъ камня къ землѣ и независимое уже отъ нашей воли, потому что для воспрепятствованія этому паденію мы должны употребить усиліе. Кромѣ того мы замѣчаемъ здѣсь связь двухъ явленій — стремленія камня къ землѣ и давленія его на руку, — изъ которыхъ первое служитъ *причиною*, а послѣднее

следствіемъ этой причины. Причина этого слѣдствія въ свою очередь зависить отъ другой ближайшей причины. И въ самомъ дѣлѣ, обративъ вниманіе на падающій камень, мы увидимъ, что онъ не падаетъ ни въ бокъ, ни вверхъ, а направляется по прямой линіи внизъ, и упавши на землю, остается на ней. Очевидно, что подобное движеніе камня можетъ произойти только въ томъ случаѣ, когда между землею и камнемъ существуетъ нѣкоторое притяженіе, подобное тому, которое обнаруживается во время приближенія къ намъ стола или другаго предмета, подвигаемаго рукою. Все различіе между этими двумя притяженіями заключается въ слѣдующемъ: во второмъ случаѣ мы можемъ легко объяснить себѣ, въ чемъ именно заключалось дѣйствіе одного тѣла на другое, между тѣмъ какъ въ первомъ случаѣ взаимное дѣйствіе между камнемъ и землею скрыто.

Слѣдовательно для объясненія всякаго явленія прибѣгаютъ къ другому явленію, которое служитъ ближайшею причиною его и въ свою очередь можетъ быть ближайшимъ слѣдствіемъ третьяго явленія. Переходя такимъ образомъ отъ одного явленія къ другому, мы получаемъ иногда послѣдовательный рядъ явленій, которыя подобно звеньямъ одной и той же цѣпи находятся въ связи между собою.

Но какъ опытъ, такъ и разсужденіе убѣждаютъ насъ, что эта цѣпь явленій, изъ которыхъ каждое въ одно и то же время служитъ и причиною и слѣдствіемъ, не можетъ быть безконечна. И въ самомъ дѣлѣ, мы придемъ наконецъ къ такому явленію, дальнѣйшую причину котораго нельзя уже повѣрить чувствами, т. е. достигнемъ до такого явленія, котораго причина не можетъ быть сама явленіемъ. Въ этомъ ряду послѣднее явленіе, для котораго мы не можемъ найти ощути-
мой чувствами причины, принимаютъ обыкновенно за слѣдствіе неизвѣстной намъ причины. Эту неизвѣстную причину взаимнаго дѣйствія тѣлъ, въ непрерывномъ существованіи которой убѣждаетъ насъ умъ, въ естественныхъ наукахъ называютъ *силою природы* или просто *силою*. Изъ этого опредѣленія силы мы видимъ, что она можетъ Сила.
быть выражена *неразлагаемымъ* явленіемъ, т. е. такимъ явленіемъ, которое служитъ ближайшимъ или лучше сказать непосредственнымъ слѣдствіемъ силы, явнымъ для нашихъ чувствъ.

Такимъ образомъ въ предъидущемъ примѣрѣ неизвѣстная причина, независящая отъ нашей воли и служащая причиною стремленія камня къ землѣ, называется *силою притяженія*. Эти два явленія, давленіе на руку и паденіе камня, происходящія отъ одной причины, убѣждаютъ насъ, что одна и та же сила можетъ производить различныя явленія. И въ самомъ дѣлѣ, выходя ближе въ происхожденія вокругъ насъ явленія, мы можемъ допустить, что всѣ они произошли отъ незначительнаго числа конечныхъ причинъ или силъ.

Приведенная нами выше причина паденія тѣла есть истинная и не-
подлежитъ никакому сомнѣнію, потому что согласіе съ опытомъ
явленія, на которомъ она основана, можетъ быть повѣрено нами на
самомъ дѣлѣ. Но весьма часто встрѣчаются въ природѣ и такіа

явленія, причина которыхъ, не изирая на всѣ наши усилія не можетъ быть постигнута прямо посредствомъ чувствъ. И въ этомъ случаѣ мыслящій человекъ не останавливается своего изслѣдованія. Онъ отыскиваетъ сходство опредѣляемаго явленія съ какими либо другими уже ему извѣстными и, основываясь на этомъ подобіи, старается объяснить знакомой ему уже причиной кодъ новаго явленія. Эта *предполагаемая* или лучше сказать *вѣроятная* причина явленія называется *ипотезой*.

Изъ этого опредѣленія гипотезы слѣдуетъ, что для одного и того же явленія природы можетъ быть придумано нѣсколько гипотезъ, но между ними только та заслуживаетъ предпочтеніе, которая объясняетъ явленіе самымъ легкимъ и простымъ образомъ и не представляетъ сверхъ того противорѣчія съ другими законами природы.

Такъ какъ отъ одной причины могутъ зависѣть различныя явленія, то чѣмъ болѣе явленій можетъ быть объяснено помощію какой либо гипотезы и чѣмъ болѣе она подтверждается новыми наблюденіями, тѣмъ большую вѣроятность можно приписать ей.

Составивъ себѣ предположеніе на счетъ извѣстнаго рода явленій, мы можемъ дѣлать по его указанію постоянно новыя изслѣдованія и чрезъ то ускорять открытіе настоящей причины. Такъ напр. составленное извѣстнымъ ученымъ Коперникомъ объясненіе суточныхъ перемѣнъ дня и ночи посредствомъ 24-хъ часоваго обращенія земнаго шара на своей оси было первоначально гипотезой. Впослѣдствіи гипотеза эта привела къ изслѣдованіямъ такихъ явленій на земномъ шарѣ, которыя могли уже быть повѣрены опытомъ. Согласіе же этихъ явленій съ гипотезой Коперника возвысило ее на степень несомнѣнной истины.

Науки явленій. Перейдемъ теперь къ очерку наукъ, образовавшихся вслѣдствіе изслѣдованія явленій.

Общая физика. Наука, составленная изъ собранія свѣдѣній о явленіяхъ природы, не имѣла у всѣхъ народовъ одинаковаго названія. Нѣкоторые изъ естествоиспытателей называли ее — *общей физикой*, хотя названіе это, происходящее отъ греческаго слова — *физисъ* — *природа*, не вполне объясняетъ значеніе самой науки.

Многочисленность и разнообразіе явленій, представлявшихся человеку на каждомъ шагѣ, убѣдили его въ необходимости подраздѣлить трудъ изслѣдованія ихъ. Подраздѣленіе это обозначалось самымъ различіемъ явленій.

Такимъ образомъ человекъ видѣлъ, что при обнаруженіи въ тѣлахъ *извѣстнаго* рода явленій, тѣла эти претерпѣваютъ *совершенныя* измѣненія, между тѣмъ какъ при другихъ явленіяхъ тѣла остаются тѣмъ, чѣмъ были прежде и пріобрѣтаютъ только нѣкоторыя новыя свойства.

Разсмотримъ сперва, въ чемъ заключаются эти измѣненія:

При взглядѣ на безчисленное множество животныхъ и растений, окружающихъ насъ, мы невольно поражаемся непрерывнымъ появленіемъ, постепеннымъ развитіемъ и наконецъ разрушеніемъ или уничтоженіемъ этихъ тѣлъ.

Тоже самое представляется намъ при употребленіи дерева и угля для отопленія печей. Мы видимъ, что отъ дѣйствія пламени значительное количе-

ство этихъ веществъ даетъ только небольшой остатокъ золы, въ которомъ трудно замѣтить слѣды тѣла, изъ котораго образовалось полученное нами вещество.

Точно также если оставить блестящій кусокъ желѣза или мѣди въ сыромъ мѣстѣ, то увидимъ, что по прошествіи извѣстнаго времени первый изъ нихъ покроется красноватою, а послѣдній зеленоватою корою. — Сколько бы мы не удалили отъ желѣза и мѣди эти цвѣтные слои они будутъ образоваться снова, такъ что наконецъ все желѣзо или вся мѣдь можетъ быть превращена въ такую цвѣтную кору.

Возьмемъ кусочекъ мѣлу. Если нагревать его извѣстное время на сильномъ огнѣ, то послѣ охлажденія мы найдемъ, что онъ обнаружитъ свойства непредставляемыя имъ до нагреванія. И въ самомъ дѣлѣ, если облить нѣсколькими каплями воды обожженный кусочекъ мѣлу, то онъ начнетъ шипѣть и увеличиваться въ объемѣ, нагреется и будетъ распадаться въ бѣлый похожій на муку порошокъ. Порошокъ этотъ называютъ гашеною или ѣдкою известью, потому что онъ обнаруживаетъ ѣдкій вкусъ и дѣйствуетъ разрушительно на многія органическія тѣла. Если послѣ того смѣшать жженую известь съ водою и, давъ этой смѣси видъ тѣста, оставить ее на воздухѣ, то мы увидимъ, что она начнетъ постепенно твердѣть и наконецъ потеряетъ совершенно свои ѣдкія свойства. Явленія эти извѣстны каждому каменщику, употребляющему жженую известь для связыванія отдѣльных камней при постройкѣ зданий.

Подобныя явленія, производящія *существенныя измѣненія* въ тѣлахъ, называются химическими, а наука, занимающаяся разсмотрѣніемъ ихъ — *химією*. Химія.

По отдѣленіи этой науки отъ общей физики на долю послѣдней остались явленія, несопровождающіяся существенными или совершенными измѣненіями тѣлъ.

Чтобы составить себѣ болѣе ясное понятіе объ этихъ явленіяхъ возьмемъ нѣсколько примѣровъ.

Ударяя молоткомъ о колоколъ, мы слышимъ звукъ, который происходитъ также и въ томъ случаѣ, когда мы проведемъ смычкомъ по натянутой струнѣ. — Съ помощію выпуклаго полированного стекла мы можемъ увеличивать разсматриваемые нами предметы; тоже стекло позволяетъ намъ собирать лучи солнца въ какую нибудь точку, зажигать ими бумагу и другія тѣла. — Мы видимъ, что каждое тѣло, поднятое кверху и предоставленное самому себѣ, опускается книзу; съ помощію натянутого лука мы можемъ сообщить пущенной изъ него стрѣлѣ весьма быстрое движеніе; вода, нагреваемая нами въ какомъ-нибудь сосудѣ, превращается въ пары, которые, какъ извѣстно, по охлажденіи переходятъ снова въ воду. Хотя всѣ эти явленія, обнаруживающіяся *увеличеніемъ, сжатіемъ, паденіемъ, движеніемъ и образованіемъ паровъ*, по видимому, весьма различны между собою но, не смотря на то, они имѣютъ также и сходство другъ съ другомъ. И въ самомъ дѣлѣ, тѣла, подверженныя ихъ вліянію и служащія намъ, такъ сказать, орудіемъ для воспроизведенія ихъ, не претерпѣваютъ существенныхъ и совершенныхъ измѣненій. Въ справедливости этого не трудно убѣдиться приведенными выше явленіями; такъ напр. издающіе звукъ колокола и струны, зажигательное стекло, падающій камень и лукъ остаются тѣмъ чѣмъ были прежде и приобрѣтаютъ только нѣкоторыя новыя свойства какъ то: производить звукъ, зажигать различныя тѣла и проч.

Подобно химіи отдѣлились отъ общей физики и другія науки явленій.

Испытующій взглядъ человѣка не ограничился только явленіями Астрономія. совершавшимися вокругъ него на поверхности земли. Онъ началъ изслѣдовать движеніе небесныхъ тѣлъ солнца, луны и друг. Хотя явленія эти и не представляли существенныхъ измѣненій въ небесныхъ тѣлахъ, но тѣмъ не менѣе по обширности и разнообразію свѣ-

деній собранныхъ о нихъ встрѣтилась необходимость отдѣлить эти явленія отъ физики и образовать изъ нихъ особенную науку *астрономію*, въ обширную область которой вошло какъ самое описаніе небесныхъ тѣлъ, такъ и изслѣдованіе явленій производимыхъ ими.

Физио-
логія.

Точно также были отдѣлены отъ физики и тѣ явленія, которыя совершаются въ органическихъ тѣлахъ. Явленія эти вошли въ составъ особенной науки *физиологіи*, которая рассматриваетъ какъ физическія такъ и химическія явленія, совершающіяся въ животныхъ и растеніяхъ во всё продолженіе ихъ жизни. Наука эта подраздѣляется на физиологію животныхъ и растеній.

Съ развитіемъ минералогическихъ свѣдѣній, естественныиспытатели, занимавшіеся минералогіей, начали обращать вниманіе на тѣ явленія, которыя въ настоящее время обусловливаютъ въ иныхъ мѣстахъ видъ земной поверхности. По сличеніи видимыхъ нами преобразованій съ готовыми формами, найденными на землѣ, родилось стремленіе къ объясненію законовъ, по которымъ совершались постепенныя измѣненія земной поверхности отъ первоначальнаго вида ея до настоящаго времени. Такъ напримѣръ, видя образованіе осадковъ у береговъ рѣкъ и сравнивая ихъ съ огромными слоями земли, имѣющими осадочную форму, вывели предположеніе, что форма этихъ слоевъ произошла отъ тѣхъ же самыхъ причинъ, которыя производятъ и нынѣ подобное явленіе. Такимъ образомъ образовалась наука *геологія*, къ которой отошли изъ физики и химіи всѣ явленія какъ принимавшія, такъ и принимающія нынѣ участіе въ различныхъ измѣненіяхъ наружнаго слоя или коры земнаго шара.

Такимъ образомъ за отдѣленіемъ явленій, вошедшихъ въ составъ исчисленныхъ нами наукъ, всѣ остальные чисто физическія явленія, образовали *частную физику*, называемую обыкновенно просто *физикой*.

Въ приведенномъ нами раздѣленіи естественныхъ наукъ мы указали только на главнѣйшія науки и считаемъ не лишнимъ замѣтить, что каждая изъ послѣднихъ можетъ быть точно также подраздѣлена на части.—Мы не приводимъ здѣсь этого подраздѣленія, потому что разсмотрѣніе его относится собственно ко всякой отдѣльной наукѣ.

Намъ остается прибавить еще, что въ показанномъ раздѣленіи физическихъ наукъ не должно искать слишкомъ строгаго разграниченія, потому что всѣ эти науки занимаютъ извѣстными частями природы, которая составляетъ одно нераздѣльное цѣлое. Самое же разграниченіе, какъ мы уже говорили, произошло вслѣдствіе необходимости подраздѣлить труды естественныиспытателей изучающихъ природу. По этому при изученіи физики, мы не будемъ ограничиваться сдѣланнымъ нами опредѣленіемъ физики въ тѣсномъ смыслѣ этого слова, но включимъ также явленія и изъ другихъ естественныхъ наукъ. Явленія эти войдутъ въ курсъ физики въ такой мѣрѣ, сколько познаніе ихъ необходимо для объясненія сопредѣльныхъ съ ними физическихъ явленій.

Ф И З И К А.

СУЩЕСТВЕННЫЯ СВОЙСТВА ТѢЛЪ.

§ 1. Физика, какъ мы уже говорили, занимается только тѣми явленіями-пред-
метами, которыя не измѣняютъ существенно свойствъ тѢЛЪ, служащихъ <sup>пред-
метъ и
тѢЛЪ</sup> средствами, для ихъ произведенія.

Къ подобнаго рода явленіямъ мы относимъ паденіе камня, звуки издаваемые колоколомъ и увеличиваніе различныхъ предметовъ помощію стеколъ, потому что тѢЛА употребляемыя для обнаруженія этихъ явленій не подлежатъ ни какому измѣненіямъ. — Такимъ же точно образомъ стекло, пропуская солнечный свѣтъ, не измѣняется нисколько, и самое нагреваніе измѣняетъ состояніе нѣкоторыхъ тѢЛЪ только на время.

Помня это условіе, не трудно отличить всякое физическое явленіе отъ другаго явленія, совершающагося съ нимъ одновременно.

Такъ напр. *теплота*, отдѣляющаяся при горѣніи угля, принадлежитъ къ явленіямъ физическимъ, а самое измѣненіе, претерпѣваемое при этомъ углемъ, т. е. превращеніе его въ пепелъ, относится къ явленіямъ химическимъ.

При изслѣдованіи различныхъ явленій физика имѣетъ цѣлю развитіе законовъ, по которымъ они совершаются. Излагая эти законы, мы будемъ постоянно указывать и на основанныя на нихъ практическія приложенія, которыя играютъ въ настоящее время не мало-важную роль въ улучшеніи общественнаго быта.

Чтобы ближе ознакомиться какъ съ составомъ самой науки, такъ и съ порядкомъ, которому будемъ слѣдовать при распредѣленіи отдѣльныхъ частей, считаемъ полезнымъ сдѣлать предварительно *краткое обзоръ явленій*, входящихъ въ физику. Но какъ всѣ явленія совершаются въ тѢЛАХЪ, то мы и ознакомимся прежде съ *существенными свойствами тѢЛЪ*.

Понятіе
о протя-
женіи
прост-
ранства,
равно-
вѣстна
и време-
на.

§2. Съ ранней юности человекъ пріобрѣтаетъ, посредствомъ осязанія и преимущественно передвиженія своего тѣла съ одного мѣста на другое, понятіе о разстояніи или о *протяженіи* всего, что находится вокругъ него.

Одно чувство зрѣнія не можетъ доставить человекъ этого понятія. Для младенца не существуетъ разстоянія, потому что онъ одинаковымъ образомъ протягиваетъ руку какъ къ предметамъ близкимъ, такъ и къ отдаленнымъ, какъ напр. къ звѣздамъ и др. — Слѣдующій, получившій впоследствии зрѣніе посредствомъ операций, не можетъ тотчасъ оцѣнивать протяженія глазами. Всѣ предметы кажутся ему въ одинаковомъ отдаленіи, но только разной величины. — Только передвиженіемъ своего тѣла и осязаніемъ видимыхъ предметовъ научается онъ различать отдаленное отъ близкаго и большее отъ малаго. —

Одна привычка употреблять для наблюденія оба эти чувства вмѣстѣ доставляетъ впоследствии возможность полагаться при оцѣнкѣ протяженія на одно только зрѣніе.

Какъ простое разсужденіе, такъ и ежедневное наблюденіе убѣждаютъ насъ, что протяженіе можетъ быть измѣряемо по тремъ направленіямъ—въ *длину*, въ *ширину*, и въ *глубину* или въ *высоту*.

Если мы представимъ себѣ, что каждое изъ этихъ трехъ протяженій продолжено на неизмѣримое разстояніе, то въ умѣ нашемъ составитъ понятіе о неограниченномъ протяженіи, извѣстномъ подъ общимъ названіемъ *пространства*.

Точно также въ каждомъ человекѣ чрезъ разнообразіе и повтореніе окружающихъ его предметовъ образуется понятіе о *числѣ*,—между тѣмъ какъ послѣдовательное повтореніе явленій рождаетъ въ немъ понятіе о *времени*. — Понятіе о послѣднемъ можетъ доставить намъ простая послѣдовательность нашихъ мыслей. Для оцѣнки какъ числа, такъ и времени мы должны имѣть какую нибудь условную величину. Перемена дыханія, бѣненіе пульса, смѣна дня и ночи и временъ года, принадлежатъ къ явленіямъ, которыя помогаютъ намъ какъ измѣрять, такъ и подраздѣлять время.

Изъ этого видно, что пространство, число и время суть отвлеченныя понятія, проистекающія отъ совокупнаго взгляда на тѣла и явленія. — Ближайшее разсмотрѣніе этихъ понятій составляетъ предметъ особой науки, называемой *математикою*, къ помощи которой прибѣгаютъ весьма часто при изслѣдованіи природы.

Матерія. § 3. Все то, что наполняетъ пространство, и вмѣстѣ съ тѣмъ можетъ быть доступно нашему осязанію, есть *матерія* или вещество.

Физическое тѣло.

Матерія, занимающая извѣстную и опредѣленную часть безпредѣльнаго пространства, называется *физическимъ тѣломъ*, въ отличіе отъ воображаемаго или *геометрическаго тѣла*, представляющаго намъ извѣстную часть пространства, независимо отъ вещества наполняющаго его.

Такъ какъ въ физикѣ разсматриваются только физическія тѣла, то употребляя слово «тѣло», мы будемъ всегда придавать ему физическое значеніе.

Существенныя свойства.

Вслѣдствіе составленнаго нами понятія о тѣлахъ, мы приписываемъ имъ слѣдующія *существенныя свойства*, составляющія такъ сказать необходимое условіе ихъ существованія: *протяженность*

непроницаемость, инерцію и способность взаимно дѣйствовать другъ на друга.

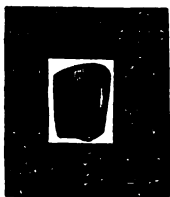
§ 4. Подъ *протяженностію* мы разумѣемъ свойство каждаго тѣла занимать извѣстную часть пространства. — Это занятіе пространства можетъ совершаться по тремъ направленіямъ въ длину, въ ширину, въ глубину или въ высоту. Хотя каждое тѣло должно имѣть *ещѣ* эти три рода протяженія, но весьма часто случается, что одно, а иногда и два изъ нихъ бываютъ чрезвычайно малы относительно третьяго, а потому при разсмотрѣніи протяженія занимаемаго тѣломъ могутъ быть оставляемы безъ вниманія. Такъ наприимѣръ разсматривая слой позолоты, покрывающій тонкую серебрянную проволоку, мы не обращаемъ вниманія на толстоту слоя, потому что она до чрезвычайности незначительна относительно длины и діаметра проволоки.

Протя-
жен-
ность.

Изъ самаго опредѣленія протяженности слѣдуетъ, что каждое изъ трехъ протяженій тѣла должно имѣть предѣлы или границы, обозначающія намъ *наружный видъ* или *фигуру* его.

Наружный видъ различныхъ тѣлъ природы бываетъ весьма разнообразенъ. Такъ напр. мы встрѣчаемъ въ природѣ тѣла, ограниченные правильно углами, боками и линиями, какъ это мы можемъ видѣть въ различныхъ минералахъ алмазъ, шпатъ и др. Такая форма тѣлъ называется *кристаллами* (ф. 1). Не менѣе минераловъ изумляютъ насъ правильностію формъ и расположеніемъ самыхъ малѣйшихъ своихъ частицъ различныя растительныя и животныя тѣла. — Примѣромъ тому служатъ тончайшія пылинки на крыльяхъ мотыльковъ; если, смотря на крылья ихъ въ увеличительное стекло, то они представляются цѣлымъ рядомъ правильно расположенныхъ перушекъ. При этомъ должно замѣтить, что органическія тѣла бываютъ ограничены преимущественно кривыми, а неорганическія ломаными линиями.

Фиг. 1.



ми, боками и линиями, какъ это мы можемъ видѣть въ различныхъ минералахъ алмазъ, шпатъ и др. Такая форма тѣлъ называется *кристаллами* (ф. 1). Не менѣе минераловъ изумляютъ насъ правильностію формъ и расположеніемъ самыхъ малѣйшихъ своихъ частицъ различныя растительныя и животныя тѣла. — Примѣромъ тому служатъ тончайшія пылинки на крыльяхъ мотыльковъ; если, смотря на крылья ихъ въ увеличительное стекло, то они представляются цѣлымъ рядомъ правильно расположенныхъ перушекъ. При этомъ должно замѣтить, что органическія тѣла бываютъ ограничены преимущественно кривыми, а неорганическія ломаными линиями.

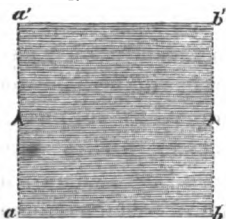
Величина пространства занимаемаго тѣломъ называется его *объемомъ*. Подобно наружному виду и объемъ тѣлъ бываетъ весьма различенъ.

Измѣ-
реніе
протя-
женій.

Для сравненія объемовъ тѣлъ необходимо производить *измѣреніе* ихъ. Измѣрять объемъ какого нибудь тѣла значитъ опредѣлить сколько разъ заключается въ немъ извѣстный и условно принятый нами объемъ, который обыкновенно называютъ *мѣрою* или *единицею*. При этомъ необходимо имѣть точное понятіе о самой единицѣ. Сверхъ того за основаніе мѣръ должно выбирать такія величины въ самой природѣ, чтобы въ случаѣ утраты возможно было замѣнить ихъ новыми. Древніе при выборѣ своихъ мѣръ упустили изъ виду это обстоятельство и потому въ настоящее время, не находя болѣе древнихъ мѣръ и не зная на чемъ онѣ были основаны, мы не можемъ извлечь ни какой пользы изъ дошедшихъ до насъ однихъ названій древнихъ мѣръ.

Для полученія единицы объема необходимо прежде опредѣлить единицу протяженія по прямой линіи или, говоря другими словами, *единицу длины*.

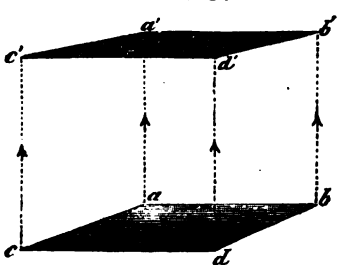
Фиг. 2.



Отъ единицы длины не трудно перейти къ единицѣ поверхности или къ *квадратной единицѣ*. Если приложить къ стѣнѣ горизонтальную палочку ab (фиг. 2) длиною въ дюймъ и передвинуть эту палочку по стѣнѣ отвѣсно къ первоначальному направленію на разстояніе дюйма, то пройденная палочкою поверхность $aba'b'$ выразитъ намъ *квадратный дюймъ*.

Съ помощью единицы поверхности легко уже перейти къ единицѣ объема или къ такъ называемой *кубической единицѣ*.

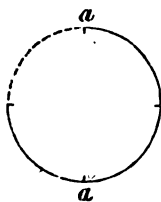
Фиг. 3.



Если кусокъ дощечки, $abcd$ (фиг. 3), величиною въ квадратный дюймъ поднятъ отвѣсно надъ столомъ, такъ чтобы всѣ точки дощечки при новомъ положеніи ея $a'b'c'd'$ отстояли отъ соответственныхъ точекъ стола $abcd$ на разстояніи дюйма, то пройденное дощечкою пространство дастъ намъ *кубическій дюймъ*.

Въ каждомъ государствѣ употребляютъ особенныя единицы длины. У насъ въ Россіи за единицу длины принимаютъ *русскій* или *англійскій футъ*, самый точный образецъ котораго хранится на монетномъ дворѣ въ С. Петербургѣ.—Русскій футъ дѣлать подобно англійскому на 12 равныхъ частей называемыхъ *дюймами*, изъ которыхъ каждый подраздѣляется на 10 частей именуемыхъ *линіями*. Семь русскихъ футовъ составляютъ *сажень*, а 500 сажень составляютъ *версту*. Въ настоящее время во Франціи основною мѣрою считается *метръ*, употребляемый также учеными и въ другихъ странахъ. Новая французская система мѣры, введенная съ 1789 года, отличается отъ прочихъ простотою своихъ подраздѣлений, происходящихъ отъ различныхъ видоизмѣненій числа 10-ти. Основаніемъ этой системы принята четвертая часть большаго круга, проходящаго на земномъ шарѣ чрезъ оба полюса a и a' и называемаго *меридіаномъ* (ф. 4). Дуга эта была измѣрена учеными съ величайшею точностію и раздѣлена на 10 миллионныхъ равныхъ частей. Одну изъ такихъ частей дуги назвали *метромъ* и приняли ее за единицу длины (1 метръ равенъ 1 русскому аршину 1 четверти и 2 съ половиною вершкамъ). Отъ раздѣленія метра на 10 произошли меньшія мѣры, названныя латинскими числительными именами, а отъ умноженія его на 10 произошли большія мѣры, получившія греческія названія.

Фиг. 4.



Меньшія мѣры.

Дециметръ	=	$\frac{1}{10}$	метра
Сантиметръ	=	$\frac{1}{100}$	— —
Миллиметръ	=	$\frac{1}{1000}$	— —

Большія мѣры.

Декаметръ	=	10	метр.
Эктометръ	=	100	— —
Километръ	=	1000	— —
Миріаметръ	=	10000	— —

Так. образ. Метръ М. Дециметръ Д. Сантиметръ С. Миллиметръ мм.

1	=	10	=	100	=	1000
		1	=	10	=	100
				1	=	10

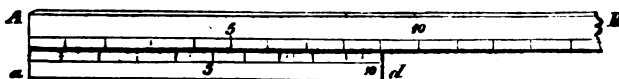
Фиг. 5-я показываетъ намъ дециметръ, раздѣленный на сантиметры и миллиметры.

Фиг. 5.

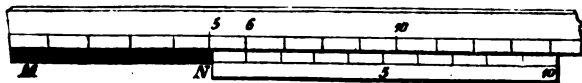


Весьма часто случается, что при измѣреніи длины даже самую маюю мѣрою получается незначительный остатокъ. При измѣреніяхъ, требующихъ точно-

Фиг. 6.



Фиг. 7.



сдѣлаемъ его описаніе. —

Оно состоитъ, какъ показываетъ Фиг. 6, изъ двухъ линейекъ. — Большая линейка АВ неподвижна и раздѣлена на равныя части; меньшая же линейка *ad*, называемая собственно *ноніусомъ*, дѣлается подвижною. — Последней линейкѣ даютъ длину равную 9 частямъ верхней линейки и раздѣляютъ ее на 10 равныхъ частей. — Слѣдовательно каждое дѣленіе линейки *ad* одною десятою частью менѣе противу каждого дѣленія линейки АВ. Положимъ, что требуется измѣрить длину предмета MN. Предметъ этотъ, какъ показываетъ Фиг. 7-я, помѣщаютъ по длинѣ линейки и наприим. находятъ, что длина его равна дѣленіямъ верхней линейки съ небольшою частию. — Для точнаго опредѣленія этой части служатъ *ноніусъ*. — Съ этою цѣлю подвигаютъ его вдоль неподвижной линейки АВ, послѣ того отыскиваютъ въ какомъ мѣстѣ происходитъ совпаденіе дѣленій обѣихъ линейекъ. Положимъ, что первое дѣленіе *ноніуса* совпало съ 6 дѣленіемъ верхней линейки. — Такъ какъ каждое дѣленіе *ноніуса* одною десятою частью менѣе каждого дѣленія верхней линейки, то значить, что длина предмета MN равна 5 и $\frac{1}{10}$ части дѣленія верхней линейки. — Если совпаденіе будетъ на второмъ дѣленіи *ноніуса*, то значить, что опредѣляемый избытокъ превосходитъ 5 дѣленій верхней линейки разницею между двумя дѣленіями верхней линейки и двумя дѣленіями *ноніуса* т. е. $\frac{1}{10}$; слѣдовательно длина предмета MN будетъ равна въ этомъ случаѣ 5 и $\frac{2}{10}$ частямъ дѣленія верхней линейки. Точно также легко опредѣлить величину избытка при совпаденіи третьяго, четвертаго и т. д. дѣленій *ноніуса*.

Изъ сдѣланнаго нами объясненія понятно, что при болѣе мелкомъ дѣленіи верхней линейки соотвѣтственно тому должны быть уменьшены и дѣленія *ноніуса*. — Для отысканія совпаденія слишкомъ мелкихъ дѣленій при дѣлаютъ къ *ноніусу* увеличительное стекло.

При измѣреніи дѣленій круга *ноніусу* даютъ дугообразную форму.

§ 5. Но протяженность не составляетъ еще единственнаго существеннаго признака опредѣляющаго тѣла. Никто конечно не будетъ утверждать, что изображеніе, представляемое зеркаломъ, либо тѣнь отъ какого-нибудь предмета, принадлежать къ тѣламъ, хотя упомянутое изображеніе и тѣнь обладаютъ протяженностію и ограничены извѣстными предѣлами.

Всякое тѣло должно наполнять занятое имъ пространство такимъ образомъ, чтобы въ то же самое время не могло заключаться въ этомъ пространствѣ другаго тѣла. Это свойство тѣлъ, называемое *непрони-*

Часть I.

3

цаемостію, составляетъ необходимое условіе существованія всякаго тѣла, потому что еслибы тѣла были проницаемы другъ для друга, то дѣливши каждое изъ нихъ на мельчайшія части и совмѣщая послѣднія между собою, мы бы должны были наконецъ допустить, что вся видимая природа можетъ совмѣститься въ одной точкѣ, что очевидно противно и убѣжденію и опыту.

Но не однимъ разсужденіемъ мы можемъ удостовѣриться въ непроницаемости тѣлъ. Самое простое наблюденіе убѣждаетъ насъ, что на томъ мѣстѣ, гдѣ стоитъ уже человѣкъ или столъ, не можетъ *въ тоже самое время* находиться другой человѣкъ, другой столъ или какое нибудь другое тѣло.

Если узкогорлую воронку плотно вставить въ шейку бутылки, заключающей въ себѣ воздухъ и наполнить воронку водою, то мы увидимъ, что только нѣсколько капель упадутъ книзу, вслѣдствіе незначительнаго сжатія заключающагося въ бутылкѣ воздуха, между тѣмъ какъ остальная вода останется въ воронкѣ и только тогда польется въ бутылку, когда мы поднимемъ воронку и образуемъ между нею и шейкой бутылки свободное пространство, которое позволитъ воздуху выйти изъ бутылки и уступить свое мѣсто водѣ.

Опуская какое-нибудь твердое тѣло въ сосудъ съ водою, съ перваго взгляда кажется, что вода проникаетъ этимъ тѣломъ, но по внимательномъ разсмотрѣніи мы найдемъ, что изъ сосуда въ то же самое время вытѣснится извѣстное количество воды, соотвѣтственное объему погруженной части. Такимъ же точно родомъ, при погруженіи руки въ глину или вкоачиваніи гвоздя въ дерево, частицы глины и дерева, раздвигаясь въ стороны, уступаютъ свое мѣсто погружаемымъ въ нихъ тѣламъ.

Препятствіе, оказываемое тѣлами во время прикосновенія къ нимъ, происходитъ вслѣдствіе ихъ непроницаемости.

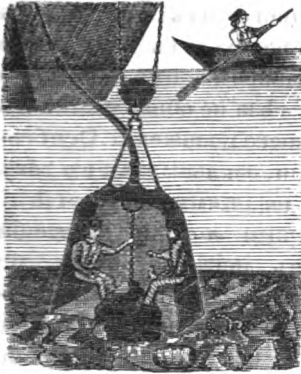
Воздухъ, наполняющій пространство также обладаетъ непроницаемостію подобно прочимъ тѣламъ. Фиг. 8.



Фиг. 8. Опуская въ воду стеклянную трубочку (Ф. 8), заткнутую пальцемъ съ верхняго конца, мы увидимъ, что вода не взойдетъ въ трубку, какъ бы мы глубоко ее ни погружали. Причина этого заключается въ непроницаемости находящагося въ трубкѣ воздуха, который не уступаетъ своего мѣста водѣ. Если же открыть верхнее отверстіе, то вода тотчасъ поднимается въ трубкѣ, потому что заключающійся въ ней воздухъ будетъ имѣть свободный выходъ.

Если поставить стеклянный колоколъ отверстіемъ на поверхность воды, такъ чтобы воздухъ не могъ выйти изъ подъ колокола и потомъ опустить его книзу, то воздухъ вслѣдствіе своей непроницаемости будетъ препятствовать вступленію воды въ колоколъ, въ чемъ легко убѣдиться, помѣстивъ предварительно на поверхности воды подъ колоколомъ небольшой зажженный огонекъ восковой свѣчи и утвержденной на кружечкѣ изъ пробковаго дерева. Эта свѣча будетъ горѣть, какъ бы мы глубоко ни погружали колоколъ, что очевидно возможно только въ томъ случаѣ, когда вода не проникаетъ въ послѣдній. Горѣніе свѣчи продолжается до тѣхъ поръ, пока не уничтожится подъ колоколомъ необходимая для того составная часть воздуха, называемая кислородомъ, составляющая непремѣнное условіе для поддержанія не только горѣнія, но и дыханія животныхъ, такъ что человѣкъ можетъ оставаться въ запертомъ пространствѣ до тѣхъ поръ, пока будетъ заключаться тамъ достаточное количество кислорода. —

Фиг. 9.



Описанный выше опытъ съ колоколомъ производятъ также въ слѣдующемъ видѣ: устраиваютъ большой колоколъ со скамейками для сидѣнія и окнами (съ толстыми стеклами) для пропуска свѣта (Ф. 9). Внутри помѣщаются люди, которые опускаются вмѣстѣ съ колоколомъ на дно рѣкъ, озеръ, морей для производства различныхъ работъ. Такой колоколъ называется *одоколомъ*. Въ настоящее время онъ приведенъ въ такое совершенство, что рабочіе могутъ оставаться въ немъ произвольное время подъ водою. — Для этого устраиваютъ въ верхней части колокола непроницаемую для воды трубу, чрезъ которую посредствомъ особеннаго прибора постоянно возобновляютъ воздухъ подъ колоколомъ. — Кромѣ того водолазы снабжаются концомъ веревки, посред-

ствомъ которой они могутъ въ любое время дать знакъ, чтобы тащили колоколъ изъ воды.

Здѣсь замѣтимъ, что подъ выраженіемъ *пустой* сосудъ, разумѣется сосудъ наполненный воздухомъ. — При наполненіи этого сосуда водою или другимъ тѣломъ воздухъ вытѣсняется вонъ.

§ 6. Третье существенное свойство тѣлъ есть *инерція*. Подъ этимъ ^{инер-}свойствомъ разумѣютъ неспособность ^{ція.}тѣлъ произвольно измѣнять положеніе и состояніе, въ которомъ они находятся. Свойство это, называемое также *самонедбательностію* или *косностію*, мы выводимъ изъ ежедневныхъ наблюденій, которыя убѣждаютъ насъ, что въ мірѣ не можетъ просходить ни одного дѣйствія безъ причины.

Очевиднѣе всего мы можемъ замѣтить свойство инерціи въ томъ случаѣ, когда тѣла находятся въ покоѣ.

Представимъ себѣ, что лежавшій спокойно камень вдругъ началъ бы двигаться. Замѣтивъ это, каждый невольно сдѣлаетъ вопросъ, какая можетъ быть причина этого явленія и никто конечно не подумаетъ, чтобы причина движенія камня заключалась въ самомъ веществѣ его. Еслибы въ комнатѣ вдругъ начала двигаться мебель, отворились бы двери и раздался бы звукъ фортепьяно или другаго инструмента, то всякій, замѣтивъ это, сталъ бы отыскивать причину въ постороннемъ вліяніи, а не въ самомъ веществѣ мебели, дверей и фортепьяно. Если бы нельзя было найти этой причины, то скорѣе каждый согласится принять эти явленія за обманъ чувствъ или за игру воображенія чѣмъ допустить, что вещественныя тѣла нарушили одно изъ главнѣйшихъ основаній своей природы.

Это свойство тѣлъ сохранять состояніе, въ которомъ они находятся и котораго они не могутъ измѣнять по произволу, можетъ быть отнесено и къ тѣламъ животнымъ, гдѣ съ перваго взгляда представляется кажущееся ему противорѣчіе. Хотя животныя по произволу измѣняютъ положеніе своихъ членовъ, но какъ цѣлое тѣло животныхъ такъ и члены ихъ представляютъ намъ сами по себѣ неподвижную массу. Мы знаемъ, что движенія въ

животномъ тѣлѣ состоятъ собственно въ движеніи мускуловъ; но мускуль самъ по себѣ не можетъ измѣнять ни одного изъ принятыхъ имъ положеній и всякое въ немъ измѣненіе происходитъ вслѣдствіе особенной причины, которая существуетъ независимо отъ вещества мускуловъ, потому что мускуль отдѣленный отъ тѣла не обнаруживаетъ способности къ самопроизвольному измѣненію своего положенія. Особенная же причина, о которой мы сейчасъ упоминали, заключается въ такъ называемой *жизненной силѣ*, подлежащей изслѣдованіямъ физиологич.

Точно также можно замѣтить свойство инерціи и при движеніи тѣлъ. Если мы толчкомъ руки приведемъ въ движеніе шаръ по шероховатой дорогѣ, то онъ не будетъ двигаться долго, но остановится, пройдя извѣстное разстояніе. Приведа въ движеніе тотъ же самый шаръ по ровной и гладкой плоскости, какъ напримѣръ по полу или по льду, не трудно замѣтить, что онъ будетъ двигаться гораздо долѣе, нежели въ первомъ случаѣ и движеніе его будетъ тѣмъ продолжительнѣе, чѣмъ глаже самая плоскость, по которой производится движеніе. Такимъ образомъ на неровной и кочковатой дорогѣ повозка останавливается тотчасъ, какъ только лошади перестанутъ ее везти, между тѣмъ какъ на шоссе, для внезапной остановки скачущей повозки, должно осадить лошадей нѣсколько назадъ. Эти и подобныя наблюденія показываютъ намъ, что тѣла имѣютъ стремленіе продолжать постоянно начатое ими движеніе и что ослабленіе и наконецъ совершенное прекращеніе движенія происходитъ единственно отъ вліянія тѣхъ препятствій, которыя тѣла должны преодолевать на своемъ пути.

Это стремленіе тѣлъ къ продолженію сообщеннаго имъ движенія очевидно происходитъ отъ *инерціи* матеріи.

Но не однимъ только отношеніемъ къ состоянію движенія и покоя обуславливается свойство инерціи. — Подъ этимъ свойствомъ мы должны разумѣть вообще неспособность тѣлъ ко всякому произвольному измѣненію своего состоянія; и въ самомъ дѣлѣ какъ опытъ такъ и наблюденіе удостовѣряютъ насъ, что ни одно тѣло само по себѣ, безъ посторонней причины, не можетъ обнаруживать ни свѣта, ни теплоты, ни тому подобныхъ явленій.

Свойствомъ инерціи мы пользуемся весьма часто въ обществѣ. Изъ множества примѣровъ примѣненія этого свойства мы укажемъ здѣсь на одинъ самый обыкновенный; такъ напр. обмакнувъ перо глубоко въ чернильницу и желая освободить его отъ избытка чернилъ, мы встряхиваемъ его, т. е. доставляемъ ему быстрое движеніе, которое потомъ прекращаемъ внезапно. Такъ какъ связь жидкости съ перомъ гораздо слабѣе нежели связь послѣдняго съ нашею рукою, то при внезапномъ останавливаніи движенія пера жидкость отрывается отъ него и продолжаетъ сообщенное ей движеніе. — Стряхиваніе воды съ мокраго бѣлья или съ шляпы смоченной дождемъ и т. п. явленія основаны на томъ же свойствѣ тѣлъ.

§ 7. На основаніи свойства инерціи каждое тѣло должно оставаться само по себѣ постоянно неизмѣннымъ. По этому тѣла, однажды нахо-

движіеся въ покоѣ, должны бы оставаться вѣчно и неизмѣнно на своихъ мѣстахъ, тогда какъ двигающіяся тѣла должны бы совершать вѣчное движеніе. Но какъ подобный взглядъ, вытекающій изъ условія, что тѣла обладаютъ только одною инерціею, противорѣчитъ тому, что мы видимъ на самомъ дѣлѣ, то должно допустить, что кромѣ инерціи тѣла одарены также способностію взаимно дѣйствовать другъ на друга и чрезъ то измѣнять всѣ принимаемыя ими состоянія, къ сохраненію которыхъ побуждается ихъ инерція.

Неизвѣстную для насъ причину этого взаимнаго дѣйствія тѣлъ, составляющаго такъ сказать *дѣятельное* свойство матеріи, мы условились называть *силою*, которая по самому различію взаимнаго дѣйствія тѣлъ носитъ различныя названія: притяженія, теплоты, свѣта и др.

КРАТКОЕ ОБОЗРѢНІЕ ФИЗИЧЕСКИХЪ ЯВЛЕНІЙ.

§ 8. Опытъ показываетъ намъ, что помощію извѣстныхъ средствъ, *дѣлимость тѣлъ* мы можемъ дѣлить на части всякое тѣло. Такимъ образомъ камни и зерна измалываются въ самую мелкую пыль и муку; металлы посредствомъ напилка превращаются въ мельчайшія порошинки; молотомъ вытягиваютъ металлы въ тончайшіе листы или нити, которыя бываютъ даже тоньше волоса.

Дѣлимость тѣлъ можетъ быть производима или помощію извѣстныхъ орудій, или помощію силъ природы. Въ первомъ случаѣ дѣлимость называется *механическою*, а въ последнемъ *физическою*.

До какой значительной степени можетъ простирается механическая дѣлимость тѣлъ мы можемъ видѣть изъ примѣровъ. Такъ напр. шелковичный червь выпускаетъ изъ себя такія тонкія нити, что цѣлая сотня ихъ, положенная рядомъ, номѣщается поперегъ проведенной черты (-). Вытягиваемыя изъ металловъ нити представляютъ, въ этомъ отношеніи, еще болѣе изумительный примѣръ: 140 такихъ нитей, положенныхъ рядомъ, едва могутъ сравниться толщиною съ самой тонкою шелковинкой.

Дѣлимость тѣлъ, достигаемая физическимъ путемъ, далеко превосходитъ дѣлимость механическую. Такъ напр. если распустишь небольшое зернышко кармина въ цѣломъ стаканѣ воды, то въ каждой каплѣ последней мы замѣтимъ красноватый цвѣтъ. Одинъ гранъ ада, называемаго *стрихнинкою* придаетъ горькій вкусъ цѣлому ведру воды. Кусочекъ мускуса, вѣсомъ въ гранъ, въ теченіе 20 лѣтъ можетъ наполнять своимъ запахомъ комнату и нисколько не уменьшится отъ того въ вѣкъ.

Хотя примѣры эти и показываютъ намъ, что дѣлимость каждаго тѣла можетъ быть доведена до предѣловъ совершенно ускользающихъ отъ нашихъ чувствъ, но тѣмъ не менѣе нельзя предполагать, чтобы она не имѣла вовсе границъ. — Если мы допустимъ, что дѣлимость тѣла простирается до безконечности, или, говоря другими словами, что величина послѣднихъ недѣлимыхъ частицъ обратится въ ничто и будетъ равна нулю, то какимъ же образомъ изъ совокупности такихъ частицъ, немѣющихся протяженія, можетъ образоваться непроницаемое тѣло, занимающее извѣстное мѣсто?

АТОМЫ. Это приводитъ насъ къ заключенію, что всѣ тѣла природы состоятъ изъ мельчайшихъ частицъ матеріи, называемыхъ *атомами* или *недѣлимыми*, которые, какъ показываетъ самое ихъ названіе, уже не могутъ быть подраздѣляемы на мельчайшія доли. Частицы эти должны быть такъ малы, что мы не только не въ состояніи ихъ видѣть простыми глазами, но даже и при помощи самыхъ сильныхъ увеличительныхъ стеколъ.

Изъ этого слѣдуетъ, что не должно смѣшивать атомовъ съ мельчайшими *частицами* тѣла, которыя могутъ быть доступны или прямо нашимъ глазамъ, или при помощи какихъ нибудь искусственныхъ средствъ.

Изъ составленнаго нами понятія о непроницаемости тѣлъ мы должны заключить, что и атомы, какъ частицы матеріи, обладаютъ также этимъ существеннымъ свойствомъ.

СВЯЗНОСТЬ.

§ 9. Но при этомъ рождается вопросъ, прикасаются ли атомы плотно другъ ко другу или находятся въ извѣстномъ отдаленіи между собою. Опытъ показываетъ намъ, что всѣ тѣла обладаютъ въ большей или меньшей степени свойствомъ *сжимаемости*, которое позволяетъ каждому тѣлу принимать отъ давленія меньшій объемъ противу первоначальнаго своего состоянія. Такъ напр. мы знаемъ, что металлы принимаютъ отъковки меньшій объемъ. А какъ атомы непроницаемы другъ для друга, то значитъ, что между ними должны заключаться промежутки. Судя по большей или меньшей степени сжимаемости тѣлъ, очевидно что и самые промежутки между атомами, ихъ составляющими, бываютъ болѣе или менѣе значительны. Эти промежутки между атомами, называемые *порами*, не должно смѣшивать съ тѣми скважинами, которыя могутъ быть замѣчены даже простыми глазами въ нѣкоторыхъ тѣлахъ какъ напр. у губки, дерева, и др. Въ существованіи промежутковъ между атомами мы убѣждаемся только при помощи опыта. Такимъ образомъ, если наполнить водою шаръ изъ желѣза или золота и закупорить его плотно, то послѣ сильнаго давленія на металлическую пробку, мы увидимъ, что вода покроетъ наружную поверхность шара мельчайшими каплями, а какъ золото при этомъ не разрывается и сохраняетъ первобытный свой видъ, и какъ вода не могла пройти наружу чрезъ непроницаемыя частицы золота, то значитъ, что между ними должны заключаться промежутки. Если мы не можемъ видѣть этихъ поръ простыми глазами и даже помощію самыхъ сильныхъ увеличительныхъ стеколъ,

то это нисколько не опровергаетъ ихъ существованія и служить только доказательствомъ чрезвычайной ихъ малости.

Опытъ доказывающій *скажность* золота былъ произведенъ флорентинскими академиками въ 1661 году.

Изъ всѣхъ тѣлъ стекло оказываетъ наиболѣе препятствія проходу черезъ него воды и воздуха, но оно можетъ быть подвержено нѣ-
которому, хотя и весьма незначительному, сжатію.

Изъ сказаннаго намъ видно, что подѣ *объемомъ* каждаго тѣла *масса* должно разумѣть пространство, въ которомъ заключаются какъ атомы его составляющіе, такъ и самыя промежутки или поры, находящіяся между ними. Совукупность атомовъ каждаго тѣла называется его *массою*. Изъ понятія о расположеніи атомовъ въ тѣлахъ не трудно убѣдиться, что для болѣе опредѣлительнаго понятія о массѣ тѣла необходимо опредѣлить отношеніе, въ которомъ находится пространство занятое массою къ цѣлому объему тѣла.

Въ обществѣн мы обыкновенно говоримъ, что тѣла расположены *плот-*
плотно между собою въ томъ случаѣ, когда они въ опредѣленномъ *плот-*
пространствѣ находятся близко другъ отъ друга. Понятіе это при-
способили и къ расположенію атомовъ въ тѣлахъ и сравнивая между
собою два тѣла, изъ которыхъ одно заключаетъ въ извѣстномъ про-
странствѣ болѣе массы противъ другаго, говорятъ, что первое тѣло
плотнѣе противу втораго. Это значитъ, что въ первомъ тѣлѣ атомы
расположены ближе между собою нежели въ послѣднемъ. Слѣдова-
тельно слово *плотность* выражаетъ величину массы въ опредѣлен-
номъ объемѣ. Чтобы имѣть возможность сравнивать между собою
плотности различныхъ тѣлъ необходимо выбрать какую нибудь услов-
ную единицу *плотности*. Этими масштабамъ для сравненія плотностей
служить масса воды, занимающая извѣстный объемъ равный *единицѣ*.
Поэтому величина массы всякаго тѣла выражается числомъ, показываю-
щимъ намъ, сколько разъ его масса болѣе или менѣе противу мас-
сы воды, заключающейся въ одномъ объемѣ со сравниваемою массою.
На этомъ основаніи если говорятъ, что плотность золота есть 19, то
это значитъ, что золото въ опредѣленномъ объемѣ заключаетъ въ
19 разъ болѣе массы противу того же объема воды.

Но при этомъ очевидно рождается вопросъ какимъ же образомъ мо-
жетъ быть опредѣлена масса или число частицъ воды, заключающе-
ся въ единицѣ ея объема. Такъ какъ мы не имѣемъ возможности
ни сосчитать числа этихъ частицъ, ни опредѣлить точную величину
каждой матеріальной частицы, то и употребляютъ съ этою цѣлію
особеннаго рода мѣру, которая будетъ показана нами впоследствии
при объясненіи притяженіи оказываемаго землею на всѣ тѣла.

Если мы означимъ чрезъ V объемъ какаго нибудь тѣла, чрезъ M количество
заключающейся въ немъ массы, а чрезъ D число частицъ въ единицѣ объ-
ема, то очевидно, что мы получимъ массу тѣла M въ томъ случаѣ, когда
умножимъ число частицъ въ единицѣ объема D на объемъ тѣла V ; $M = V \cdot D$.
Отсюда нетрудно получить величину $D = \frac{M}{V}$ т. е. что *плотность равна массѣ*
разделенной на объемъ.

Частич-
ное при-
тяженіе.

§ 10. Зная, что всѣ тѣла состоятъ изъ разобщенныхъ частицъ атомовъ нельзя не спросить, какимъ образомъ эти разобщенныя частицы сохраняютъ связь между собою и образуютъ тѣла? Если бы атомы были совершенно свободны и независимы другъ отъ друга, то вся земля съ находящимися на ней тѣлами представляла бы собою безсвязную рыхлую кучу мельчайшей пыли, въ которой каждый атомъ обнаруживалъ бы только непроницаемость относительно прилегающихъ къ нему атомовъ. Но изъ дѣйствительнаго состоянія тѣлъ мы должны заключить, что атомы связаны между собою особою *притягательною* силою. Въ существованіи этой силы, называемой также *сцепленіемъ*, убѣждаетъ насъ и опытъ, потому что при вытягиваніи тѣлъ или при отдѣленіи отъ нихъ частицъ мы встрѣчаемъ обыкновенно известное сопротивление.

Ближайшее дѣйствіе этой силы заключается, по мнѣнію Фаванковъ, въ образованіи изъ однородныхъ атомовъ отдѣльныхъ группъ, называемыхъ *частицами* и въ соединеніи этихъ группъ въ доступныя для измѣренія *части*, отъ совокупленія которыхъ уже происходятъ *тѣла*.

Частич-
ное от-
талки-
ваніе.

§ 11. Но не одна только притягательная сила участвуетъ въ образованіи тѣлъ.

Подвергая тѣла сжатію т. е. сближая атомы ихъ между собою, съ перваго взгляда можно подумать, что отъ того должно бы еще болѣе увеличиться притяженіе между атомами. Но на самомъ дѣлѣ выходитъ противное, потому что при сжатіи мы встрѣчаемъ обыкновенно сопротивленіе, которое постоянно становится сильнѣе, по мѣрѣ большаго сближенія частицъ, такъ что для сильнѣйшаго сжатія тѣла необходимо употребить и болѣе значительную силу. Это показываетъ намъ, что въ каждомъ тѣлѣ должна также существовать, между атомами и такая сила, которая противится сближенію ихъ и усиливается по мѣрѣ увеличенія самаго сближенія. Эту силу, въ противоположность первой, называютъ *отталкивающею* или *разширительною*. Очевидно, что эта сила удерживаетъ атомы въ известномъ отдаленіи другъ отъ друга и служитъ причиною скважности тѣлъ.

Оба эти вида разнородныхъ силъ, дѣйствующихъ между частицами тѣла, называютъ *частичными силами*.

Дѣйствіе частичныхъ силъ можетъ совершаться на *безконечно маломъ* разстояніи. Въ справедливости этого мы можемъ убѣдиться изъ слѣдующаго обстоятельства: если раздробить тѣло или привести его въ порошокъ, то сколько бы мы ни держали частицы въ совокупности онѣ не будутъ обнаруживать прежней связи, потому что мы не имѣемъ возможности привести частицы въ такое близкое разстояніе, которое существовало между ними до раздробленія или растиранія тѣла.

Различ-
ная со-
стояніа
тѣлъ.

§ 12. Отъ взаимнаго отношенія между притягательной и отталкивающей силами зависитъ и самый образъ скопленія частицъ въ тѣлахъ.

Обыкновенно различаютъ два рода скопленія частицъ. Или частицы бываютъ такъ соединены между собою притяженіемъ, что

для отдѣленія ихъ другъ отъ друга потребно значительное усиліе или связь между отдѣльными частицами такъ мала, что достаточно самой незначительной силы для взаимнаго ихъ разъединенія. Перваго рода тѣла напр. камень, дерево, называются *твердыми*, а втораго — *жидкими*, (напримѣръ вода, воздухъ и т. п.). Чтобы убѣдиться въ томъ, что частицы жидкихъ тѣлъ, не смотря на подвижность и легкость своего разъединенія, обладаютъ въ извѣстной степени притягательной силой, стоитъ только взять каплю воды на оконечность стеклянной палочки. Мы увидимъ, что капля не распадется на мельчайшія части, но будетъ сохранять шарообразный видъ. Значитъ между частицами капли должно существовать извѣстное притяженіе, которое удерживаетъ нижнюю часть капли въ прикосновеніи съ верхнею. При этомъ рождается вопросъ, почему въ большихъ массахъ вода и другія жидкости не имѣютъ, подобно твердымъ тѣламъ, самобытнаго вида, а принимаетъ форму сосудовъ ихъ заключающихъ. Для объясненія этого должно припомнить сказанное нами въ введеніи о притяженіи между землею и тѣлами отдѣленными отъ ней. Притяженіе земли заставляетъ верхнія частицы стремиться книзу и производить на частицы лежація подъ ними извѣстное давленіе, которое бываетъ достаточно для побужденія слабаго притяженія между остальными частицами. Вслѣдствіе того частицы теряютъ шарообразный видъ и устремляются въ стороны. Поэтому для сохраненія жидкостей мы должны ограждать ихъ такими преградами, которыя могли бы воспрепятствовать ихъ распаденію.

Жидкія тѣла этого рода называютъ *капельно-жидкими* или *несжимаемыми жидкостями*, потому что при сильномъ давленіи они обнаруживаютъ весьма малое уменьшеніе своего объема. Къ такого рода жидкимъ тѣламъ относятся вода, спиртъ, масло и т. п. Но есть и такія жидкія тѣла, которыхъ частицы оказываютъ постоянное стремленіе ко взаимному разъединенію и къ увеличенію пространства ими занимаемаго, такъ что, для удержанія въ соединеніи частицъ этихъ тѣлъ, мы должны заключать ихъ въ запертые со всѣхъ сторонъ сосуды. Такія жидкія тѣла называются *воздухообразными*. Примѣромъ ихъ можетъ служить намъ воздухъ. Но что и между частицами этихъ тѣлъ существуетъ притяженіе, мы можемъ видѣть изъ слѣдующаго обстоятельства. Нѣкоторыя изъ этихъ тѣлъ, какъ показываетъ опытъ, переходятъ въ жидкое состояніе когда, при сильномъ давленіи, частицы ихъ приходятъ въ болѣе близкое прикосновеніе между собою. Весьма часто несжимаемыя жидкости называются просто *жидкими тѣлами*, а сжимаемыя *газами*.

Эти три вида тѣлъ: *твердый, жидкій и воздухообразный*, называются въ физикѣ *состояніями скопленія атомовъ* или просто *состояніями тѣлъ*.

Но показанное нами различіе дѣйствія частичныхъ силъ въ тѣлахъ не служитъ еще осязательнымъ признакомъ для опредѣленія состояній тѣлъ. Для этого необходимо найти—какимъ образомъ обу-

сдвигаются для нашихъ чувствъ взаимное дѣйствіе частичныхъ силъ въ различныхъ состояніяхъ тѣлъ: въ твердомъ, жидкомъ и газообразномъ? Чтобы удовлетворить этому условію стоитъ только показать зависимость формы и объема тѣлъ отъ дѣйствія внѣшнихъ причинъ. Такъ напр. твердое тѣло имѣетъ *форму* и *объемъ* постоянный, жидкость измѣняетъ *форму*, но сохраняетъ *объемъ*, а газы измѣняютъ и *форму* и *объемъ*.

Упру-
гость.

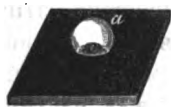
Во всѣхъ этихъ трехъ состояніяхъ, между притяженіемъ и отталкиваніемъ атомовъ, *существуетъ равновѣсіе*, безъ котораго дѣйствіе каждой изъ частичныхъ силъ въ отдѣльности было бы гораздо значительнѣе, чѣмъ оно происходитъ на самомъ дѣлѣ.

Какъ разсужденіе такъ и опытъ показываютъ намъ, что равновѣсіе это можетъ быть нарушено дѣйствіемъ внѣшнихъ силъ. Сдавливая тѣло, мы очевидно не уничтожаемъ отталкивающей силы, но только дѣйствуемъ за одно съ силою притяженія между атомами, точно также какъ при растягиваніи тѣла дѣйствуемъ за одно съ отталкивающей силой. Если послѣ сдавливанія или растягиванія предоставить обѣ частичныя силы собственному своему дѣйствію, то онѣ будутъ стремиться притти въ первоначальное состояніе равновѣсія. И въ самомъ дѣлѣ мы видимъ, что, послѣ сдавливанія и растягиванія, тѣла стремятся къ воспріятію прежняго своего вида. Это свойство тѣлъ называется *упругостію*.

Слѣдующій опытъ можетъ дать понятіе объ упругости:

Если на вымазанную сажей мраморную доску положить осторожно шаръ изъ слоновой кости, то въ точкѣ своего прикосновенія съ доскою онъ покроется чернымъ пятнышкомъ. Когда же послѣ того поднять шаръ кверху и опустить его съ извѣстной высоты на доску, то онъ покроется уже круглымъ чернымъ пятномъ, котораго величина будетъ зависѣть отъ высоты паденія шара. Это

Фиг. 10.



показываетъ, что частицы шара, падая на доску, въ моментъ своего прикосновенія къ ней сжимаются (фиг. 10) и потомъ снова принимаютъ первоначальную свою форму. — Лукъ для пусканія стрѣлъ и метательныя орудія древнихъ, бросавшія огромныя тяжести на значительное разстояніе,

представляютъ примѣры того же свойства.

Свойствомъ упругости тѣла обладаютъ въ весьма различной степени. — Такъ напр. извѣстное количество воздуха подверженное сильному сжатію принимаетъ въ одно мгновеніе первоначальное свое состояніе. Вотъ почему и причисляютъ воздухъ къ *совершенно упругимъ тѣламъ*, т. е. къ такимъ тѣламъ, которыя по прекращеніи давленія возстановляютъ совершенно свой первоначальный видъ.

Къ весьма упругимъ тѣламъ причисляютъ струны, каучукъ и резину, стальные пружины, слоновую кость, китовый усъ, лошадиную волосъ, щетину, мѣстныя виды дерева, и тонкія пластинки нѣкоторыхъ металловъ.

У многихъ тѣлъ, какъ напримѣръ у глины, свинца, мѣла, сухаго воска, сала и др. упругость обнаруживается въ незначительной степени и то только при извѣстныхъ обстоятельствахъ. Вотъ почему и называютъ тѣла эти, въ противоположность другимъ, *неупругими*.

Что тѣла эти не вовсе лишены упругости, мы можемъ убѣдиться изъ слѣдующаго опыта. Если сдѣлать два совершенно равные шара напр. изъ глины и по высушеніи повѣсить ихъ на двухъ одинаковыхъ ниткахъ такъ, чтобы шары прикасались самымъ незначительнымъ числомъ точекъ, то опустивъ оба шара съ извѣстной высоты, увидимъ, что по прикосновеніи своимъ они оттолкнутся другъ отъ друга. Оттолкновеніе это, не взирая на свою незначительность, все таки служитъ доказательствомъ упругости глины, потому что въ противномъ случаѣ шары должны бы оставаться въ совершенномъ покоѣ.

Фиг. 11.

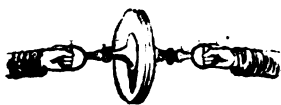


Въ упругости воды, доказанной опытами Персона, можно удостовѣриться также прыжками, которые производитъ камень брошенный косвенно на поверхность ея. (Фиг. 11).

Стекло обладаетъ также упругостію; посредствомъ особеннаго производства вытягиваютъ изъ него тончайшія нити, изъ которыхъ плетутъ корзинки и выдѣлываютъ различныя ткани. Ткани эти при гнутіи не ломаются, и потомъ принимаютъ первоначальный видъ.

§ 14. Говоря о частичныхъ силахъ, мы разумѣли только частичное ^{Притя-}притяженіе между однородными частями одного и того же тѣла. Но подобнаго рода ^{женіе.}частичное притяженіе обнаруживается также и между разнородными частицами двухъ различныхъ тѣлъ. Этотъ видъ притяженія, въ отличіе отъ сдѣлленія, называется *прилипани-емъ*. Чтобы убѣдиться въ существованіи этого притяженія стоитъ взять двѣ доски изъ одного или изъ двухъ различныхъ тѣлъ (Фиг. 12)

Фиг. 12.



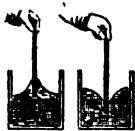
и выполировать ихъ такъ чтобы, при прикосновеніи досокъ, наибольшее число частицъ могло придти въ возможно близкое прикосновеніе между собою. И въ этомъ случаѣ обнаруживается такое притяженіе, которое не позволяетъ уже разнять доски безъ значительнаго усилія.

Подобное притяженіе происходитъ также между твердыми и жидкими и вообще между тѣлами различныхъ состояній.

Главнѣйшее свойство этого рода частичнаго притяженія заключается въ томъ, что каждое изъ тѣлъ притягивающихъ другъ друга сохраняетъ первобытный свой видъ.

На частичное притяженіе, прикасающихся поверхностей, имѣетъ значительное вліяніе самый ихъ составъ. Чтобы обнаружить послѣднее обстоятельство стоитъ только погрузить одну и ту же

Фиг. 13 и 14.



стеклянную палочку въ воду (фиг. 13) и въ ртуть (фиг. 14): поднимая палочку изъ воды мы поднимемъ вмѣстѣ съ нею и частицы жидкости, между тѣмъ какъ частицы ртути не будутъ приставать къ палочкѣ. Если вмѣсто палочки погрузить въ воду и въ ртуть стеклянную трубку, то повторятся тѣ же явленія какъ и въ предыдущемъ случаѣ: вода притянутая стекломъ под-

Фиг. 15, 16, 17 и 18.



нимется по его стѣнкамъ и произведетъ углубленіе (фиг. 15), между тѣмъ какъ неприсающая къ стеклу ртуть составитъ полукругое возвышеніе (фиг. 16).

Если же для опыта употребить весьма узкія трубки, то вода (фиг. 17) не только поднимется по краямъ сосуда, но взойдетъ даже въ самую трубку и станетъ выше прочей жидкости. Та же самая трубка (фиг. 18), погруженная въ неприсающую къ стеклу ртуть, представляетъ совершенно обратное явленіе: поверхность ртути въ узкой трубкѣ будетъ стоять ниже поверхности остальной жидкости. Узкія трубки, употребляемыя для этихъ опытовъ, называются *волосными*, а самое явленіе прилипанія, обнаруживаемое ими, — *волосностію* или *капиллярностію*.

Мы даемъ здѣсь только общее понятіе о явленіяхъ прилипанія, развитіе и объясненіе которыхъ будетъ сдѣлано нами впоследствии.

Химическое
сродство.

§ 15. Если два разнородныя тѣла соединяются между собою для образованія однороднаго цѣлаго, совершенно отличнаго отъ составляющихъ его тѣлъ, то въ этомъ случаѣ происходитъ *химическое соединеніе*. Соединеніе это образуется вслѣдствіе особеннаго рода частичнаго притяженія которое, для отличія отъ описанныхъ нами, называется *химическимъ сродствомъ* или просто *сродствомъ*.

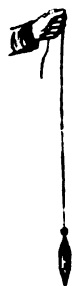
Тяжесть.

§ 16. Всѣ эти виды частичнаго притяженія съ ихъ измѣненіями совершаются только на *безконечно маломъ разстояніи*. Но въ природѣ обнаруживаются также явленія притяженія и на болѣе значительныхъ *разстояніяхъ*.

Ежедневный опытъ показываетъ намъ, что всѣ тѣла поднятыя вверхъ и предоставленныя самимъ себѣ падаютъ на землю. Но какъ всѣ тѣла по свойству инерціи не могутъ сами собою производить этого явленія, то должна существовать причина или сила, которая заставляетъ ихъ падать книзу. — Простое разсужденіе, приведенное во введеніи, при объясненіи значенія силы, убѣждаетъ насъ что паденіе тѣлъ должно происходить въ этомъ случаѣ отъ притяженія земли. Этого рода притяженіе обнаруживаемое на значительномъ разстояніи обыкновенно называютъ *тяжестію*.

Хотя тѣла поддерживаемыя и не падаютъ книзу, но тѣмъ менѣе они оказываютъ стремленіе къ этому паденію; мы убѣждаемся въ этомъ неся какое нибудь тѣло въ рукѣ, потому что ощущаемъ постоянное усиліе употребляемое нами для поддержанія тѣла.

Кусокъ свинца привѣшенный къ оконечности нити, въ приборѣ называемомъ *отвѣсомъ* (фиг. 19), стремится также къ паденію и вслѣдствіе этого стремленія вытягивается нить, которая даже разрывается, если сила сдѣвленія ея частицъ бываетъ недостаточна для противодѣйствія стремленію свинца къ землѣ.



Направленіе принимаемое отвѣсомъ показываетъ намъ самымъ точнымъ образомъ направленіе дѣйствія тяжести. Направленіе это, называемое *отвѣснымъ*, всегда составляетъ прямой уголъ съ *поверхностью спокойной воды*. Эта поверхность носитъ названіе *горизонтальной* или *уровня*.

Опытъ и наблюденія показываютъ намъ, что тяжесть дѣйствуетъ на всѣхъ точкахъ земнаго шара—на вершинахъ самыхъ высокихъ горъ, въ самыхъ глубокихъ пещерахъ, на моряхъ, на материкѣ, близъ полюса и у экватора, и что нѣтъ ни одного тѣла которое ускользало бы отъ дѣйствія тяжести.

Такъ какъ земля имѣетъ шарообразный видъ, а направленія всѣхъ ^{Вѣсь.} отвѣсовъ перпендикулярны къ поверхности ея, составляющей такъ сказать продолженную поверхность покрывающихъ ее водъ, то очевидно что всѣ направленія отвѣсовъ должны сосредоточиваться въ земномъ центрѣ.

Когда тѣла покоятся на горизонтальной плоскости, то, вслѣдствіе притяженія оказываемого на нихъ землею, они давятъ отвѣсно на эту опору. Это давленіе оказываемое каждымъ тѣломъ на опору, служащую препятствіемъ паденію его, называется *вѣсомъ* тѣла. Въ общепринятіи нерѣдко смѣшиваютъ слова *тяжесть* и *вѣсь*, тогда какъ подъ первой, должно разумѣть *причину*, а подъ послѣднимъ ея *слѣдствіе*.

Если мы раздробимъ какое нибудь тѣло на мельчайшія части, то увидимъ что всѣ эти части, не взирая на свою незначительность, будутъ также подчиняться дѣйствію тяжести.—Это позволяетъ намъ заключить, что если тѣло притягивается къ землѣ, то причина притяженія заключается собственно въ непосредственномъ дѣйствіи тяжести на каждый атомъ тѣла.

Представимъ себѣ что земля оказываетъ притяженіе на одинъ атомъ. Чѣмъ можетъ измѣряться величина давленія производимаго имъ на препятствіе не позволяющее ему приближаться къ землѣ? Очевидно силой того притяженія, которое земля оказываетъ на атомъ. Понятно, что если вмѣсто одного будутъ давить на препятствіе два атома, притягиваемые одинаковымъ образомъ землею, то величина давленія, опредѣлявшаяся въ предъидущемъ случаѣ только силой притяженія земли на одинъ атомъ, будетъ теперь вдвое болѣе предъидущаго т. е. умножится на число атомовъ. Слѣдовательно, чтобы получить

давленіе производимое тремя и болѣе атомами, надобно только помножить число атомовъ или массу тѣла на величину притяженія оказываемаго землею на одинъ атомъ. Это отношеніе между массой (M), величиной притяженія (g) земли на одинъ атомъ и давленіемъ которое мы условились называть вѣсомъ (P), можетъ быть выражено уравненіемъ $P=Mg$.

Если мы рассматриваемъ давленіе производимое одной и той же массой M , при одномъ и томъ же притяженіи земли g , напр. на одномъ какомъ либо мѣстѣ, то ясно что величина давленія или вѣсъ массы будетъ оставаться постояннымъ. По этому, если на томъ же мѣстѣ, при той же величинѣ притяженія g , мы возьмемъ другую массу M' , то вѣсъ ея P' очевидно выразится уравненіемъ $P'=M'g$. Сравнивая это уравненіе съ предыдущимъ, мы получимъ слѣдующую пропорцію: $M: M'=P: P'$, которая показываетъ, что массы двухъ тѣлъ пропорциональны ихъ вѣсамъ т. е. если одна масса вдвое болѣе противу другой, то и вѣсъ ея вдвое болѣе противу другой.

Если мы желаемъ выразить вѣсъ въ единицахъ плотности, то для этого должно только въ уравненіи $P=M \cdot g$ вмѣсто M подставить равную ему величину (§ 9) $M=VD$ и получимъ $P=VD \cdot g$. Взявши совершенно такой же объемъ V другого тѣла, котораго вѣсъ P' , а плотность D' , очевидно, что вѣсъ его P' выразится уравненіемъ $P'=VD' \cdot g$. Сравнивъ два послѣднія уравненія получимъ $P: P'=VD: VD'$ т. е. что вѣсы двухъ тѣлъ равнаго объема относятся между собою какъ ихъ плотности.

При выводѣ уравненія $P=M \cdot g$ мы предполагали, что g или притяженіе земли есть величина постоянная. — Но если бы мы опредѣляли давленіе производимое той же самой массой не на землѣ а на другой планетѣ, которая оказываетъ большее или меньшее притяженіе противу земли, то очевидно, что для одной и той же массы M (совокупности одного и того же числа атомовъ) измѣнился бы тотчасъ вѣсъ P согласно измѣненію величины g . — Если бы притяженіе увеличилось въ шесть разъ, то ясно, что при той же массѣ долженъ во столько же разъ увеличиться и самый вѣсъ. На этомъ основаніи, для означенія массы всякаго тѣла не достаточно только принимать во вниманіе одинъ вѣсъ, а необходимо обращать вниманіе и на величину притяженія.

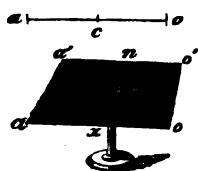
Желая опредѣлить въ какомъ отношеніи находится масса къ вѣсу и притяженію g , стоитъ только вывести величину ея изъ уравненія $P=M \cdot g$, изъ котораго получимъ $M=\frac{P}{g}$. Слѣдовательно, для правильнаго означенія массы, мы всегда должны дѣлить давленіе или вѣсъ, на величину притяженія земли.

Такъ какъ масса тѣла на извѣстномъ мѣстѣ земли можетъ быть выражена его вѣсомъ, то на этомъ основаніи въ обыкновенной жизни масса тѣла всегда опредѣляется *вѣсовымъ*. Обыкновенно при этомъ берутъ условно какое нибудь опредѣленное давленіе за единицу т. е. берутъ за единицу давленіе оказываемое какимъ нибудь тѣломъ извѣстной величины и плотности и, для измѣренія давленія всякаго другаго тѣла, опредѣляютъ—во сколько разъ послѣднее дав-

леніе болѣе или менѣе единицы давленія или единицы вѣса? Эти условныя единицы вѣса, называемыя *ириями* или *разновѣсками*, не взирая на одинаковое наименованіе не имѣютъ одинаковаго значенія во всѣхъ государствахъ. Въ Россіи за единицу вѣса принятъ фунтъ, образецъ котораго хранится въ С. Петербургѣ на монетномъ дворѣ.

Чтобы поддержать какое нибудь тѣло отъ паденія необходимо до- Центръ
тяже-
сти.
ставить ему опору. Опытъ показываетъ, что мы можемъ предохра-

Фиг. 20 и 21.



нить твердое тѣло отъ паденія, доставляя опору только одной его точкѣ. Такъ напр. чтобы предохранить отъ паденія тонкую негибкую проволоку *a b* (фиг. 20) достаточно подпереть среднюю ея точку *c*. — Очевидно, что въ этомъ случаѣ совокупное давленіе всѣхъ частицъ проволоки книзу или, говоря другими словами, вѣсъ ея мы

можемъ считать сосредоточеннымъ въ точкѣ *c*. — Точка эта, въ которой сосредоточивается вѣсъ проволоки, называется ея *центромъ тяжести*. — Опытъ показываетъ, что въ каждомъ тѣлѣ находится центръ тяжести, но положеніе его бываетъ различно, судя по самому расположенію массы тѣла. Представимъ себѣ квадратную поверхность состоящую изъ плотно приложенныхъ проволокъ *a b* (фиг. 21). — Такъ какъ центръ тяжести каждой проволоки находится на ея срединѣ, то очевидно, что общій центръ тяжести будетъ въ точкѣ *m* посрединѣ линіи соединяющей центры тяжести всѣхъ проволокъ. И въ самомъ дѣлѣ, подперевъ точку *m*, мы

Фиг. 22 и можемъ доставить опору тѣлому квадрату. Но для доста-

23. вленія опоры тѣлу нѣтъ надобности подпираť самый центръ его тяжести *m*, что очевидно невозможно въ томъ случаѣ, когда центръ тяжести находится внутри тѣла какъ напр. шара, а достаточно чтобы точка эта находилась отвѣсно надъ точкою опоры, когда тѣло подперто, (фиг. 22) или подъ точкою привѣса когда тѣло виситъ (фиг. 23)



Очевидно, что въ обоихъ этихъ случаяхъ, центръ тяжести и точки опоры или привѣса будутъ совпадать съ направлениемъ тяжести.

§ 17. Мы уже знаемъ что всякое тѣло состоитъ изъ разьединенныхъ Звукъ.
между собою частицъ матеріи, подчиняющихся постоянному дѣйствию двухъ противоположныхъ частичныхъ силъ — притягательной и отталкивающей. — Если подвергнуть давленію одну или нѣсколько такихъ частицъ находящихся въ связи между собою, то очевидно что давленіе это передается и окружающимъ частицамъ, которыя въ свою очередь будутъ распространять его далѣе до самыхъ наружныхъ частей тѣла. — Въ дѣйствительности подобнаго распространенія частицъ можно убѣдиться изъ слѣдующаго опыта: если водить омычкомъ по краю сосуда налитаго до половины водою, то мы увидимъ что движеніе сообщаемое частямъ сосуда распространится по всей поверхности жидкости которая, вслѣдствіе дрожанія про-

изведеннаго въ ея частицахъ, будетъ казаться покрытою волнами.— Ударяя молоткомъ по колоколу мы можемъ убѣдиться въ сотрясеніи его частицъ легкимъ прикосновеніемъ къ нему руки. Опытъ показываетъ что, при подобномъ движеніи, частицы только временно измѣняютъ свое положеніе относительно другъ друга. Это приводитъ насъ къ заключенію что къ такому движенію наиболѣе способны тѣла обладающія упругостію которая, какъ мы знаемъ (§ 13), состоитъ въ свойствахъ частицъ по измѣненіи своего состояніи принимать первоначальное положеніе—Такое движеніе частицъ на одномъ мѣстѣ называется *колебаніемъ*, если оно совершается въ твердыхъ и *волненіемъ*, если оно происходитъ въ жидкостяхъ или газахъ. — Но какъ ни одно тѣло на землѣ не находится въ пустотѣ, а всегда въ прикосновеніи съ подставами или съ частицами другихъ окружающихъ его тѣлъ, то очевидно что послѣднія должны принимать участие въ движеніи частицъ ударяемаго тѣла. Такимъ образомъ движеніе распространяется *постепенно* до внутреннихъ частей нашего уха и, производя въ нихъ сотрясеніе, доставляетъ намъ понятіе объ этихъ движеніяхъ носящихъ общее названіе *звука*.—Самое же ощущеніе этихъ движеній въ ухѣ называется *слухомъ*.

Слѣдств. § 18. Смотри на окружающіе насъ предметы, мы получаемъ посредствомъ глаза понятіе о фигурѣ, блескѣ, цвѣтѣ, относительно положеніи и разстояніи этихъ тѣлъ отъ насъ, точно также какъ посредствомъ уха ощущаемъ звукъ. Мы показали уже что причина ощущенія доставляемаго звукомъ заключается въ колебаніи матеріи; подобнаго очевиднаго объясненія мы не можемъ себѣ составить на счетъ ощущеній глаза, неизвѣстная причина которыхъ называется *зрѣніемъ*. Не имѣя возможности объяснить настоящей причины этого явленія, ученые старались найти сходство его съ другими явленіями. Самое ближайшее сходство съ явленіями свѣта представляютъ явленія звука и сходство это заключается въ томъ что тѣ и другія могутъ быть отнесены къ *движенію*.

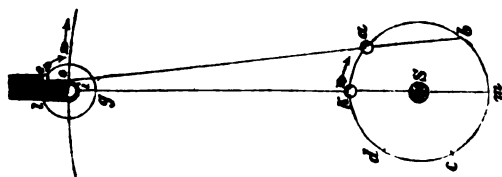
Но чтобы объяснить это свойство свѣта должно прежде показать—какія условія необходимы для того, чтобы глазъ могъ получить ощущеніе зрѣнія?—Самое простое наблюденіе показываетъ намъ, что мы не можемъ видѣть предметовъ въ *темной* комнатѣ, до тѣхъ поръ, пока въ нее не будетъ внесена зажженная свѣча или другое тѣло, издающее свѣтъ или, говоря другими словами, служащее причиной свѣта. Подобное явленіе мы ощущаемъ съ восходомъ солнца освѣщающаго всѣ предметы невидимые ввремя темной ночи.

Разсматривая тѣла природы относительно свѣта, мы можемъ легко удостовѣриться что они *вообще* могутъ быть раздѣлены на *источники свѣта* или тѣла свѣтящія, то есть такія которыя бываютъ видимы при собственномъ свѣтѣ, и на тѣла *освѣщаемыя*, которыя могутъ быть видимы нами только тогда когда на нихъ падаетъ свѣтъ отъ свѣтящихся тѣлъ. Къ главнѣйшимъ источникамъ свѣта въ природѣ мы относимъ солнце и огонь. На счетъ же освѣщаемыхъ тѣлъ замѣтимъ только то, что они бываютъ различныхъ родовъ: такъ на-

примѣръ, одни изъ нихъ, называемыя *прозрачными*, пропускаютъ свѣтъ; между тѣмъ какъ другія, называемыя *темными*, не пропускаютъ свѣта. Въ послѣднемъ случаѣ свѣтъ частію *поглощается* ими, частію же *отражается* назадъ. Это отраженіе свѣта отъ поверхности темныхъ тѣлъ и дѣлаетъ ихъ для насъ видными.

Теперь представляется вопросъ — какимъ образомъ свѣтъ достигаетъ до нашего глаза отъ свѣтящихся тѣлъ, мгновенно или по истеченіи извѣстнаго времени? Всѣ явленія свѣта на землѣ говорятъ въ пользу мгновеннаго распространенія свѣта, потому что мы видимъ предметы тотчасъ при появленіи источника свѣта. Это заставило ученыхъ, для разрѣшенія вопроса, слѣдовать явленія свѣта на отдаленіяхъ превосходящихъ наши земныя разстоянія и для того обратиться къ свѣтовымъ явленіямъ совершающимся внѣ нашей земли. Мы предполагаемъ здѣсь извѣстнымъ, что земля наша принадлежитъ къ числу небесныхъ тѣлъ обращающихся вокругъ солнца на различныхъ разстояніяхъ, простирающихся до нѣсколькихъ сотъ милліоновъ верстъ. Тѣла эти, называемыя *планетами*, не имѣютъ собственнаго свѣта, но бываютъ видны чрезъ отраженіе падающаго на нихъ солнечнаго свѣта, что очевидно происходитъ въ томъ случаѣ, когда эти тѣла при движеніи своемъ вокругъ солнца не попадаютъ въ такое мѣсто, которое заслонено отъ солнца другою болѣею противу нихъ планетою. Понятно, что при постоянномъ движеніи всѣхъ небесныхъ тѣлъ это положеніе планетъ не можетъ быть постояннымъ, а прекращается тотчасъ по выходѣ планеты изъ мѣста заслоненнаго отъ солнца. Обстоятельствомъ этимъ воспользовался въ 1675 году датскій астрономъ Ремеръ для удостовѣренія—достигаетъ ли до насъ свѣтъ мгновенно чрезъ огромныя разстоянія? Мы здѣсь дадимъ понятіе какъ о способѣ

Фиг. 24.



употребленномъ Ремеромъ, такъ и о результатахъ имъ полученныхъ. На фиг. 24 а представляетъ Солнце, *кабсд* означаетъ путь, описываемый, Землею вокругъ Солнца, а *і* положеніе

планеты Юпитера, удаленнаго отъ солнца около пяти разъ болѣе земли. Какъ самая планета есть тѣло непрозрачное, то позади ея, какъ и позади всякаго непрозрачнаго тѣла, образуется отсутствіе свѣта называемое *тѣнью*. Около Юпитера двигаются четыре спутника точно также какъ Луна вокругъ Земли, только въ другіе промежутки времени. Одинъ изъ этихъ спутниковъ, ближайшій къ планетѣ, обращается около нея въ 42 часа и 28 минутъ. Основываясь на извѣстныхъ движеніяхъ небесныхъ тѣлъ, астрономы опредѣлили съ точностію тѣ мгновенія въ которыя каждый изъ спутниковъ долженъ погружаться въ тѣнь планеты и выходить изъ нея. Для повѣрки этихъ законовъ на опытѣ поступаютъ слѣдующимъ образомъ: вскорѣ послѣ прохожденія Землею линіи *is*, соединяющей центры Солнца, Земли и Юпитера, когда Земля дойдетъ до точки *а*, замѣчаютъ выходженіе

одного изъ спутниковъ и записываютъ моментъ, въ который оно совершилось; чрезъ три мѣсяца послѣ того Земля находится въ точкѣ *b* и когда по расчету времени употребленнаго Землею на пробѣжаніе пути *ab* слѣдовало бы ожидать 50-го выходненія того же спутника изъ-за своей планеты, находятъ, что выходненіе это совершается нѣсколькими минутами позже надлежащаго. Но такъ какъ движеніе небесныхъ тѣлъ совершается по непреложнымъ законамъ, справедливость которыхъ подтверждается согласіемъ всѣхъ явленій обнаруживаемыхъ небесными тѣлами, то опаздываніе спутника мы должны приписать тому, что отражаемый отъ него свѣтъ употребляетъ большее время для прохожденія отъ *e* до *b*, нежели отъ *e* до *a*; слѣдовательно, самое опаздываніе выражаетъ время употребленное свѣтомъ для прохожденія разстоянія отъ *a* до *b*. Разстояніе же *ab* относительно извѣстнаго пути описываемаго землею есть хорда, величина которой можетъ быть опредѣлена съ величайшею точностію посредствомъ вычисленія.

Такъ какъ извѣстно, что разстояніе Земли отъ Солнца равно 24000 земнымъ радіусамъ, то легко было вычислить, что свѣтъ пробѣгаетъ въ каждую секунду до 288000 нашихъ верстъ. Замѣтимъ здѣсь; что справедливость объясненнаго нами распространенія свѣта и его быстроты подтверждается другими явленіями и опытами, которые были произведены въ позднѣйшее время и на ближайшихъ разстояніяхъ—на самой землѣ. Опыты эти, требующіе познанія нѣкоторыхъ законовъ дѣйствія свѣта, будутъ изложены впоследствии.

Изъ наблюденій Рёмера найдено что свѣтъ, подобно звуку, не распространяется мгновенно, но употребляетъ извѣстное время на прохожденіе разстоянія между своимъ источникомъ и глазомъ наблюдателя.—Точно также, когда узнаемъ ближайшія свойства распространенія свѣта, то увидимъ что и относительно образа распространенія свѣтъ представляетъ сходство со звукомъ. Главнѣйшее различіе между этими явленіями заключается въ томъ, что для объясненія передачи свѣтовыхъ явленій мы не можемъ допустить колебаній между источникомъ свѣта и глазомъ въ самой матеріи, а должны предположить, что эта передача совершается посредствомъ колебаній особаго тонкаго вещества наполняющаго поры всѣхъ тѣлъ природы и называемаго *эфиромъ*, ближайшее значеніе котораго будетъ нами объяснено въ подробной статьѣ о свѣтѣ.

Теплота. § 19. Теплота обнаруживается или непосредственнымъ дѣйствіемъ на чувство осязанія, производя въ насъ извѣстное ощущеніе называемое тепломъ или измѣненіями производимыми ею въ тѣлахъ.

Осязаніе даетъ намъ возможность судить о различной степени теплоты въ тѣлахъ, такъ напр. мы отличаемъ тѣло холодное отъ теплаго, очень холодное, очень теплое и т. п. Возможность перевозить одно и то же тѣло изъ одного состоянія теплоты въ другое показываетъ намъ что причина этихъ явленій обнаруживающихся особенными дѣйствіями на наше осязаніе отлична отъ самой матеріи въ которой происходятъ эти явленія.

Причина этихъ ощущеній извѣстныхъ каждому подъ именемъ теплоты называется въ наукѣ *теплородомъ*.

Съ усиленіемъ этой причины тѣла нагрѣваются, между тѣмъ какъ съ ослабленіемъ ея тѣла постепенно охлаждаются.

Различныя степени теплорода, познаваемые нами въ тѣлахъ осязаніемъ, называются ихъ *температурою*. На этомъ основаніи мы говоримъ, что температура тѣла тѣмъ выше, чѣмъ болѣе оно нагрѣто и, на оборотъ, тѣмъ ниже, чѣмъ менѣе оно нагрѣто.

Къ числу же дѣйствій, обнаруживаемыхъ теплородомъ въ состояніи тѣмъ, относятся измѣненіе ихъ объема и переходъ изъ одного состоянія скопленія въ другое.

Фиг. 25. Въ измѣненіи объема или въ *разширеніи* тѣлъ при на- Разши-
реніе
тѣлъ.грѣваніи и въ *сжиманіи* ихъ при охлажденіи мы можемъ удостоверить-
ся слѣдующими опытами:



Сперва обратимся къ *твердымъ тѣламъ*. Металлическій шаръ *a* (фиг. 25); проходящій въ холодномъ состояніи черезъ кружокъ *b*, послѣ нагрѣванія останавливается въ немъ и принимаетъ положеніе указанное на чертежѣ точками. — Очевидно, что обстоятельство это есть прямое слѣдствіе разширенія шара отъ нагрѣванія.

Фиг. 26. Жидкія тѣла подвержены также разширенію отъ теплорода. Наполнивъ до точки *a* бутылку подкрашеннымъ виннымъ спиртомъ (фиг. 26), мы увидимъ, что послѣдній будетъ то подниматься выше черты *a*, то опускаться ниже ея, судя потому на нагрѣтую или на холодную подставку мы будемъ ставить сосудъ. —



Газы разширяются также отъ теплорода. — И въ самомъ дѣлѣ, **Фиг. 27.** если мы опустимъ трубку *a* въ воду (фиг. 27) и будемъ нагрѣвать шаръ *b* свѣчей, то увидимъ, что изъ него изгонится часть воздуха, которая пройдетъ въ видѣ пузырьковъ черезъ воду. — Это показываетъ, что нагрѣтый воздухъ не довольствуется пространствомъ занимаемымъ имъ въ холодномъ состояніи. — По удаленіи свѣчи отъ шара, оставшійся въ немъ воздухъ охладится и приметъ меньшій объемъ, а на мѣсто изгнаннаго воздуха поднимется въ трубкѣ вода. —



Изъ этихъ примѣровъ видно, что теплородъ оказываетъ вліяніе на разширеніе тѣлъ во всѣхъ трехъ состояніяхъ скопленія.

Сверхъ того опытъ показываетъ намъ, что наибольшее разширеніе оказываютъ газы, потомъ жидкости и наконецъ твердыя тѣла, и что наиболѣе разширяемое твердое тѣло не увеличивается на столько

въ своемъ объемѣ отъ одного и того же количества теплорода на сколько увеличивается наименѣе разширяемая жидкость.

Это разширеніе тѣлъ отъ теплорода очевидно происходитъ вслѣдствіе увеличенія отталкивающей силы, дѣйствующей между атомами тѣлъ, а потому и самую отталкивающую силу между атомами приписываютъ дѣйствию теплорода, постоянному влиянію котораго подвержены всѣ тѣла природы.

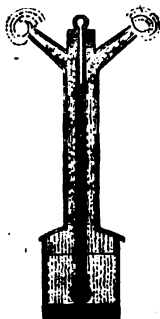
Термометръ.

На разширеніи тѣлъ отъ теплоты основано устройство инструмента, служащаго для точнѣйшаго опредѣленія степеней теплоты въ тѣлахъ. — Инструментъ этотъ, называемый *термометромъ* или *тепломѣромъ*, состоитъ изъ запальной стеклянной трубки съ шарикомъ наполненнымъ ртутью. (фиг. 28.)



При возвышеніи температуры ртуть разширяется и начинаетъ подниматься въ трубкѣ до тѣхъ поръ, пока не остановится возвышеніе температуры. Точно также, при пониженіи температуры, ртуть уменьшается въ объемѣ и опускается книзу до тѣхъ поръ, пока снова температура не сдѣлается постоянною. — Но чтобы сравнивать между собою различныя степени теплоты, необходимо выбрать условно двѣ постоянныя температуры — одну для высшихъ, а другую для низшихъ степеней теплоты. — Этими постоянными предѣлами служатъ температуры при которыхъ происходятъ кипѣніе и замерзаніе воды: относительно двухъ этихъ температуръ сравниваютъ различныя степени теплоты. — Но какъ показанія нашихъ чувствъ не могутъ быть точны, то и прибѣгаютъ въ этомъ случаѣ къ помощи термометра, на которомъ

Фиг. 29 и 30.



означена величина разширенія ртути соотвѣствующая температурѣ замерзанія и кипѣнія. Для этого опускаютъ сперва термометръ въ тающій ледъ (фиг. 29) и замѣчаютъ черточкой на поверхности трубки ту постоянную точку, которую принимаетъ окончечность ртутнаго столба во все время нахождения термометра во льду. Черезъ нѣсколько времени опускаютъ термометръ въ воду и нагреваютъ последнюю до кипѣнія (фиг. 30). Мы увидимъ, что ртуть начнетъ постепенно подниматься и наконецъ въ моментъ закипанія воды остановится и будетъ сохранять свое положеніе вовсе время кипѣнія. — Эту постоянную точку отмѣчаютъ также черточкой на трубкѣ. Первую изъ постоянныхъ точекъ занимаемыхъ ртутью называютъ *точкою кипѣнія*, а вторую *точкою замерзанія*. Судя по положенію принимаемому ртутью относительно точекъ замерзанія и кипѣнія, опредѣляютъ и самую степень температуры дѣйствующей на термометръ. Чтобы имѣть точное понятіе объ отношеніи опредѣляемой температуры къ точкамъ кипѣнія и замерзанія, дѣлятъ пространство между этими постоянными пунктами на нѣзѣ-

стное число равныхъ частей называемыхъ градусами. При ученыхъ изслѣдованіяхъ употребляютъ термометры у которыхъ это постоянное пространство раздѣлено на 100 равныхъ частей и у точки замерзанія стоитъ 0° , а у точки кипѣнія 100° .

Самые точные опыты надъ разширеніемъ тѣлъ показали, что раз- <sup>Извѣст-
ное со-
стояніе.</sup>личные тѣла при одинаковой температурѣ разширяются различно.

Теплота измѣняетъ состояніе тѣлъ; она можетъ перевести ихъ изъ состоянія твердаго въ жидкое и даже въ воздухообразное. — Это дѣйствіе теплоты извѣстно каждому; всякій знаетъ, что съ помощью теплоты можно расплавить ледъ, воскъ, сѣру, свинецъ, бронзу, серебро, золото и что только отъ охлажденія или отъ потери извѣстной части своей теплоты тѣла эти принимаютъ твердое состояніе.

Что же касается до перехода тѣлъ изъ жидкаго состоянія въ воздухообразное, то для опредѣленія этого явленія необходимо болѣе тщательное наблюденіе. — Никто не сомнѣвается что изъ фунта растаяннаго льда получается фунтъ воды, а изъ фунта твердаго золота фунтъ того же металла въ расплавленномъ видѣ, потому что переходъ изъ одного состоянія въ другое совершается видимо передъ нашими глазами. Когда же вода, при увеличиваніи, температуры начинаетъ уменьшаться въ объемѣ, то мы не видимъ новаго тѣла образующагося изъ воды, а удостоверяемся въ его присутствіи посредствомъ особенныхъ приѣмовъ. Такъ напр., если держать надъ испаряющеюся водою какое нибудь холодное тѣло, то на немъ тотчасъ образуются капли воды. На этомъ основаніи мы заключаемъ что, вслѣдствіе дѣйствія теплоты, вода переходитъ въ газообразное, подобное воздуху прозрачное тѣло, называемое парамъ.

Здѣсь должно замѣтить, что подъ общимъ названіемъ паровъ должно разумѣть не только газообразное состояніе воды, но и прочихъ тѣлъ. Такъ напр. въ настоящемъ случаѣ должно сказать *водные пары* точно также какъ, говоря о парахъ сѣры, слѣдуетъ сказать *сѣрные пары*.

Только помощію самыхъ тщательныхъ опытовъ мы можемъ убѣдиться въ томъ, что фунтъ воды даетъ дѣйствительно фунтъ пара. Это показываетъ намъ что при образованіи пара не происходитъ разложенія воды на ея составныя части, но только преобразование или простое измѣненіе состоянія скопленія. Объемъ занимаемый паромъ бываетъ значительно болѣе сравнительно съ объемомъ воды изъ которой онъ образовался и если бы противоставить этому пару легко подвижныя преграды, то раздвигая ихъ, онъ будетъ стремиться къ постепенному увеличенію объема. — Изъ этого слѣдуетъ что между частицами паровъ должна существовать *отталкивающая* или, какъ обыкновенно говорятъ, *уруная* сила. — Сила эта служитъ главнѣйшимъ отличительнымъ свойствомъ водныхъ паровъ, которые называются также *уруными парами*, для отличія отъ паровъ образующихся въ видѣ густаго тумана надъ поверхностію воды; туманъ этотъ представляетъ собою ничто иное какъ сгущенные пары т. е. воду служащую оболочкою небольшимъ шарикамъ воздуха на подобіе мыльныхъ пузырей самаго незначительнаго діаметра.

Распро-
стране-
ніе теп-
лоты.

Для дополненія краткаго очерка теплоты намъ остается сказать нѣсколько словъ о самомъ образѣ ея распространенія.

Нагрѣвая на свѣчкѣ одинъ конецъ серебряной ложки не трудно замѣтить что теплота будетъ постепенно распространяться отъ одной частицы до другой до тѣхъ поръ, пока не нагрѣется вся ложка. Такое распространеніе теплоты во внутренности тѣла называется ея *проводимостію*. Опытъ показываетъ намъ, что не всѣ тѣла проводятъ теплоту съ одинаковою скоростію. Такъ напр. раскаливши мѣдную булавку на одномъ концѣ, мы тотчасъ почувствуемъ сильное ощущеніе теплоты въ пальцѣ дотрогивающемся до другаго конца, между тѣмъ какъ деревянная спичка одной длины съ булавкой позволяетъ въ продолженіи извѣстнаго времени держать себя безопасно за другой конецъ. Явленіе это можно объяснить тѣмъ, что теплородъ проводится мѣдью лучше чѣмъ деревомъ.

На основаніи подобныхъ опытовъ дѣлятъ тѣла на *хорошіе* и *дурные проводники теплорода*. Къ хорошимъ относятъ металлы, а къ дурнымъ мраморъ, стекло, земли, дерево, воду, воздухъ и вообще тѣла наиболѣе скважистыя, заключающія между частицами своими воздухъ.

Другой способъ распространенія теплорода совершается такъ, что источникъ теплорода хотя и не касается нагрѣваемого тѣла, но дѣйствуетъ на него, не нагрѣвая промежуточной среды. Въ этомъ случаѣ говорятъ, что теплородъ распространяется *лучами*.

Солнце есть главнѣйшій источникъ теплорода ощущаемаго нами на землѣ. Къ источникамъ теплорода относится также *горніе тѣла*. Кроме того теплородъ можетъ быть развитъ взаимнымъ *треніемъ* тѣлъ, при *ударѣ* ихъ другъ объ друга и нѣкоторыми другими искусственными средствами.

Магнит-
ство.

§ 20. Магнитъ или *магнитный камень* есть желѣзная руда, обладающая свойствомъ притягивать къ себѣ желѣзо. — Причина этого явленія не заключается ни въ веществѣ магнита, ни въ веществѣ желѣза, потому что притяженіе можетъ ослабляться, усиливаться, уничтожаться и снова появляться безъ всякаго измѣненія вещества этихъ тѣлъ. — Это заставляетъ насъ принять существованіе особой силы, называемой *магнетизмомъ*. — Наибольшее дѣйствіе этой силы обнару-

Фиг. 31.



живается только на извѣстныхъ точкахъ магнита, называемыхъ *магнитными полюсами*.

Представимъ себѣ магнитную полоску свободно обращающуюся на стативѣ (фиг. 31). Если одинъ и тотъ же полюсъ стрѣлки другого магнита подносить сперва къ полюсу стрѣлки *N*, а потомъ къ полюсу *S*, то мы увидимъ, что одинъ полюсъ стрѣлки будетъ притягиваться, а другой отталкиваться отъ

дѣйствія одного и того же полюса подвешеннаго магнита, значить

силы дѣйствующія на полюсахъ одного и того же магнита должны быть противоположны между собою.

Этимъ свойствомъ пользуются для объясненія всѣмъ извѣстнаго явленія, что приготовленная изъ магнита легко подвижная стрѣлка поворачивается постоянно одинъ и тотъ же полюсъ свой по направленію къ сѣверному полюсу земли и служитъ намъ самымъ вѣрнымъ средствомъ къ указанію этой страны свѣта.

Такъ какъ это постоянное поворачиваніе однихъ и тѣхъ же полюсовъ магнитной стрѣлки къ однимъ и тѣмъ же мѣстамъ земнаго шара повторяется на всѣхъ мѣстахъ земли, и такъ какъ подобное явленіе можетъ происходить только между магнитами, то и заключаютъ, что магнитомъ дѣйствующимъ на стрѣлку долженъ быть самъ земной шаръ; полюсъ стрѣлки постоянно указывающій сѣверный полюсъ земли принято у насъ называть сѣвернымъ полюсомъ магнитной стрѣлки, а противоположный полюсъ южнымъ. — Такъ какъ вслѣдствіе сказаннаго нами выше, противоположные полюсы притягиваются другъ другомъ, то и говорятъ, что около сѣвернаго полюса земли долженъ быть южный магнитный полюсъ, а на южномъ полюсѣ сѣверный магнитный полюсъ.

§ 21. *Электричество.* Самое простѣйшее явленіе, происходящее ^{электр.} вслѣдствіе электричества, представляетъ намъ слѣдующій примѣръ. ^{трич.} ^{ство.}

Если натереть шерстяной или шелковой матеріею палочку сургуча, то она будетъ притягивать къ

Фиг. 32.



себѣ легкія тѣла какъ напр. бумажные лоскутки, бузинные шарики, деревянные опилки и т. п. иногда даже на разстояніи болѣе дюйма (фиг. 32).

Явленіе это замѣченное еще древними на янтарѣ и потому названное *электрическимъ* отъ греческаго слова электронъ—янтарь, сопровождается также и другими признаками — напр. развитіемъ особеннаго чесночнаго запаха, появленіемъ слабого треска и обнаруженіемъ въ темнотѣ небольшихъ искръ между натертымъ сургучемъ и дотрогивающимся къ нему пальцемъ. — Эти едва замѣтныя искры были открыты два вѣка назадъ физикомъ Уэллемъ (Walle), который въ своемъ описаніи уподобилъ ихъ молніи, а самый шумъ сопровождающій искры — грому. Это странное сравненіе между такими повидимому различными явленіями впоследствии оказалось совершенно справедливымъ или лучше сказать было первымъ толчкомъ, подвинувшимъ ученыхъ къ открытію такого тождества, потому что необходимо было употребить столѣтнія изслѣдованія для доказательства справедливости сравненія сдѣланнаго Уэллемъ. И въ самомъ дѣлѣ, только въ 1750 году удалось гениальному Франклину заставить молнію спуститься съ облаковъ по указанному ей пути на землю. — Для этой цѣли онъ сдѣлалъ змѣя изъ шолковаго платка съ

металлическимъ остриемъ на верху. Змѣй былъ пущенъ на пеньковой бичевкѣ. Когда бичевка намочла, послышался нѣкоторый шумъ, обыкновенно сопровождающій явленіе электричества. Франклинъ дотронулся до бичевки и получилъ искру. Дальнѣйшія изысканія надъ бичевкой положительно убѣдили его, что молнія дѣйствительно принадлежитъ къ электрическимъ явленіямъ.

При описаніи опыта Франклина мы ниѣли случай замѣтить, что бичевка обнаруживаетъ слѣды перешедшаго къ ней электричества только въ намоченномъ состояніи. Это показываетъ намъ, что не всѣ тѣла одинаково способны къ распространенію электричества. Ближайшее изслѣдованіе этого предмета показываетъ, что одни тѣла какъ напр. стекло, смола и шелкъ принадлежать къ *дурнымъ*, а другія, какъ напр. вода и металлы къ *хорошимъ проводникамъ* электричества.

Но, кромѣ показанныхъ нами, есть другіе источники электричества, описаніе которыхъ будетъ сдѣлано въ подробной статьѣ объ электричествѣ. Мы скажемъ здѣсь только, что между электричествомъ и магнетизмомъ существуетъ извѣстное отношеніе, сближающее эти явленія. Подтвержденіемъ этого служитъ вліяніе оказываемое молніею на магнитную стрѣлку, которая во время грозы измѣняетъ свои существенныя свойства, показывая на западъ и востокъ вмѣсто сѣвера и юга. Точно также замѣчено было, что куски желѣза отъ дѣйствія на нихъ грозы принимали магнитныя свойства. Но ближайшее отношеніе между явленіями электричества и магнетизма можетъ быть объяснено только при болѣе подробномъ развитіи этихъ явленій и мы указываемъ здѣсь на сближеніе ихъ единственно потому, чтобы объяснить причину отнесенія обоихъ явленій къ одной группѣ.

Раздѣленіе явленій.

§ 22. Въ этомъ краткомъ очеркѣ явленій, изслѣдованіе которыхъ составляетъ предметъ физики, мы старались дать только понятіе о самомъ образѣ дѣйствія силъ обнаруживающихся этими явленіями. Изъ многочисленныхъ явленій мы обратили вниманіе преимущественно на тѣ, которыя указываютъ ближайшее соотношеніе между различными явленіями и позволяютъ раздѣлять ихъ на сходныя группы.

Въ это обозрѣніе вошли также и тѣ явленія, которыя наиболее необходимы для доставленія лучшей послѣдовательности подробному изложенію физики.

Основываясь на отличительныхъ сходствахъ физическихъ явленій, мы будемъ разсматривать ихъ въ трехъ отдѣльныхъ группахъ.

Къ первой группѣ отнесены нами всѣ явленія начальною причиною которыхъ принимается *притяженіе*. Здѣсь разсматриваютъ *притяженіе на разстояніи и различные виды частичнаго притяженія* (тяжесть, сдѣпленіе, прилипаніе и сродство).

Ко второй группѣ относятъ явленія, обнаруживающіяся извѣстнаго рода движеніемъ, называемымъ *колебаніемъ*. Сюда причисляютъ звукъ, свѣтъ и теплоту. Теплоту разсматриваютъ въ этой группѣ на томъ

основаніи что, она въ иныхъ отношеніяхъ, какъ напр. при распространеніи своемъ лучами, представляетъ сходство со свѣтомъ.

Наконецъ, въ третьей группѣ заключаются явленія магнетизма и электричества. Такъ какъ оба эти явленія обнаруживаются извѣстнаго рода теченіемъ, то мы будемъ называть ихъ явленіями *теченія*.

Это группированіе явленій, для болѣе удобнаго обзорѣнія, представлено въ слѣдующей таблицѣ.

1-я группа.	2-я группа.	3-я группа.
Явленія притяженія.	Явленія колебанія:	Явленія теченія.
1) Притяженіе на разстояніи (тяжесть) 2) Частичное притяженіе а) Сцѣпленіе. б) Прилипаніе. в) Средство.	1) Звукъ. 2) Свѣтъ. 3) Теплота.	1) Магнетизмъ. 2) Электричество.

§ 23. При изслѣдованіи взаимнаго дѣйствія тѣлъ другъ на друга мы приходимъ къ слѣдующимъ общимъ заключеніямъ:

1) Всякое явленіе происходитъ вслѣдствіе взаимнаго дѣйствія тѣлъ, скрытую причину котораго мы назвали силой. Но при этомъ раждаетъ вопросъ, остается ли неизмѣннымъ это *дѣйствіе* и въ томъ случаѣ, когда измѣняется разстояніе между тѣлами обнаруживающими извѣстное явленіе? Какъ опытъ такъ и простое разсужденіе убѣждаютъ насъ, что всякое обнаруживаніе явленія должно быть въ зависимости отъ разстоянія.

Въ этомъ отношеніи, различныя явленія, а слѣдовательно и причины ихъ или силы отличаются другъ отъ друга только законами по которымъ совершаются измѣненія дѣйствій ихъ относительно разстояній.

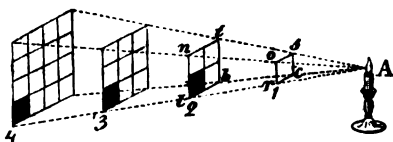
Нѣкоторыя силы природы при увеличеніи разстоянія между частицами матеріи ихъ обнаруживающими, проявляются въ такой незначительной степени, что даже при самомъ ничтожномъ или совершенно нечувствительномъ разстояніи становится вовсе незамѣтнымъ. Свойствомъ этимъ обладаютъ виды частичнаго притяженія.

Другія силы природы какъ напр. тяжесть, свѣтъ, обнаруживаютъ значительное дѣйствіе даже на большихъ разстояніяхъ. Всѣ извѣстныя силы этого рода слѣдуютъ такъ называемому *закону квадратовъ разстояній*, который заключается въ томъ, что дѣйствіе силы *уменьшается согласно увеличенію квадрата разстоянія тѣла отъ источника силы*. Чтобы сдѣлать этотъ законъ болѣе очевиднымъ мы пояснимъ его примѣромъ, и для того рассмотримъ дѣйствіе свѣта.

Всякій источникъ свѣта мы можемъ представить себѣ какъ силу дѣйствующую изъ опредѣленной точки по всѣмъ направленіямъ, въ видѣ безчисленнаго множества прямыхъ линій.

Часть I.

Фиг. 33.



Представимъ себѣ (фиг. 33), что противъ свѣчи A въ разстояніи одного аршина находится четверугольная дощечка $zorg$, на которую падаетъ извѣстное число этихъ линій. Допустимъ, что на разстояніи двухъ аршинъ отъ свѣчи помѣщена параллельно къ первой другая дощечка

ка $nibi$, величина которой ограничена пересѣченіемъ плоскостей образуемыхъ продолженіемъ линій Ao , As , Ar и Ac . Такъ какъ треугольники Azo и Atn заключающіе равные углы подобны между собою и какъ, на основаніи извѣстнаго геометрическаго правила, въ подобныхъ треугольникахъ стороны пропорціональны, то линія As будетъ относиться къ At такъ какъ zo относится къ tn . Если опустить перпендикуляръ изъ точки A на обѣ параллельныя другъ другу дощечки, то очевидно онъ будетъ выражать разстояніе ихъ отъ точки A . Соединивъ средину и оконечность этого перпендикуляра пересѣкающаго вторую дощечку съ точками s и t не трудно доказать, что линія As составляетъ половину At , а слѣдовательно и линія zo будетъ въ два раза меньше линіи tn . Тоже самое отношеніе мы можемъ вывести и для остальныхъ сторонъ дощечки т. е., что каждая сторона второй дощечки вдвое больше противу каждой стороны первой дощечки. При равенствѣ угловъ и пропорціональности сторонъ обѣихъ дощечекъ очевидно что, площади, образуемыя этими правильными четверугольниками, подобны между собою. — Площади же такихъ четверугольниковъ относятся между собою какъ квадраты сходственныхъ сторонъ. Слѣдовательно, площадь второй дощечки будетъ относиться къ первой такъ какъ 2^2 : 1^2 или какъ 4 къ 1 т. е. будетъ въ *четыре* болѣе противу послѣдней. — А это показываетъ, что одинъ и тотъ же пучъ лучей на разстояніи 2 хъ аршинъ будетъ освѣщать на второй дощечкѣ въ четыре раза болѣе пространство. Значитъ, каждая точка послѣдняго будетъ получать только четвертую часть прежняго освѣщенія. Девять такихъ квадратовъ, находящихся на разстояніи 3 аршинъ отъ свѣчи, получать отъ ней *девятую* часть прежняго свѣта. При 4 аршинахъ разстоянія, дощечка вмѣщающая 16 первоначальныхъ квадратовъ будетъ освѣщена въ 16 разъ слабѣе. Числа же 1, 4, 9, 16, представляющія степени освѣщенія, суть квадраты чиселъ 1, 2, 3, 4, изображающихъ разстоянія доски отъ источника свѣта. Примѣръ этотъ можно легко примѣнить и ко всякой силѣ дѣйствующей по закону квадратовъ разстояній.

При этомъ считаемъ не лишнимъ обратить вниманіе, что уменьшеніе дѣйствія силы при увеличеніи разстоянія между тѣлами происходитъ не отъ измѣненія самой величины силы но отъ увеличенія круга ея дѣйствія.

2) Изъ сдѣланнаго нами обзорѣнія явленій не трудно замѣтить что дѣйствіе всѣхъ силъ природы обнаруживается *вообще* движеніемъ. Подъ этимъ выраженіемъ обыкновенно разумѣютъ измѣненіе мѣста занимаемаго тѣломъ или частицею его относительно другихъ тѣлъ или частицъ неизмѣняющихъ своего взаимнаго положенія. Такъ какъ посредствомъ каждой физической силы можно произвести движеніе, то, рассматривая это явленіе независимо отъ природы силъ, говорятъ, что движеніе происходитъ вслѣдствіе дѣйствія силы на матерію и разумѣютъ подъ общимъ выраженіемъ *силы* всякую причину движенія. Замѣняя въ этомъ случаѣ выраженіе — *причина движенія* общимъ словомъ *сила*, мы имѣемъ въ виду отдѣлить умственно самое вещество совершающее движеніе отъ причины его производящей. Подобный взглядъ весьма важенъ въ томъ отношеніи что приводитъ насъ къ полученію общихъ законовъ для дѣйствія силъ. И въ самомъ дѣлѣ, если бы, при этомъ отвлеченномъ понятіи о силѣ, мы вывели законы движенія, то они могутъ быть отнесены ко всѣмъ родамъ силъ, потому что въ сущности все равно, двигается ли кусокъ желѣза отъ толчка руки или отъ дѣйствія на него притягательной силы магнита, если только, въ обоихъ этихъ случаяхъ, величина и направленіе двигающихъ силъ одинаковы. Подобный выводъ общихъ законовъ, составляющій собственно предметъ особой науки *механики*, доставляетъ весьма важное пособие для физики, имѣющей цѣлю опредѣленіе законовъ по которымъ совершаются явленія, или, говоря другими словами, различныя измѣненія въ вещественномъ мірѣ отъ дѣйствія силъ природы. На этомъ основаніи, прежде изложенія физическихъ силъ мы посвятимъ особую главу для разсмотрѣнія общихъ законовъ механики.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ И РАВНОВѢСІЯ.

(МЕХАНИКА.)

Законы равномернаго и равноускореннаго движенія.

§ 24. Одно изъ явленій наиболѣе встрѣчаемыхъ въ природѣ есть *движеніе*. Мы говоримъ что тѣло *двигается*, въ томъ случаѣ, если замѣчаемъ его постепенно въ различныхъ точкахъ пространства. Очевидно что при этомъ двигающееся тѣло измѣняетъ свое мѣсто относительно окружающихъ его предметовъ. Такъ напр. стрѣлка на циферблатѣ часовъ передвигается отъ одного дѣленія до другаго; лодка плывущая по рѣкѣ проходитъ постепенно мимо различныхъ предметовъ лежащихъ по обонимъ берегамъ рѣки; ѣдущая повозка перехо-

дѣть отъ одного мѣста до другаго: всѣ эти тѣла находятся въ движеніи потому что они, удаляясь отъ однихъ предметовъ, приближаются къ другимъ. Противоположное явленіе представляютъ намъ неподвижные предметы какъ напр. горы, дома, деревья и др. Это неизмѣнное состояніе сохраняемое тѣлами относительно окружающихъ предметовъ обыкновенно называютъ *покоемъ*.

Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что для обнаруженія движенія необходимо имѣть въ виду неизмѣнное состояніе извѣстныхъ предметовъ. Еслибы всѣ тѣла двигались одновременно, то очевидно, что всѣ они казались бы намъ въ покой, потому что относительное положеніе между ними будетъ оставаться въ этомъ случаѣ неизмѣннымъ. Такъ напримѣръ при взглядѣ на усѣянное звѣздами небо, на горы, лѣса и города намъ кажется что тѣла эти находятся въ покой. Но болѣе точное наблюденіе показываетъ что всѣ небесныя тѣла, даже извѣзды кажушіяся намъ по отдаленности неподвижными, находятся въ постоянномъ движеніи. Точно также доказано что и земной шаръ на которомъ стоятъ неподвижно дома, церкви и другіе предметы кажушіеся намъ въ покой, самъ совершаетъ движеніе вокругъ своей оси и вокругъ солнца. Однимъ словомъ, въ цѣлой природѣ мы не можемъ найти постоянныхъ предметовъ, совершенно находящихся въ покой.

Это показываетъ что наблюдаемый нами на землѣ покой не есть истинный или абсолютный, а только кажущійся или относительный. Чтобы яснѣе понять различіе между истиннымъ и относительнымъ покоемъ, представимъ себѣ человека плывущаго въ лодкѣ; хотя тѣло его и находится въ покой относительно окружающихъ предметовъ въ самой лодкѣ, какъ напр. мачты, стола, скамьи, но при взглядѣ на постепенное исчезаніе изъ вида предметовъ лежащихъ на берегу, тотъ же самый человекъ можетъ убѣдиться что лодка съ находящимися на ней предметами сама совершаетъ движеніе. Тоже самое представляетъ намъ простое передвиженіе въ комнатѣ стола на которомъ находятся различныя вещи; хотя послѣднія и сохраняютъ постоянныя мѣста относительно стола, но онѣ измѣняютъ свое положеніе относительно стѣнъ комнаты.

Слѣдовательно, если съ перваго взгляда кажется страннымъ—какимъ родомъ движется домъ, гора и цѣлый городъ, то не должно упускать изъ виду, что тѣла эти движутся вмѣстѣ съ землею на которой они утверждены.

Сила
(причина
движенія).

§ 25. Чтоже касается до причинъ движенія или силъ, то онѣ могутъ быть различны. Въ большей части движеній принимаетъ участіе сила тяжести, которая если и не бываетъ непосредственной причиной движенія, то тѣмъ не менѣе оказываетъ на него вліяніе. Къ другимъ причинамъ движенія обыкновенно относятъ электрическое и магнитное притяженіе, упругость, ударъ текущей воды и вѣтра и наконецъ ту силу, посредствомъ которой люди и животныя приводятъ въ движеніе не только собственныя свои тѣла, но и посторонніе предметы.

Для общаго разсмотрѣнія законовъ движенія рѣшительно все равно отъ какой изъ этихъ причинъ происходитъ движеніе. На этомъ основаніи, какъ мы уже говорили, всякую причину движенія называютъ просто *силой*.

Хотя мы и не можемъ объяснить себѣ въ чемъ именно заключается дѣйствіе силъ, но убѣждаемся въ существованіи ихъ по явленіямъ ими производимымъ и преимущественно вслѣдствіе сознанія нашей собственной физической силы.—Въ этомъ сознаніи убѣждаемся мы посредствомъ чувства осязанія, которое удостовѣряетъ насъ какъ въ обнаруженіи собственныхъ силъ, такъ въ дѣйствіи внѣшнихъ силъ на наше тѣло. Мы сознаемъ существованіе нашей собственной силы въ томъ случаѣ, когда ощущаемъ извѣстнаго рода давленіе; мы знаемъ изъ опыта, что отъ непрерывнаго дѣйствія подобнаго давленія могутъ происходить движенія и всѣ измѣненія въ движущихся тѣлахъ и по этому заключаемъ, что непосредственное обнаруженіе каждой силы должно заключаться въ давленіи и что каждое движеніе можетъ произойти только вслѣдствіе давленія обнаруженнаго какой либо силой.

Противу правильности выведеннаго нами заключенія о дѣйствіи силъ, по видимому, говоритъ то обстоятельство, что часто одни тѣла заставляютъ другія производить движенія, не взирая на то что не бываетъ непосредственнаго прикосновенія между ними. Такъ напр. камень падаетъ къ землѣ, кусокъ желѣза приближается къ магниту и т. п. Должно ли въ этомъ случаѣ непосредственное обнаруженіе силы приписать также давленію и можно ли сравнивать этотъ образъ проявленія силъ съ давленіемъ производимымъ рукою? Издѣсь чувство осязанія можетъ разрѣшить наше сомнѣніе. Если мы попробуемъ воспрепятствовать паденію камня къ землѣ или движенію желѣза къ магниту, то ясно увидимъ что при этомъ рука почувствуетъ извѣстное давленіе. Слѣдовательно, всякое непосредственное обнаруженіе силы заключается въ давленіи.

Не входя въ ближайшія причины движенія и принимая каждое движеніе за слѣдствіе извѣстнаго давленія на тѣла, *механика* показываетъ только—*какимъ образомъ* происходитъ самое движеніе т. е. опредѣляетъ намъ законы, по которымъ совершается движеніе при различныхъ внѣшнихъ условіяхъ.

§ 26. При дѣйствіи каждой силы на тѣло должно обращать вниманіе Элементы силъ. на *точку приложенія* т. е. на точку тѣла подверженную непосредственному дѣйствію силы, на *направленіе* дѣйствія обозначаемое прямою линіею по которой сила стремится привести въ движеніе точку приложенія и наконецъ на *величину* или, какъ весьма часто говорятъ, на *напряженіе* дѣйствующей силы.

Эти три элемента (точка приложенія, направленіе и величина) составляютъ намъ полное опредѣленіе силы.

§ 27. Такъ какъ подъ словомъ сила мы разумѣмъ неизвѣстную причину движенія, то напряженіе или величина силы можетъ быть обозначена величиною произведеннаго ею дѣйствія, При сравненіи дѣй- Опредѣленіе величины силой.

ствія одной силы съ дѣйствіемъ другой мы должны принять какую нибудь условную единицу, которая и дастъ намъ возможность судить о величинѣ дѣйствующихъ силъ. Очевидно, что двѣ силы будутъ *равны между собою*, если при дѣйствіи на одну и ту же материальную точку, съ двухъ противоположныхъ сторонъ, взаимно уничтожаютъ другъ друга или, какъ обыкновенно говорятъ, удерживаютъ другъ друга въ *равновѣсіи*. Но если эти же самыя равныя силы дѣйствуютъ по одному направленію, то очевидно что онѣ даютъ въ совокупности удвоенную силу т. е. силу $= 2$; три такія силы даютъ тройную силу и т. д. Если говорятъ что двѣ силы относятся между собою какъ 3 къ 5, то это значитъ что одна изъ нихъ равна суммѣ трехъ равныхъ силъ, изъ которыхъ каждая $= 1$, между тѣмъ какъ другая равна суммѣ 5 такихъ силъ.

На этомъ основаніи, двѣ прямыя линіи, изъ которыхъ одна заключаетъ 3, а другая 5 однѣхъ и тѣхъ же линейныхъ мѣръ, могутъ служить нагляднымъ выраженіемъ величины двухъ силъ относящихся между собою какъ 3 къ 5. Представленія силъ прямыми линіями имѣетъ ту выгоду, что послѣднія могутъ выражать намъ одновременно величину, направленіе и точку приложенія силъ.

Подобнымъ обозначеніемъ величины силъ мы еще не опредѣлили самую единицу силы, а показали что отношеніе между двумя какими нибудь силами можетъ быть выражено общей мѣрой и что численное выраженіе силы зависитъ отъ выбора единицы. Для чисто умозрительныхъ изслѣдованій нѣтъ никакой надобности въ выборѣ опредѣленной единицы силъ, но какъ при разсмотрѣніи силъ мы имѣемъ въ виду также и практическое примѣненіе ихъ, то весьма полезно, хотя и не необходимо, показать въ самомъ началѣ условно выбранную единицу силъ.

Для сравненія напряженія различныхъ силъ обыкновенно принимаютъ за единицу *условное дѣйствіе тяжести*, какъ дѣйствіе неизмѣнной силы представляющейся человѣку на каждомъ мѣстѣ земнаго шара.

Сила эта, какъ мы уже знаемъ, заставляетъ каждое тѣло оказывать давленіе на тѣ препятствія которыя мѣшаютъ ему приближаться къ землѣ. Въ ученomъ отношеніи принято считать за единицу давленіе, оказываемое на препятствіе однимъ кубическимъ дециметромъ воды, при температурѣ 4° , 1 стоградусаго термометра и при географической широтѣ Парижа. Это давленіе называется килограммомъ.

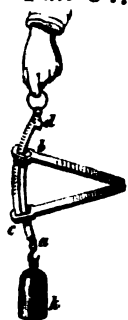
Какимъ же образомъ сравнивать съ этимъ единичнымъ давленіемъ давленіе обнаруживаемое всякою другою силою? •

Если бы мы взяли такое *сопротивленіе* которое позволяло бы выражать наглядно величину единичнаго давленія, то сравнивая съ этою наглядною величиною всякое другое давленіе, мы получили бы въ той же величинѣ напряженіе измѣряемаго давленія.

Динамометръ.

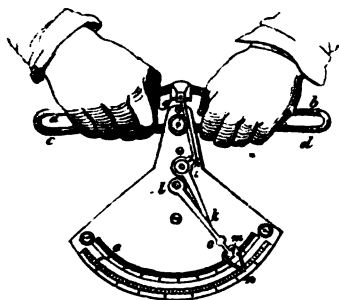
Для такого сопротивленія, по предложенію Бюффона, принято употреблять *упругость* пружинъ. — На этихъ началахъ основано устрой-

ство простаго прибора служащаго на практикѣ для измѣренія величинъ давленія силъ и называемаго *динамометромъ* или *силомеромъ* (фиг. 34). — Онъ состоитъ изъ загнутой по срединѣ упругой пружины, къ нижней части которой придѣлана на глухо металлическая дуга *cd* съ дѣленіями. — Дуга эта проходитъ сквозь прорѣзъ въ верхней части пружины и оканчивается снаружы кольцомъ. Точно такая же дуга *ba*, прикрепленная къ верхней части пружины, проходитъ свободно сквозь нижній прорѣзъ. — Если привѣшивать къ послѣдней дугѣ гири различнаго вѣса, то чѣмъ тяжелѣе гири и, слѣдовательно, чѣмъ значительнѣе притяженіе ихъ къ землѣ, тѣмъ большее давленіе онѣ будутъ производить на пружину и тѣмъ сильнѣе будутъ сжимать ее. Значитъ, по мѣрѣ сжатія пружины мы можемъ судить о величинѣ произведеннаго на нее давленія. Величину этого сжатія для каждой гири замѣчаютъ на дѣленіяхъ верхней дуги и такимъ образомъ получаютъ *скалу*, которая служитъ для обнаруженія величины давленія всякой силы сжимающей пружину. Положимъ, что средняя дѣленій соотвѣтствуетъ гири въ 4 пуда вѣсу. Если, мы можемъ подвести рукою верхнюю часть пружины только до этой точки дѣленія, то это значитъ что рука въ состояніи произвести давленіе равное давленію 4 пудовъ.



На тѣхъ же началахъ основано устройство и динамометра представленнаго на фиг. 35. — При сжатіи пружины *abcd* посредствомъ полоски *gh*, со-

Фиг. 35.



общается толчекъ указателю *ik* движущемуся на оси по поверхности небольшой металлической доски. Указатель *ik* передаетъ свой толчекъ другому указателю *ln*, внѣшній конецъ котораго показываетъ на дугѣ металлической доски величину сжатія пружины. Понятно, что и въ этомъ случаѣ дѣленія дуги означаются согласно

вѣсу гирь привѣшенныхъ къ пружинѣ *g*.

§ 28. Мы приступимъ теперь къ изложенію главнѣйшихъ законовъ движенія и равновѣсія силъ. Подробное изслѣдованіе этихъ законовъ составляетъ, какъ мы уже говорили, предметъ особой науки *механики*, которая раздѣляется на *статику*, занимающуюся равновѣсіемъ силъ, и *динамику*, рассматривающую различныя условія движенія тѣлъ.

Раздѣленіе механики.

§ 29. Всякое движеніе, какъ мы уже сказали, происходитъ вслѣдствіе дѣйствія силъ.

Элементы движенія.

Рассматривая движеніе тѣлъ независимо отъ силъ, мы получаемъ понятіе о слѣдующихъ элементахъ движенія.

1) Каждое тѣло, двигаясь отъ одного мѣста до другаго, проходитъ извѣстное *разстояніе* или *путь*. Если мы вмѣсто двигающагося тѣла

представимъ себѣ только точку, то она опишетъ на пути своемъ слѣдъ называемый *линіею*. Линію эту можно измѣрять произвольной линейной мѣрой.

2) Невозможно представить себѣ что бы тѣло въ одно и тоже мгновеніе могло находиться на двухъ или нѣсколькихъ точкахъ описываемаго имъ пути. Это показываетъ намъ, что всякое движеніе требуетъ известной продолжительности или *времени*, которое измѣряется годами, мѣсяцами, днями, часами, минутами, секундами и десятичными долями секунды.

3) Сравнивая путь проходимый движущимся тѣломъ и время употребляемое имъ на прохожденіе этого пути, мы можемъ получить понятіе о самой быстротѣ движенія производимаго тѣломъ, или о его *скорости*. Хотя мы и не можемъ опредѣлить, въ чемъ именно заключается это понятіе, составляющее одно изъ существенныхъ свойствъ всякаго движенія, но тѣмъ не менѣе убѣждаемся въ его существованіи при внимательномъ наблюденіи движеній.

Такъ напр. при различныхъ движеніяхъ мы видимъ что одинъ и тотъ же путь можетъ быть проходить тѣлами въ различныя времена; если въ одномъ случаѣ было употреблено большее время противу другаго, то мы говоримъ что, въ послѣднемъ случаѣ, скорость движенія значительное нежели въ первомъ.

Хотя подобное сравненіе пути движенія со временемъ употребленнымъ на совершеніе движенія, и не даетъ точнаго опредѣленія скорости, но оно позволяетъ намъ измѣрять ее.

И въ самомъ дѣлѣ, мы привыкли *измѣрять* скорости временами, употребленными на прохожденіе равныхъ путей. Въ два или въ три раза меньшее время соотвѣтствуетъ въ два или въ три раза большей скорости и вообще скорости обратно пропорціональны временамъ употребленнымъ на прохожденіе равныхъ путей. Если лодка употребляетъ два часа на прохожденіе 7 верстъ разстоянія, между тѣмъ какъ поѣздъ на желѣзныхъ дорогахъ совершаетъ тотъ же путь въ четверть часа, то очевидно, что скорости обоихъ движеній относятся между собою какъ $\frac{1}{4}$ къ 2 или какъ 1 къ 8.—Въ этой обратности отношеній временъ заключается главнѣйшее неудобство употребленія ихъ для опредѣленія отношенія скоростей.

Понятно, что мы можемъ оцѣнивать скорости по величинѣ путей проходимыхъ въ какую нибудь опредѣленную единицу времени. За такую единицу обыкновенно принимаютъ секунду, продолжительность которой у всѣхъ образованныхъ народовъ одинакова и какъ извѣстно составляетъ $\frac{1}{86400}$ часть астрономическихъ сутокъ или времени обращенія земли на своей оси.—За единицу же или за мѣру самой скорости обыкновенно принимаютъ движеніе тѣла проходящаго 1 футъ въ секунду. Отсюда слѣдуетъ, что скорость движенія всякаго тѣла означается количествомъ футовъ проходимыхъ имъ въ секунду. Поэтому, если говорить что скорость какого либо тѣла есть 8, или 20, или 50 фу-

товъ, то это значить, что тѣло проходить въ секунду или 8 или 20 или 50 футовъ.

§ 30. Разсмотримъ теперь движеніе въ зависимости отъ силъ.

Если сообщить малѣйшій толчокъ шару, лежащему на гладкой горизонтальной плоскости, то намъ будетъ казаться, что шаръ принимаетъ *мгновенно* всю скорость, сообщенную ему толчкомъ. Обстоятельство это съ перваго взгляда можетъ служить поводомъ къ допущенію возможности мгновеннаго дѣйствія силы на тѣло. Но по внимательномъ разсужденіи не трудно убѣдиться, что какъ ни было кратковременно дѣйствіе толчка, все таки оно должно имѣть извѣстную продолжительность. — И въ самомъ дѣлѣ, если бы допустили, что время дѣйствія толчка на шаръ равно нулю, то очевидно, что и самое дѣйствіе, произведенное имъ должно быть также равно нулю. Чтобы еще болѣе убѣдиться въ невозможности существованія, такъ называемыхъ, мгновенныхъ силъ рассмотримъ ближе, какимъ образомъ всякая сила можетъ дѣйствовать на тѣло.

Непрерывное дѣйствіе силъ

Если какая либо сила дѣйствуетъ на тѣло, то она прежде всего сообщаетъ движеніе тѣмъ частицамъ его, которыя непосредственно подлежатъ ея дѣйствію. Такъ напр. чтобы привести въ движеніе бильярдный шаръ, мы прикасаемся только къ нѣсколькимъ точкамъ его поверхности; вѣтеръ, приводящій въ движеніе судно, дѣйствуетъ непосредственно на одни паруса, которые передаютъ сообщаемое имъ движеніе сосѣднимъ частямъ, распространяющимъ его далѣе до тѣхъ поръ, пока вся масса судна не будетъ имѣть одного общаго движенія. Изъ этого слѣдуетъ, что для передачи движенія всей массѣ тѣла, необходимо извѣстное продолженіе времени. Если сила дѣйствуетъ на тѣло такое незначительное время, что частицы, непосредственно подлежащія ея движенію, не успѣваютъ передать сообщеннаго имъ движенія всей остальной массѣ, то очевидно, что частицы эти должны однѣ выдержать дѣйствіе силы. Если связь этихъ частицъ съ прочею массою тѣла не будетъ достаточно сильна для противодѣйствія силѣ, то понятнo, что частицы эти *отдѣлятся* отъ остальной массы, не передавши ей сообщеннаго имъ движенія. На этомъ основаніи мы можемъ объяснить себѣ, почему пушечная изъ ружья пуля дѣлаетъ круглое отверстіе въ оконномъ стеклѣ, нѣсколько не раздробивши остальной массы стекла, если только послѣднее находится вблизи отъ мѣста выстрѣла.

Изъ приведенныхъ нами разсужденій и опытовъ не трудно убѣдиться въ томъ, что на самомъ дѣлѣ силы могутъ производить только непрерывное дѣйствіе и что всё различіе между силами заключается въ различной продолжительности ихъ дѣйствія и въ различіи самой величины давленія оказываемаго ими въ теченіи этого времени.

§ 31. Такъ какъ всякое тѣло можетъ быть рассматриваемо за совокупность соединенныхъ между собою матеріальныхъ точекъ, то поэтому при изслѣдованіи законовъ дѣйствія силъ гораздо проще и естественнѣе рассмотретьъ предварительно дѣйствіе силы на одну *матеріальную точку* и потомъ уже перейти къ разсмотрѣнію тѣхъ случаевъ, когда

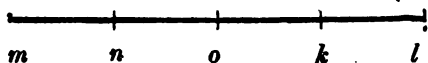
Различіе дѣйствія въ зависимости отъ дѣйствія силъ

дѣйствію силы подвержены нѣсколько матеріальныхъ точекъ, соединенныхъ между собою. Поэтому, если мы и будемъ при послѣдующемъ изложеніи говорить, что сила дѣйствуетъ на тѣло, то не должно упускать изъ виду, что сила дѣйствуетъ въ этомъ случаѣ точно такъ какъ бы она дѣйствовала на матеріальную точку.

Положимъ что сила, дѣйствующая на тѣло, въ первую секунду своего дѣйствія, сообщила ему извѣстную скорость.—Очевидно, что на основаніи свойства инерціи (§ 6), тѣло будетъ стремиться сохранить эту скорость и во всѣ слѣдующія секунды движенія. Если сила и во второй моментъ не прекращаетъ своего дѣйствія, то къ прежней скорости тѣла прибавится новая и во вторую секунду оно будетъ двигаться скорѣе нежели въ первую. Понятно, что при болѣе продолжительномъ дѣйствіи силы скорость тѣла будетъ постепенно увеличиваться т. е. въ равныя частицы времени оно будетъ проходить постепенно увеличивающіяся пространства.—Это движеніе, при которомъ происходитъ измѣненіе скоростей, называется вообще *переменнымъ*.

Если послѣ нѣсколькихъ моментовъ такого движенія прекращается дальнѣйшее дѣйствіе силы на тѣло, то очевидно, что на основаніи свойства инерціи оно должно будетъ двигаться по тому направленію и съ тою скоростію, которыя были ему сообщены въ моментъ прекращенія дѣйствія силы, т. е.

Фиг. 36.



въ равныя и слѣдующія другъ за другомъ частички времени будетъ проходить равныя разстоянія *tn*, *no*, *ok*, *kl* и т. д. (Фиг. 36)

по направленію прямой линіи т. е. означающей направленія движенія въ моментъ прекращенія дѣйствія силы.

Такое движеніе тѣла по прекращеніи дѣйствія силы называется *равномернымъ*.

Поэтому на всякое равномерное движеніе мы должны смотрѣть собственно какъ на движеніе по одной инерціи, вслѣдствіе прошедшаго дѣйствія силы на тѣло и можемъ разсматривать это движеніе совершенно независимо отъ силы его произведшей.

Чтобы убѣдиться въ справедливости этого вывода, возьмемъ на примѣръ движеніе пули, пущенной изъ ружья.—Пуля, какъ извѣстно, движется во время нахожденія своего въ дулѣ ружья вслѣдствіе давленія газовъ образующихся отъ воспламененія пороха. Подверженная непрерывному дѣйствію газовъ во все время нахожденія своего въ дулѣ ружья пуля очевидно должна двигаться съ измѣняющеюся скоростію. Но въ то мгновеніе, когда пуля оставляетъ дуло ружья и слѣдовательно когда прекращается на нее давленіе газовъ она сохраняетъ окончательно приобретенную скорость и двигалась бы съ этою скоростію по направленію сообщенному ей дѣйствіемъ силы, когда бы на пути не встрѣчала различныхъ сопротивленій постоянно измѣняющихъ это давленіе. Если бы требовалось опредѣлить какой величины была сила, сообщившая пулѣ скорость въ ружья, то вопросъ

будетъ оставаться до тѣхъ поръ неопредѣленнымъ пока къ условіямъ его не прибавится самая *продолжительность* дѣйствія силы на пулю.—Одна и таже скорость можетъ быть доставлена пулѣ весьма малою силою т. е. весьма малымъ давленіемъ, дѣйствовавшимъ весьма долгое время непрерывно по одному направленію на пулю и очень значительною силою, дѣйствовавшею въ теченіи весьма краткаго промежутка времени. Такъ напр. пуля, пущенная изъ наръзаннаго дула винтовки, будетъ имѣть болѣшую скорость противу пули, пущенной отъ одного и того же заряда изъ гладкаго ствола одинаковой длины съ винтовкою, обыкновеннаго ружья, въ которомъ пуля находилась подъ менѣе продолжительнымъ давленіемъ газовъ.

Изъ сдѣланнаго нами разсмотрѣнія дѣйствія силъ слѣдуетъ, что всякое движеніе можетъ происходить только или *при непрерывномъ дѣйствіи силы* или *по прекращенію дѣйствія ея, по одной инерціи*.—Разсматривая оба эти движенія относительно скоростей, не трудно убѣдиться, что движеніе во время дѣйствія силы, при которомъ происходитъ измѣненіе скоростей, гораздо сложнѣе равномернаго движенія, при которомъ скорости остаются постоянными.—Поэтому мы займемся прежде разсмотрѣніемъ равномернаго движенія.

§ 32. Изъ самаго опредѣленія равномернаго движенія слѣдуетъ, что ^{Законъ равномернаго движенія.} всякое тѣло, двигающееся равномерно, должно проходить въ равныя времена равныя пути. Зная скорость тѣла, двигающагося равномерно т. е. число футовъ проходимыхъ имъ въ секунду и время движенія, мы можемъ опредѣлить путь совершаемый имъ—Если скорость движенія его равна 5 футамъ въ секунду, то въ двѣ секунды оно пройдетъ 2. 5, въ десять секундъ 10. 5, а въ t секундъ t . 5 футовъ. Слѣдовательно для опредѣленія пути, пройденнаго тѣломъ въ извѣстное время, должно помножить скорость на продолжительность движенія.

Для знакомыхъ съ математикою показанное нами отношеніе между временемъ, путемъ и скоростью можетъ выражено самымъ простымъ уравненіемъ $s=ct$, въ которомъ s означаетъ путь, t — время, а c — скорость. Изъ этой формулы слѣдуетъ, что $c = \frac{s}{t}$, а $t = \frac{s}{c}$. Когда двѣ изъ этихъ величинъ s , t и c даны, то изъ уравненія легко опредѣлить третью.

Если тоже самое тѣло отъ дѣйствія другой силы, сообщающей ему скорость C , проходитъ въ тоже самое время t путь S , то $S=Ct$.—Сравнивъ это уравненіе съ предыдущимъ $s=ct$, получимъ $S:s = C:c$, т. е. сообщенныя тѣлу скорости относятся между собою какъ пути проходимые тѣломъ въ равныя времена.

Выведенный нами законъ равномернаго движенія можно выразить геометрической фигурой или, какъ обыкновенно говорятъ, представить *графически*.

При равномерномъ движеніи, какъ мы уже сказали, путь (s) выражается произведеніемъ изъ скорости помноженной на время ($c.t$); площадь же прямоугольника, какъ показываетъ геометрія, есть про-

изведеніе изъ высоты помноженной на основаніе. Поэтому путь :

Фиг. 37. пройденный равноѣрнымъ движеніемъ можетъ быть представленъ прямоугольникомъ $ABCD$ (Фиг. 37.), у котораго основаніе AB соотвѣтствуетъ времени (t), а высота $AD=BC$ скорости (c); при этомъ какъ время такъ и скорость B мы выражаемъ однѣми единицами длины.



Весьма затруднительно и даже невозможно представить примѣръ прямолинейнаго движенія съ совершенно равноѣрною скоростію, потому что мы не можемъ никогда изолировать это движеніе или, говоря другими словами, устранить отъ него вліяніе постороннихъ силъ. Хотя подобное движеніе и не можетъ нигдѣ происходить въ природѣ и хотя на поверхности земли не возможно устранить тѣло отъ вліянія всѣхъ постороннихъ силъ, нарушающихъ однажды принятое прямолинейное и равноѣрное движеніе, но тѣмъ не менѣе выведенное нами отношеніе между путемъ s , временемъ t и скоростію c мы должны принять за математическую истину въ томъ случаѣ, если бы представили себѣ движеніе по прямой линіи съ равноѣрною скоростію. Подобное представленіе мы можемъ сравнить съ геометрическимъ изслѣдованіемъ линій, плоскостей и тѣлъ, истины котораго нисколько не страдаютъ отъ того, что въ дѣйствительности существуютъ не геометрическія, но только физическія линіи, плоскости и тѣла.

Пере-
мѣнное
движе-
ніе.

§ 33. Послѣ разсмотрѣнія движенія по инерціи перейдемъ къ движенію во время дѣйствія силы.

Если сила дѣйствуетъ на тѣло непрерывно, то при этомъ, какъ мы уже говорили, должно происходить непрерывное измѣненіе скоростей движенія, т. е. что скорость въ каждую единицу времени бываетъ другая нежели въ предшествовавшую или послѣдующую единицу времени.

Чтобы облегчить себѣ представленіе непрерывнаго дѣйствія силъ мы можемъ предположить, что время, въ продолженіи котораго совершается подобное дѣйствіе, раздѣлено на безконечное множество малыхъ, но равныхъ между собою частей, при началѣ которыхъ возобновляется дѣйствіе силы, остающееся потомъ неизмѣннымъ въ продолженіи каждой частицы времени. Очевидно, что подобное предположеніе тѣмъ болѣе будетъ приближаться къ истинѣ, чѣмъ меньшія частицы времени мы представимъ себѣ; такъ какъ ничто не мѣшаетъ представить въ умѣ эти частицы безконечно малыми, то понятно, что при такомъ предположеніи мы не удалимся даже отъ математической строгости, точно также какъ не удаляемся отъ точности въ математикѣ при изслѣдованіи кривыхъ линій, когда принимаемъ ихъ за многоугольники, имѣющіе безконечное множество безконечно малыхъ сторонъ.

Если сила дѣйствуетъ на двигающееся тѣло во всѣ частицы времени съ равнымъ напряженіемъ т. е. съ давленіемъ одинаковой величины, то очевидно, что въ каждую частицу времени должно происходить равное увеличеніе скорости, а слѣдовательно самое движе-

нѣ тѣло будетъ *равноускоренное*.—Подобное движеніе мы можемъ представить себѣ въ томъ случаѣ, если бы, сообщивъ тѣлу толчокъ, постоянно возобновляли его съ одинаковымъ напряженіемъ во все продолженіе движенія. Если же дѣйствіе силы въ различныхъ частицы времени совершается съ различнымъ напряженіемъ, то хотя и будетъ происходить увеличеніе скорости, но это увеличеніе не будетъ уже происходить равномерно. Такъ напр. при движеніи тѣла толчками послѣдніе очевидно могутъ быть различнаго напряженія.

Если тѣло будетъ двигаться съ постоянно уменьшающеюся скоростью, то движеніе называется *ускоряемымъ*, которое можетъ быть также *равноускоренное* и *неравноускоренное*.

§ 34. Мы рассмотримъ предварительно равноускоренное движеніе. Равно-
уско-
ренное
движе-
ніе.

Если сила, производящая равноускоренное движеніе, по прошествіи извѣстнаго времени, прекращаетъ свое дѣйствіе, то очевидно, что съ этого мгновенія не будетъ уже болѣе происходить измѣненія скорости и слѣдовательно двигающееся тѣло будетъ сохранять ту скорость, до которой оно достигло въ это мгновеніе.—Послѣднюю скорость и называютъ скоростью пріобрѣтенною тѣломъ. Поэтому если говорятъ про скорость тѣла, совершающаго равноускоренное движеніе, то подъ нею должно разумѣть скорость пріобрѣтенную тѣломъ по прошествіи извѣстнаго времени. — При дальнѣйшемъ продолженіи ускореннаго движенія тѣло не будетъ уже продолжать двигаться съ этою скоростью, что можетъ произойти только въ томъ случаѣ, если съ этого мгновенія прекратится дѣйствіе ускоряющей силы. Безъ этого условія скорость тѣла въ слѣдующую частицу времени снова возрастетъ на величину, соотвѣтствующую напряженію силы.

Скорость, пріобрѣтенная по *прошествіи извѣстнаго времени* тѣломъ, совершающимъ равноускоренное движеніе, называется *конечною*.

Чтобы опредѣлить эту скорость для какого нибудь времени, стоитъ только знать, сколько футовъ можетъ пройти въ секунду тѣло, двигающееся съ этою скоростью равномерно.

По этому для опредѣленія конечной скорости, соотвѣтствующей извѣстному моменту равноускореннаго движенія, мы должны предположить, что по достиженіи ея прекратилось дѣйствіе силы на тѣло и что послѣднее, вслѣдствіе инерціи, продолжаетъ двигаться равномерно со скоростью, полученною въ моментъ прекращенія дѣйствія силы. Понятно, что количество футовъ, пробѣгаемыхъ при этомъ тѣломъ въ секунду, и дастъ намъ конечную скорость, пріобрѣтенную имъ при ускоренномъ движеніи по прошествіи извѣстнаго времени. Слѣдовательно, если говорятъ, что по прошествіи четырехъ секундъ конечная скорость тѣла равна 60 фут., то это значитъ, что отъ дѣйствія ускоряющей силы тѣло пріобрѣло скорость, позволяющую ему проходить равномернымъ движеніемъ 60 фут. въ секунду.

Перейдемъ теперь къ опредѣленію законовъ этого движенія.

Одни изъ этихъ законовъ имѣютъ цѣлю показать отношеніе между конечною скоростью и временемъ, въ которое она пріобрѣтена,

между тѣмъ какъ другіе опредѣляютъ величину пути, пройденнаго тѣломъ по прошествіи извѣстнаго времени.

§ 35. Такъ какъ подъ равноускореннымъ движеніемъ мы разумѣмъ такое движеніе, при которомъ происходитъ непрерывное и равномерное приростаніе скоростей, то изъ самаго этого опредѣленія слѣдуетъ, что равнымъ временамъ соотвѣтствуютъ и равной величины приростанія скоростей.—

Опредѣленіе скорости при равноускоренномъ движеніи.

По этому въ каждую единицу времени скорость тѣла должна увеличиваться постоянною величиною.—Такъ напр. если тѣло отъ дѣйствія непрерывной силы приобрѣло въ секунду скорость одинъ футъ, то въ каждую слѣдующую секунду скорость, сохраняемая тѣломъ вслѣдствіе инерціи, будетъ постоянно увеличиваться однимъ футомъ.—Эта постоянная величина, означающая приростаніе скорости въ каждую единицу времени, называется *ускореніемъ*.—Зная величину ускоренія, не трудно опредѣлить скорость, приобретаемую тѣломъ по прошествіи каждой единицы времени. Если по прошествіи первой секунды тѣло, подверженное дѣйствію непрерывной силы, приобрѣло скорость одного фута, то очевидно, что по инерціи оно должно сохранить эту скорость и въ послѣдующія секунды времени.—Но какъ во вторую секунду сила доставляетъ тѣлу снова ускореніе одного фута, то скорость всего движенія будетъ 2 фута или въ два раза больше противу величины ускоренія.—Точно также для полученія величины скорости въ 3-ю секунду должно прибавить къ 2 футамъ величину ускоренія или 1 футъ; слѣдовательно скорость будетъ равна 3 футамъ или въ три раза больше противу величины ускоренія.—Понятно, что въ t секундъ скорость будетъ въ t разъ больше противу величины ускоренія.

Однимъ словомъ, если ускореніе въ одну секунду равно g футамъ, то въ 2, 3, 4, 5, 6 и т. д. t секундъ скорость v будетъ равна $2g$, $3g$, $4g$, $5g$, $6g$, tg футамъ. Это показываетъ намъ, что при дѣйствіи силы на тѣло скорость, приобретаемая имъ, возрастаетъ вмѣстѣ со временемъ, въ продолженіи котораго происходитъ движеніе. Выражая выведенное нами слѣдствіе математическимъ языкомъ, обыкновенно говорятъ, что скорости приобретаемыя тѣломъ при постоянномъ дѣйствіи силы *возрастаютъ пропорціонально временамъ, употребляемымъ на движеніе*.

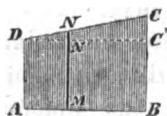
§ 36. Опредѣленіе пути, проходимаго тѣломъ въ извѣстное время при равноускоренномъ движеніи, не такъ просто, какъ опредѣленіе самой скорости, но при помощи численнаго примѣра и графическаго представленія можетъ быть легко понято при внимательномъ чтеніи.

Опредѣленіе пути при равноускоренномъ движеніи.

Поэтому прежде опредѣленія пути мы покажемъ графическое представленіе равноускореннаго движенія.

При равномерномъ движеніи, какъ мы видѣли, (§ 32, фиг. 37.), скорость MN въ каждый моментъ движенія AM

Фиг. 38.



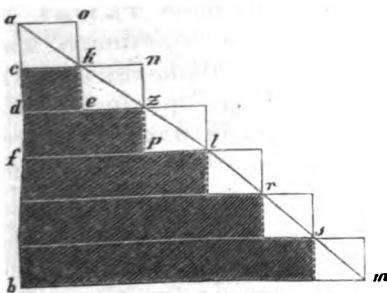
остается таже самая, какъ и при началѣ движенія. При равноускоренномъ же движеніи она возрастаетъ для cadaго мгновенія; поэтому движеніе это можетъ быть выражено толь-

ко четвероугольникомъ $ABCD$ (фиг.38), въ которомъ время (t) представляетъ линія AB , начальную скорость—линія AD , конечную скорость—линія BC , а величина постепенно увеличивающихся промежуточныхъ скоростей (MN) опредѣляется *восходящею* линію DC . Намъ остается доказать теперь, что при равноускоренномъ движеніи линія DC должна быть *прямая*. И въ самомъ дѣлѣ, если изъ точки D провести параллельно къ AB линію DC' , то послѣдняя линія отрѣжетъ отъ всѣхъ линій (MN, BC), представляющихъ скорости въ извѣстные моменты, величины соответствующія начальной скорости AD . Такъ какъ линіи CC' и NN' опредѣляютъ намъ величины приращенія скоростей для моментовъ времени DN' и DC' и такъ какъ при равноускоренномъ движеніи конечныя скорости пропорціональны временамъ, то мы получимъ отношеніе $NN': CC' = DN': DC'$. Отношеніе это показываетъ въ свою очередь, что треугольники DNN' и DCC' должны быть подобны между собою, а подобіе ихъ требуетъ чтобы углы NDN' и $C'CC'$ были равны, что конечно возможно только въ томъ случаѣ, когда точки D, N и C лежатъ на одной прямой линіи.

Положимъ, что какое нибудь тѣло отъ непрерывнаго дѣйствія силы приобретаетъ по прошествіи первой секунды конечную скорость 32 футовъ.—По сдѣланному нами опредѣленію конечной скорости это значитъ, что если бы на тѣло, тотчасъ по окончаніи первой секунды, прекратилось дѣйствіе силы, то оно продолжало бы двигаться равномерно со скоростью 32-ти футовъ въ секунду. Очевидно, что путь, пройденный тѣломъ въ первую секунду, когда дѣйствовала на него сила, будетъ менѣе 32 фут., потому что путь въ 32 фута оно могло совершить въ томъ только случаѣ, если бы во всё продолженіе секунды сохранило равномерную скорость 32 фут. (§ 31). Но какъ скорость тѣла возрастаетъ отъ 0 до 32 фут., то ясно, что скорость его въ продолженіи секунды была постоянно менѣе 32 фут.

При такомъ постоянномъ измѣненіи скоростей нѣтъ возможности

Фиг. 39.



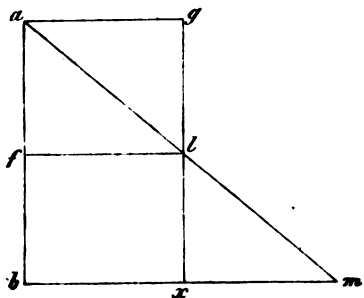
прямо найти величину пути, пройденнаго тѣломъ. Понятно, что задача была бы разрѣшена въ томъ случаѣ, если бы мы могли опредѣлить какую скорость должно имѣть тѣло, чтобы при равномерномъ движеніи своемъ могло пройти въ *извѣстное время тоже пространство*, какъ и при равноускоренномъ движеніи. Рѣшеніе этого вопроса легко достигается при помощи графическаго представленія ускореннаго движенія (фиг. 39).

Представимъ себѣ, что линія ab изображаетъ продолженіе извѣстнаго времени, напримѣръ одну секун-

ду, и что время это раздѣлено на *чрезвычайно малые* и равные между собою моменты ac , cd , df , и т. д. Въ началѣ перваго момента очевидно сила должна сообщить тѣлу известную скорость, величину которой выразимъ линіею ao перпендикулярною къ ab . Такъ какъ мы предположили моменты движенія чрезвычайно малыми, то можемъ допустить, что въ *продолженіе* *каждаго* момента скорость тѣла остается неизмѣнною т. е. что тѣло въ теченіи этого момента движется равномерно. Чтобы получить при этомъ условіи пространство, пройденное тѣломъ въ первый моментъ, должно помножить время на скорость т. е. $ac \times ao$. Полученное произведеніе, какъ известно, выражаетъ площадь прямоугольника $aosc$, который на этомъ основаніи можетъ представлять намъ пространство, пройденное тѣломъ въ первый моментъ. Если бы сила не дѣйствовала во второй моментъ на тѣло, то оно сохранило бы по инерціи скорость ck , равную ao , и прошло бы пространство $ckde$ равное $aosc$. Но какъ сила и во второй моментъ не перестаетъ дѣйствовать на тѣло, сообщая ему скорость одинаковую какъ и въ первый моментъ, то ясно, что оно будетъ имѣть скорость вдвое большую противу первой скорости и пройдетъ пространство $cn dz$.

Разсуждая такимъ образомъ, мы придемъ къ заключенію, что пространство, проходимое тѣломъ въ первую секунду, выразится суммою всѣхъ прямоугольниковъ, представленныхъ на чертежѣ. Высоты этихъ прямоугольниковъ, выражающія моменты движенія тѣла въ продолженіи секунды, по сдѣланному нами условію, должны быть чрезвычайно малы и чѣмъ меньшую мы дадимъ имъ величину, тѣмъ очевидно ломаная линія $knzlrsm$ будетъ ближе подходить къ прямой am . Еслибы мы раздѣлили ab на безконечное число частей для того, чтобы этимъ совершенно выразить дѣйствіе непрерывной силы, ни

Фиг. 40.



на одно мгновеніе непрекращающей своего дѣйствія на тѣло, то ломаная линія $aoknzlrsm$ совпала бы съ прямою am , и мы получили бы треугольникъ abt (Фиг. 40), площадь котораго представила бы намъ пространство, пройденное тѣломъ въ первую секунду ускореннаго движенія. Если мы проведемъ отвѣсную линію fl , къ срединѣ линіи ab , то на основаніи известнаго геометрическаго правила, что въ по-

добныхъ треугольникахъ стороны пропорціональны, не трудно доказать, что линія fl составляетъ половину отъ bm . Такъ какъ послѣдняя линія выражаетъ скорость по прошествіи секунды, то очевидно, что линія fl будетъ представлять скорость движенія въ половинѣ секунды.—Если провести чрезъ l линію параллельную къ ab , а изъ точки a возставить къ ней перпендикуляръ ag , то треугольникъ agl

покажетъ намъ наглядно, на сколько въ первую половину секунды скорости движенія были менѣе противу средней $f/$, и треугольникъ lmx точно также выразитъ на сколько скорости движенія во вторую секунду превосходили среднюю скорость $l/$. Оба эти треугольника при равенствѣ сторонъ и угловъ, на основаніи извѣстныхъ геометрическихъ правилъ, равны между собою. Равенство этихъ треугольниковъ показываетъ намъ, что скорости въ соотвѣтственные моменты первой половины секунды должны быть на столько менѣе противу средней скорости, на сколько скорости во вторую половину секунды превосходятъ ее. Прямоугольникъ $agbx$, представляющій пространство, пройденное этою среднею скоростью при равномерномъ движеніи въ одну секунду, равенъ треугольнику abt , выражающему пространство пройденное ускореннымъ движеніемъ въ тоже самое время. Слѣдовательно путь, проходимый въ секунду тѣломъ при ускоренномъ движеніи, будетъ имѣть одинаковое протяженіе съ путемъ, который описываетъ въ тоже время другое тѣло при равномерномъ движеніи со скоростью половинною противу конечной скорости перваго тѣла. — Эта половинная скорость, какъ показываетъ фигура, находится по срединѣ между конечною bt и начальною, когда тѣло находится въ a , по этому и называютъ ее *среднею*.

Число футовъ, соотвѣтствующее этой средней скорости и выразитъ намъ путь, пройденный въ секунду тѣломъ совершающимъ равноускоренное движеніе.

Слѣдовательно, чтобы опредѣлить путь, проходимый въ секунду равноускореннымъ движеніемъ, должно найти среднюю скорость, которая получится въ томъ случаѣ, если возьмемъ средину между начальною и конечною скоростями, т. е. сложимъ обѣ скорости и сумму раздѣлимъ на два.

Зная какимъ образомъ посредствомъ опредѣленія средней скорости находить путь, проходимый тѣломъ при ускоренномъ движеніи въ одну секунду, нетрудно получить точно также путь и для каждаго промежутка времени.

Чтобы вывести отношеніе между путями, проходимыми въ равныя и послѣдовательныя времена, возьмемъ предъидущій численный примѣръ т. е. что по окончаніи одной секунды тѣло пріобрѣтаетъ скорость въ 32 фута. — Для опредѣленія средней скорости должно ваять средину между начальною и конечною скоростями. Начальная скорость въ этомъ случаѣ очевидно будетъ равна нулю, потому что за начало движенія должно принять тотъ моментъ, когда тѣло изъ состоянія покоя переходитъ въ движеніе, слѣдовательно, когда оно не имѣетъ собственно никакой скорости. Значитъ средняя скорость, опредѣляющая величину самаго пространства, будетъ $\frac{0+32}{2}$ или 16 футовъ.

Часть I.

8

На основаніи закона, выведеннаго для скоростей (§ 35), мы уже знаемъ, что тѣло, приобретающее въ секунду при ускоренномъ движеніи скорость 32 фута, будетъ имѣть по окончаніи второй секунды скорость 2. 32 или 64 фута.

Если въ началѣ второй секунды скорость равнялась 32 ф. и потому при концѣ той же секунды возросла до 64 футовъ, то ясно, что средняя скорость въ этотъ промежутокъ времени будетъ $\frac{32+64}{2} = \frac{96}{2}$ или 48 футовъ, которые и выразятъ намъ величину пространства, пройденнаго во вторую секунду. — Точно также найдемъ, что средняя скорость или величина пространства, пройденнаго ускореннымъ движеніемъ въ третью секунду будетъ 80, для 4—112, для пятой 144 и т. д. Числа эти 16, 48, 80, 112, 144 очевидно выражатъ намъ пространства, проходимыя тѣлами при равноускоренномъ движеніи, въ отдѣльныя и слѣдующія другъ за другомъ частички времени. Такъ какъ числа эти представляютъ собою произведенія отъ умноженія первоначальной средней скорости (16) на 1, 3, 5, 7, 9 и т. д., то и выводимъ заключеніе, что *отдѣльныя пространства, проходимыя при равноускоренномъ движеніи въ слѣдующія другъ за другомъ единицы времени, относятся между собою какъ послѣдовательный рядъ нечетныхъ чиселъ 1, 3, 5, 7, 9 и т. д.*

Изъ закона, выведеннаго нами для пространствъ, проходимыхъ тѣлами по окончаніи каждой секунды въ *отдѣльности*, можно вывести другой законъ, посредствомъ котораго опредѣляется *разомъ все* пространство, проходимое тѣломъ по прошествіи произвольнаго числа секундъ или минутъ.

Мы знаемъ уже, что по окончаніи первой секунды тѣло проходить 1×16 фут., по окончаніи второй секунды оно проходить 3×16 ; слѣдовательно въ обѣ секунды вмѣстѣ оно пройдетъ 1×16 и 3×16 или $(1+3) 16$ или 4×16 . По окончаніи третьей секунды тѣло пройдетъ 5×16 , слѣдовательно въ три секунды вмѣстѣ 4×16 и 5×16 или $(4+5) 16 = 9 \times 16$. Разсуждая такимъ образомъ, мы найдемъ, что по окончаніи четвертой секунды оно пройдетъ 16×16 , по окончаніи пятой секунды — 25×16 и т. д. Такъ какъ 4 есть квадратъ 2, 9 — квадратъ 3, 16 — квадратъ 4, а 25 — квадратъ 5, то и заключаемъ, что *пространства, проходимыя тѣлами при равноускоренномъ движеніи въ извѣстныя времена, относятся между собою какъ квадраты времени.*

На этомъ основаніи для опредѣленія пространства, проходимаго (при ускоренномъ движеніи) въ извѣстное число секундъ, стоитъ только взять послѣднее въ квадратъ и полученное число помножить на среднюю скорость. Такъ напр. зная изъ опытовъ, что средняя скорость тѣла, падающаго отъ дѣйствія тяжести, равна 16 футамъ, мы можемъ по времени паденія камня въ колодезѣ опредѣлить глубину его. Если опущенный камень достигаетъ до воды по прошествіи 4-хъ секундъ, то это значитъ, что глубина колодца равна $4 \times 4 \times 16$ или 246 фут. Точно также, зная время, употребленное тѣломъ на про-

хождение известнаго пути, мы можемъ опредѣлить среднюю скорость въ первую секунду равноускореннаго движенія; такъ напр., если камень, опущенный съ башни, имѣющей 246 фут. высоты, достигаетъ до земли въ 4 секунды, то для полученія пространства, пройденнаго камнемъ въ первую секунду или 16 футовъ, стоитъ только 246 раздѣлить на 4×4 ($\frac{246}{4 \cdot 4} = 16$).

Для знакомыхъ съ математикою мы помѣщаемъ здѣсь болѣе строгій выводъ законовъ относительно пространствъ, проходимыхъ тѣломъ при равноускоренномъ движеніи.

Изъ § 35 мы уже знаемъ, что скорость v , приобретаемая тѣломъ при равноускоренномъ движеніи по прошествіи известнаго числа секундъ t , выражается формулой $v = gt$ (1), гдѣ g означаетъ величину ускоренія въ каждую единицу времени.

Чтобы найти пространство s , проходимое при этомъ тѣломъ во время t , стоитъ только представить себѣ, что равноускоренное движеніе разложено слѣдующимъ образомъ на рядъ равномерныхъ движеній.

Для этого положимъ, что время t раздѣлено на опредѣленное число n равныхъ частей, изъ которыхъ каждая $= \tau$. Слѣдовательно $t = n\tau$(2). Положимъ, что сила, двигающая тѣло, дѣйствуетъ не непрерывно, но толчками, такъ что въ началѣ каждой частицы времени сообщаетъ тѣлу ускореніе p .—Такъ какъ мы назвали чрезъ v скорость, приобретаемую тѣломъ двигающимся равно ускоренно въ теченіи t времени, то очевидно, что въ настоящемъ случаѣ величина ускоренія p будетъ равна всей скорости, раздѣленной на n или на число частицъ времени, $p = \frac{v}{n}$ (3).—При сдѣланномъ нами предположеніи простран-

ства, проходимыя тѣломъ въ отдѣльныя и слѣдующія другъ за другомъ частицы времени выразятся слѣдующими величинами: $p\tau$, $2p\tau$, $3p\tau$, . . . , $np\tau$.—Сумма всѣхъ этихъ пространствъ очевидно равна цѣлому пространству s проходимому тѣломъ во время t .—По этому $s = p\tau + 2p\tau + 3p\tau + 4p\tau + \dots + np\tau$. Вынося $p\tau$ за скобку, получимъ $s = p\tau (1 + 2 + 3 + 4 + \dots + n)$.—Но такъ какъ въ ариметической прогрессіи сумма членовъ ея равна произведенію изъ суммы перваго и послѣдняго членовъ, помноженной на половину числа членовъ, то въ настоящемъ случаѣ она будетъ равна $(n + 1) \frac{n}{2}$; слѣдовательно

$s = p\tau \cdot (n+1) \frac{n}{2} = \frac{n^2 p\tau}{2} + \frac{np\tau}{2} = \frac{np \cdot n\tau}{2} + \frac{pn \cdot \tau}{2}$, Изъ уравненій $p = \frac{v}{n}$ (3) и $t = n\tau$ (2) мы

имѣемъ $pn = v$ и $\tau = \frac{t}{n}$; подставляя вмѣсто pn и τ равныя имъ величины въ

послѣднее уравненіе $s = \frac{np \cdot n\tau}{2} + \frac{pn \cdot \tau}{2}$, получимъ $s = \frac{vt}{2} + \frac{vt}{2n}$.—Вынося $\frac{vt}{2}$ за

скобку, будемъ имѣть $s = \frac{vt}{2} \left(1 + \frac{1}{n} \right)$.

Очевидно, что дробь $\frac{1}{n}$ будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе n или чѣмъ скорѣе повторяются толчки, сообщаемые тѣлу ускоренной силой; слѣдовательно чѣмъ промежутки между толчками будутъ менѣе. Если предположимъ, что принятые нами условно промежутки сдѣлаются такъ малы, что толчки, такъ сказать, сливаются другъ съ другомъ, то очевидно, что послѣдовательный рядъ равномерныхъ движеній превратится въ общее равноускоренное движеніе и дробь $\frac{1}{n}$ будетъ равна нулю. Поэтому s сдѣлается равнымъ $\frac{vt}{2}$.—Мы знаемъ, что $v = gt$, под-

ставляя вмѣсто v въ уравненіе $s = \frac{vt}{2}$ равную ему величину получимъ $s = \frac{gt^2}{2} \dots (4)$

Уравненіе это показываетъ намъ величину пространства проходимого тѣломъ въ теченіи t времени. Если тоже самое тѣло подъ влияніемъ той же непрерывной силы будетъ двигаться въ продолженіи t' времени, то пространство v' , пройденное имъ, выразится уравненіемъ $s' = \frac{gt'^2}{2}$. Сравнивъ это уравненіе съ предшествовавшимъ, получимъ, что $s : s' = t^2 : t'^2$ т. е. что *пройденныя пространства будутъ относиться между собою какъ квадраты времени.*

Если бы на тѣло, получившее по прошествіи t времени конечную скорость $v = gt$ (1), вдругъ перестала дѣйствовать ускоряющая сила, то очевидно, что двигаясь равномерно, оно бы проходило въ каждую единицу времени пространство, соответствующее скорости $v = gt$; слѣдовательно по прошествіи t времени прошло бы равномернымъ движеніемъ путь $gt \cdot t$ или gt^2 . — Такъ какъ этотъ путь gt^2 вдвое болѣе пути $\frac{gt^2}{2}$, проходимого тѣломъ при равноускоренномъ движеніи, то очевидно, что *пространство пройденное тѣломъ при равноускоренномъ движеніи равно половинѣ пространства, пройденнаго тѣломъ въ тоже самое время равномернымъ движеніемъ съ конечною скоростью.*

Въ формулѣ $v = gt$ скорость выражена въ зависимости отъ времени t , но мы можемъ выразить ее въ зависимости отъ пройденныхъ пространствъ, исключая t изъ уравненій $v = gt$ и $s = \frac{1}{2}gt^2$. Возвышая первое въ квадратъ и выводя величину t^2 изъ втораго, получимъ $v^2 = g^2 t^2$ и $t^2 = \frac{2s}{g}$; подставляя вмѣсто t^2 равную

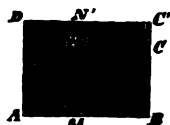
ему величину въ первое уравненіе получимъ $v^2 = g^2 \frac{2s}{g}$, и, сокращая на g , будемъ имѣть $v^2 = 2gs$ или $v = \sqrt{2gs}$. — Изъ послѣдней формулы слѣдуетъ, что, *если тѣло движется равноускоренно, то скорость, приобретенная имъ въ извѣстное время, будетъ пропорціональна корню квадратному изъ пройденнаго пространства.* Показанныя нами формулы $v = gt$ и $s = \frac{1}{2}gt^2$ могутъ быть примѣняемы къ каждому равноускоренному движенію съ тѣмъ условіемъ, чтобы величина g , выражающая пространство пройденное въ единицу времени, называлась для каждой силы согласно напряженію ея.

§ 37. Изъ сдѣланнаго нами разсмотрѣнія равноускореннаго движенія не трудно понять, что всякое ускореніе движенія основано на свойствѣ инерціи, т. е. на стремленіи къ продолженію сообщеннаго ему движенія. И поэтому, какъ мы видѣли, ускореніе движенія можетъ совершаться только по одному направленію съ дѣйствіемъ силы. Но тоже самое свойство инерціи, заставляющее тѣло продолжать однажды начатое движеніе, служитъ причиною почему замедленіе или совершенное уничтоженіе движенія можетъ быть произведено только непрерывной силой, дѣйствующей по направленію противоположному къ движенію тѣла. — Если сила, способная производить равноускоренное движеніе, дѣйствуетъ противу тѣла обладающаго уже извѣстною скоростью, то слѣдствіемъ дѣйствія ускоряющей силы будетъ въ этомъ случаѣ равномерное уменьшеніе скорости, слѣдовательно произойдетъ *равноускоренное движеніе*. Вмѣстѣ съ тѣмъ это показываетъ, что законы, выведенные для равноускореннаго движенія имѣютъ обратное примѣненіе при равноускоренномъ движеніи. — Какимъ родомъ совер-

Равно-
уско-
ренное
движе-
ніе.

дается это приращеніе мы будемъ говорить въслѣдствіи при раз-
смотрѣніи дѣйствія силы на тѣло движущееся по инерціи.

Равноускоренное движеніе можетъ быть выражено графически

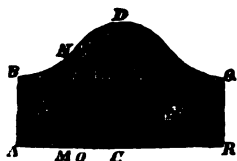


Фиг. 41. подобно равноускоренному движенію съ тою только
разницеею, что въ первомъ случаѣ величина по-
степенно уменьшающихся промежуточныхъ скоро-
стей (MN) опредѣляется исходящею линіею CD
(Фиг. 41).

§ 38. Разсматривая дѣйствіе непрерывныхъ силъ, мы предполагали, <sup>Неро-
что уко-
снвное
двиге-</sup> что силы эти ускоряютъ или замедляютъ движеніе тѣла равномерно т. е. что величина ускоренія или замедленія остается постоянною въ все время движенія. Но такъ какъ напряженіе силъ во время дѣйствія ихъ можетъ измѣняться отъ различныхъ причинъ, то очевидно, что и приростаніе скоростей, производимое ими, можетъ быть также неравно-
мерно т. е. что въ равныя времена увеличенія или уменьшенія скоростей могутъ быть не равны между собою. Не взирая на это, мы можемъ представить себѣ время движенія раздѣленнымъ на такіа малыя частицы, въ продолженіи которыхъ разница въ приростаніи скоростей будетъ до того незначительна, что мы можемъ принять для всѣхъ этихъ частицъ приростаніе за равномерное. Если въ продолженіи этой безконечно малой частицы времени мы можемъ принять движеніе за равномерно измѣняющееся, то для полученія приростанія скорости въ единицу времени намъ должно раздѣлить приростаніе скорости v для всего движенія на самое время движенія t .

Мы даемъ здѣсь только понятіе объ опредѣленіи измѣненія скорости, потому что строгое объясненіе этого предмета можетъ быть сдѣлано только при помощи высшей математики. Для болѣе яснаго представленія этого движенія мы считаемъ полезнымъ показать здѣсь графическій способъ изображенія его. Такъ какъ при неравномерномъ дѣйствіи силъ измѣненіе скоростей не можетъ уже быть

Фиг. 42.

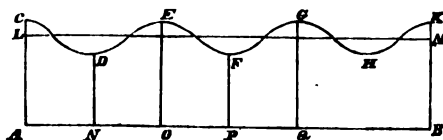


пропорціонально временамъ движенія (§ 34 и 35), то при графическомъ представленіи этого движенія линіи BD и DQ (Фиг. 42), выражающія увеличеніе или уменьшеніе скоростей, будутъ не прямыя, а кривыя. Но и въ этомъ случаѣ площадь фигуры (S) выразитъ намъ пространство, пройденное неравномерно измѣняющимся движеніемъ, потому что площадь $ABCD$ можетъ быть разложена линіями отвѣсными къ AR на безконечное множество четвероугольниковъ каковъ $MOPN$, изъ которыхъ площадь каждого равна произведенію изъ части (MO) основанія на соотвѣтственную ему высоту (MN или OP). Точно также и пространство, пройденное въ извѣстное время неравномерно измѣняющимся движеніемъ, можетъ быть раздѣлено на части, изъ которыхъ каждая есть произведеніе изъ извѣстной частицы времени на соотвѣтственную ей скорость.

Периодическое движение.

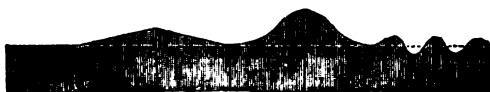
§ 39. Представимъ себѣ, что сила, производящая неравноускоренное движение, по прошествіи извѣстнаго времени начинаетъ одинаковымъ образомъ замедлять движение тѣла.—Если тѣло, совершающее оба эти движения въ равные промежутки времени, проходитъ равные пути съ измѣняющимися скоростями, то говорятъ, что тѣло совершаетъ движение *периодическое*.—Графическимъ выраженіемъ этого движения можетъ служить намъ волнообразная кривая линия *CDEFGHK* (фиг. 43).

Фиг. 43.



Если вдоль этой линіи провести линію *LM*, параллельную къ *AB*, то не трудно замѣтить, что разстояніе ($AL=BM$) между параллельными линіями должно выражать среднюю скорость периодическаго движения.—Линіи же *AC*, *OE*, *BK* и др. наибольшія, а *DN*, *PF* и др. наименьшія скорости для равныхъ промежутковъ времени *AO*, *OQ*, *QB*, называемыхъ периодами.

Фиг. 44.



равном. равно равно неравно неравно периодич.
ускор. ускор. ускор. ускор.

Въ заключеніе статьи объ различномъ дѣйствіи силъ считаемъ полезнымъ представить общее графическое изображеніе различныхъ родовъ движения (фиг. 44)

Движеніе массъ при непрерывномъ дѣйствіи силъ.

§ 40. При выводѣ разсмотрѣнныхъ нами законовъ движения мы не принимали во вниманіе массу тѣла, а постоянно предполагали, что сила дѣйствуетъ на тѣло какъ на матеріальную точку.

Примѣнимъ теперь выведенные нами законы къ тому случаю, когда силы дѣйствуютъ на совокупность матеріальныхъ точекъ т. е. примемъ во вниманіе массу тѣла. Такого рода случаи постоянно встрѣчаются въ природѣ, ибо всѣ тѣла сей послѣдней состоятъ изъ извѣстной массы.

Для этого разсмотримъ задачи прямолинейнаго движения, при которыхъ даны величина силъ, производящихъ движение, и величина массъ, приводимыхъ въ движение. — Чтобы облегчить изслѣдованіе этихъ задачъ, мы начнемъ съ самыхъ простыхъ и отъ нихъ уже перейдемъ къ разсмотрѣнію случаевъ болѣе сложныхъ и общихъ.

Изъ законовъ равноускореннаго движения (§§ 35 и 36) мы знаемъ, что скорость v , приобрѣтенная тѣломъ по прошествіи t секундъ, будетъ gt футовъ, а пространство, пройденное имъ въ это время, будетъ $\frac{1}{2}gt^2$.

Если масса въ одинъ фунтъ, подверженная непрерывному и равномѣрному давленію одного фунта во время притяженія своего къ землѣ приобрѣтаетъ ускореніе g футовъ въ секунду, то очевидно, что и всякая другая сила, дѣйствующая совершенно подобнымъ образомъ, сообщитъ одному и тому же тѣлу ту же самую скорость въ секунду. Если бы это тѣло лежало на совершенно гладкой, горизонтальной поверхности, которая не позволяла бы тяжести приводить тѣло въ движение, то ясно, что при непрерывномъ дѣйствіи на тѣло силы равной давленію одного фунта оно будетъ двигаться по направленію

силы, имѣя въ секунду тоже самое ускореніе g футовъ, если только при движеніи тѣло не будетъ встрѣчать сопротивленія отъ тренія, и другихъ препятствій.

Сила въ два раза большаго напряженія т. е. при непрерывномъ давленіи, соотвѣтствующемъ 2 фунтамъ, дѣйствуя по горизонтальному направленію на тѣло въ 1 фунтъ, доставитъ ему два раза большее ускореніе т. е. ускореніе $2g$, а при давленіи соотвѣтствующемъ 100 фунтамъ дастъ ускореніе $100g$ футовъ.

Мы рассматривали величину ускоренія при увеличеніи силъ, дѣйствующихъ на равныя массы. Покажемъ теперь отношеніе ускореній для силъ, дѣйствующихъ на различныя массы.

Такъ какъ величины массъ тѣлъ пропорціональны вѣсамъ ихъ, то допустивъ что сравненіе силъ происходитъ на одномъ какомъ нибудь мѣстѣ земли, мы можемъ выражать массу всякаго тѣла его вѣсомъ.

Положимъ, что сила, напряженіе которой соотвѣтствуетъ давленію 100 футовъ, дѣйствуетъ на тѣло въ два фунта.—Если давленіе силы въ 100 футовъ распространяется между массою тѣла въ два фунта, то каждый фунтъ послѣдняго будетъ двигаться отъ давленія соотвѣтствующаго $\frac{100}{2}$ или 50 фунтамъ и поэтому приобрѣтетъ въ 50 разъ большее ускореніе противу того ускоренія, которое можетъ быть доставлено одному фунту давленіемъ въ 1 фунтъ. Слѣдовательно величина ускоренія тѣла въ два фунта при дѣйствіи на него силы во 100 футовъ будетъ равна $\frac{100}{2}g$ фут.

Точно также, если дѣйствіе той же силы распространится въ теченіи того же времени равномерно между массою тѣла въ четыре фунта, то каждый фунтъ этого тѣла будетъ уже двигаться отъ давленія, соотвѣтствующаго $\frac{100}{4}$ или 25 фунтовъ. Понятно, что величина ускоренія въ настоящемъ случаѣ будетъ $\frac{100}{4}g$ футовъ.

Такъ какъ послѣднее ускореніе $\frac{100}{4}g$ фут. при удвоеніи массы уменьшилось въ два раза противъ предыдущаго $\frac{100}{2}g$ фут., то мы имѣемъ право заключить, что ускоренія, а слѣдовательно и скорости, приобрѣтаемыя тѣлами въ равное время при одновременномъ дѣйствіи на нихъ равныхъ силъ должны уменьшаться или увеличиваться, согласно увеличенію или уменьшенію массъ или, выражаясь математическимъ языкомъ, должны находиться въ обратномъ отношеніи къ массамъ. Такъ напр., если при дѣйствіи одной и той же силы скорость массы въ 1 фунтъ равна 20 футамъ въ секунду, то масса въ два фунта получитъ только скорость 10 фут., а масса въ 4 фунта отъ дѣйствія той же самой силы въ продолженіи того же времени получитъ только скорость 20 раздѣленную на 4 или 5 футовъ въ секунду и т. д.

Если помножить массы тѣлъ на скорости, доставляемыя имъ одновременно дѣйствіемъ одной и той же силы, то найдемъ, что всѣ произведенія будутъ равны между собою. И въ самомъ дѣлѣ взявши эти произведенія для предыдущаго примѣра получимъ $1 \times 20 = 20$; $2 \times 10 = 20$; $4 \times 5 = 20$.

Количество
движе-
нія.

Произведенія эти изъ массъ на соответствующія имъ скорости называются *величинами* или *количествами движенія*, которые всегда бываютъ одинаковы для различныхъ массъ, въ томъ случаѣ, когда на нихъ дѣйствуютъ одновременно равныя силы.

Но какъ сопротивление, обнаруживаемое массою тѣла, мы можемъ представить себѣ въ видѣ силы, противящейся напряженію силы дѣйствующей силы и такъ какъ объ эти на основаніи выведеннаго нами выше пропорціональны между собою, то мы имѣемъ право сдѣлать заключеніе, что при дѣйствіи всякой силы происходитъ равное и противоположное сопротивление. Этотъ общій законъ для дѣйствія силъ обыкновенно выражается слѣдующими словами: *дѣйствіе равно противодѣйствію*.

Справедливость этого закона можно повѣрить слѣдующимъ простымъ опытомъ.—Если сдѣлать два шара изъ мягкой глины и ударить однимъ шаромъ объ другой, находящійся въ покоѣ, то въ мѣстахъ прикосновенія ихъ произойдетъ одинаковое сплюсненіе обоихъ шаровъ. Явленіе это очевидно происходитъ отъ того, что шаръ, находившійся въ покоѣ, передаетъ въ противоположную сторону полученный имъ толчекъ.

Законъ этотъ подтверждается многими другими опытами и явленіями, и мы будемъ имѣть случаи въ послѣдствіи видѣть его примѣненіе.

Количество
работы
дѣла-
емой.

§ 41. При техническихъ произведеніяхъ для выполненія разнаго рода работъ, имѣющихъ цѣлю полезное преобразование произведеній природы, употребляются различныя силы. Но не взирая на видимое разнообразіе работъ, всѣ онѣ заключаются собственно въ преодоленіи давленія и различныхъ сопротивленій на протяженіи извѣстнаго пути. Такъ напр. работникъ, переносящій грузъ во второй этажъ амбара, претерпѣваетъ давленіе вѣса груза на всемъ продолженіи пути равнаго высотѣ, на которую требуется поднять тяжесть; другой работникъ, передвигающій грузъ по горизонтальной дорогѣ въ тележкѣ, побѣждаетъ сопротивленіе, представляемое на пути движенія треніемъ, которое мы можемъ представить себѣ въ видѣ силы, дѣйствующей на ободья колесъ и на ступицы.

При распиливаніи работникъ кладетъ на бревно пилу, отъ тяжести которой зубцы врѣзаются нѣсколько въ дерево; сила сцѣпленія между частицами послѣдняго представляетъ сопротивленіе передвиженію зубцовъ и это сопротивленіе долженъ преодолевать работникъ на протяженіи, величина котораго зависитъ отъ величины пути, проходимого зубцами пилы.

Величина работы производимой во всѣхъ этихъ случаяхъ очевидно должна зависеть какъ отъ величины самаго сопротивленія, такъ и

отъ величины пути, на протяженіи котораго распредѣляется равномерно это сопротивленіе.

Понятно, что при равныхъ путяхъ производимая работа будетъ пропорціональна побѣждаемому сопротивленію т. е. что въ два или въ три раза большее сопротивленіе будетъ соотвѣтствовать въ два или въ три раза большому производству работы. Такъ напр. если по одной лѣстницѣ поднимаются рядомъ два человѣка, изъ которыхъ одинъ приносить каждый разъ въ верхнюю часть строенія восемь кирпичей, а другой одинъ только кирпичъ, то очевидно, что работа перваго человѣка будетъ въ восемь разъ болѣе противу работы втораго человѣка. Точно также при предположеніи равныхъ силъ, слѣдовательно равныхъ сопротивленій работа будетъ пропорціональна пути, на протяженіи котораго должно распредѣляться это равномерное сопротивленіе. Такъ напр. если два человѣка на одной и той же землѣ вырыли двѣ одинаковой глубины канавы, изъ которыхъ одна вдвое длиннѣе противу другой, то очевидно, что человѣкъ вырывшій длиннѣйшую канаву произвелъ въ два раза большую работу противу другаго.

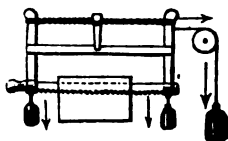
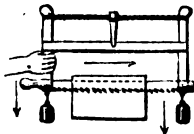
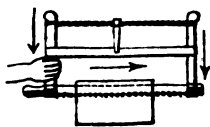
Положимъ, что два человѣка перетаскиваютъ мѣшки съ мукою въ амбаръ, лежащій 10 футами выше поверхности земли. — Если одинъ изъ нихъ переносить за разъ три мѣшка и поднимется съ ними два раза въ амбаръ, то цѣлая работа его будетъ въ шесть разъ болѣе противу того, если бы онъ поднялся въ амбаръ всего одинъ разъ съ однимъ мѣшкомъ. Если другой человѣкъ, несущій за разъ только два мѣшка, поднимается въ амбаръ три раза, то и его работа будетъ въ шесть разъ болѣе противу того, когда бы онъ поднялся только разъ съ однимъ мѣшкомъ. Въ настоящемъ случаѣ мы сравнили и измѣрили работы двухъ людей, помноживъ грузъ или сопротивленіе, которое они должны были выносить, на число пройденныхъ путей и нашли, что работа обоихъ ихъ въ шесть разъ болѣе противу работы, заключающейся въ поднятіи единицы груза на единицу пути, слѣдовательно всякая работа можетъ быть измѣрена произведеніемъ изъ величины сопротивленія на величину пути, на которомъ равномерно побѣждалось это сопротивленіе.

Но какъ бы ни была разнообразна работа всегда можно подвести ее подъ самый простой случай, заключающійся въ поднятіи извѣстной тяжести на опредѣленную высоту. Такъ напр. для распиливанія полѣна водятъ пилою вдоль него съ тою цѣлю, чтобы заставить зубцы пилы врѣзываться въ дерево (фиг. 45). При этомъ одна часть дѣйст-

Фиг. 45.

Фиг. 46.

Фиг. 47.

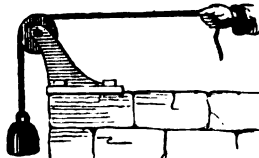


вующей силы производить вертикальное давленіе на зубцы, между тѣмъ какъ другая часть передвигаетъ ихъ по горизонтальному направленію. Понятно, что работа эта нисколько не измѣнится, если пила будетъ нагружена гирями, которыя замѣнятъ вертикальное давленіе, и если при этомъ человѣкъ употребитъ усиліе только на одно горизонтальное передвиженіе пилы (46 фиг.).

Послѣдняя работа равносильна поднятію тяжести, потому что сила человѣка въ этомъ случаѣ можетъ быть замѣнена дѣйствіемъ тяжести на гирю, привязанную къ концу пилы (фиг. 47).

Положимъ, что человѣкъ, вытягивая горизонтально веревку (фиг. 48)

Фиг. 48.



удерживаетъ въ равновѣсіи массу въ одинъ пудъ.

—Если онъ подвинется по горизонтальному направленію на 10 футовъ, то очевидно, что и поддерживаемая имъ масса поднимается кверху также на 10 футовъ.—Понятно, что это отношеніе между силой и сопротивленіемъ не измѣнится и въ томъ случаѣ, когда масса будетъ двигаться не по вертикальному, а по горизонтальному направленію, какъ напримѣръ при движеніи экипажей.

Если при этомъ сравненіи работъ съ поднятіемъ тяжести принять за единицу работы такую работу, которая предполагаетъ побѣжденіе равнѣрнаго сопротивленія заключающагося въ давленіи известной единицы вѣса на протяженіи одного фута, то очевидно, что работа, производимая давленіемъ P единицъ вѣса (слѣдовательно сила P) на протяженіи s футовъ, выразится произведеніемъ $P \cdot s$.

Это произведеніе $P \cdot s$ по предложенію Каріолиса условились называть *работою силы*; нѣкоторые называютъ его также *количествомъ дѣйствія*. — Иные же ученые различаютъ при этомъ два рода силъ, такъ напр. если направленіе дѣйствія силы P совпадаетъ съ направленіемъ движенія точки ея приложенія, то называютъ ее собственно *движущею* силою въ противоположность *противодѣйствующей* силѣ, когда направленіе ея обратно направленію движенія точки приложенія. Примѣромъ послѣдняго рода работы можетъ служить сопротивленіе, представляемое землянымъ валомъ углубляющемуся въ него ядру. —

За единицу работы принимаютъ у насъ въ Россіи силу, необходимую для поднятія *одного пуда на одинъ футъ* и называютъ эту единицу *пудо-футомъ*. Примѣняя эту единицу къ примѣру представленному на фиг. 46 понятно, что сила, передвигающая пудъ на 10 футовъ, равна 10 пудофутамъ. При чемъ не принимается въ расчетъ время, въ продолженіи котораго производится работа.— Но въ промышленномъ отношеніи иногда бываетъ весьма важно опредѣленіе силы производящей работу въ продолженіи *известнаго времени*. За единицу времени обыкновенно принимаютъ секунду и по этому единицей работы въ этомъ случаѣ будетъ давленіе производимое пудомъ въ теченіе секунды на протяженіи одного фута.

Въ механикѣ силу различныхъ двигателей сравниваютъ обыкновенно съ *силою лошади*. Причиной этого было слѣдующее обстоятель-

ство: въ Англіи въ прежнее время на различныхъ заводахъ и фабрикахъ употребляли только силы лошадей для приведенія въ движеніе различныхъ машинъ.—Впослѣдствіи, съ развитіемъ паровыхъ машинъ, упругость паровъ замѣнила силу лошадей, и задача заключалась уже въ томъ, чтобы построить машину, которая бы могла замѣнять работу извѣстнаго числа лошадей.—Такъ какъ едва ли возможно найти двѣ лошади съ совершенно равными силами, то по этому условились за силу лошади принять силу равную 15 пудофутамъ въ секунду, и эту нормальную силу обыкновенно называютъ силой *паровой лошади*.—Поэтому если говорить, что какая нибудь машина имѣетъ 120 силъ, то это значить, что сила машины равна 120×15 или 1800 пудофутамъ.—Мы показали здѣсь выраженіе силы паровой лошади, употребляемое у насъ въ Россіи. Во Франціи за силу паровой лошади принимается 75 килограмметровъ въ секунду, т. е. силу достаточную для поднятія 75 килограммовъ на 1 метръ въ продолженіи одной секунды. Въ Пруссіи же сила паровой лошади считается равною 510 футо-фунтамъ.—Въ Англіи единицею принимаютъ 542 футо-фунтовъ.

Показанною нами единицею можетъ быть выражена всякая работа силъ, употребляемыхъ, какъ въ общежитіи, такъ и въ промышленности.

§ 42. Чтобы сдѣланные нами выводы представить *общимъ* выраженіемъ положимъ, что совершенно одинаковаго напряженія непрерывное давленіе или, говоря другими словами, двигающая сила равна P фунтамъ и что p выражаетъ число фунтовъ двигающагося тѣла. Ясно, что при этомъ условіи на каждый фунтъ послѣдняго будетъ дѣйствовать давленіе $\frac{P}{p}$, а слѣдовательно и произведенное имъ ускореніе будетъ равно $\frac{P}{p} \cdot g$. Ускореніе это $\frac{P}{p} \cdot g$ очевидно будетъ выражать скорость приобрѣтенную тѣломъ по прошествіи первой секунды (единицы времени). Слѣдовательно по прошествіи t секундъ скорость v , приобрѣтенная тѣломъ, будетъ равна $\frac{P}{p} \cdot g \cdot t$, а путь пройденный имъ въ это время $s = \frac{1}{2} \cdot \frac{P}{p} \cdot g \cdot t^2$.—

Общие
выводы
изъ у-
равне-
ній рав-
ноуско-
ренного
движе-
нія.

Изъ двухъ послѣднихъ уравненій выводятся весьма важныя слѣдствія.

1) Первое слѣдствіе выводится изъ уравненія $v = \frac{P}{p} g t$. Помноживъ обѣ части уравненія на p и раздѣливъ на g , получимъ $v \cdot \frac{p}{g} = P t$, гдѣ p есть число фунтовъ движимаго тѣла, g величина ускоренія тяжести. Дробь $\frac{p}{g}$, какъ мы уже знаемъ изъ § 17, выражаетъ массу тѣла m , вѣсящаго p фунтовъ. Замѣнивъ дробь $\frac{p}{g}$ буквою m , означающей массу, получимъ $m \cdot v = P \cdot t$, т. е. произведеніе изъ движущейся массы на скорость приобрѣтенную этою массою, равно произведенію изъ силы, дѣйствующей равномерно давленіемъ на время, въ продолженіе котораго она дѣйствовала. Это произведеніе изъ массы тѣла на его скорость, какъ мы уже сказали, называется *величиною или количествомъ движенія*. Количество движенія, какъ показываетъ уравненіе $m \cdot v = P \cdot t$, равно соб-

ственно не двигающей силѣ, но произведенію изъ двигающей силы на продолжительность ея дѣйствія.

Въ новѣйшее время нѣкоторые изъ французскихъ ученыхъ предлагали послѣднее произведение называть *усиліемъ* силы въ извѣстное время.

Положимъ, что двѣ силы P и P' , дѣйствуя въ продолженіи одного и того же времени t , сообщаютъ двумъ различнымъ массамъ m и m' двѣ разныя скорости v и v' . Для дѣйствія обѣихъ силъ мы получимъ слѣдующія уравненія $m \cdot v = P \cdot t$ и $m' \cdot v' = P' \cdot t$. — Сравнивая между собою эти два уравненія, получимъ слѣдующую пропорцію $mv : m'v' = Pt : P't$ или какъ $P : P'$. Это значитъ, что количества движенія двухъ двигающихся тѣлъ относятся между собою какъ двигающія силы: но не должно забывать, что это справедливо только при томъ предположеніи, когда обѣ силы дѣйствуютъ одинаковое время.

Допустимъ теперь, что при одновременномъ дѣйствіи двухъ силъ P и P' на двѣ различныя массы m и m' скорости, сообщаемыя послѣднимъ, равны между собою. Если ввести въ уравненіе $mv : m'v' = P : P'$ послѣднее условіе, что $v = v'$, то получимъ $m : m' = P : P'$. — Это значитъ, что для доставленія *равныхъ скоростей* силами, дѣйствующими *одновременно* на двѣ различныя массы, силы должны быть пропорциональны массамъ т. е. чѣмъ болѣе масса тѣла тѣмъ болшую силу должно употребить для приведенія ея въ движеніе.

Такъ какъ оба послѣдніе вывода, что силы пропорциональны произведеніямъ изъ массъ на скорости или самымъ массамъ тѣлъ, получены нами при томъ предположеніи, что продолжительность силъ дѣйствія одинакова или что скорости прибрѣтенныя массами равны, то очевидно, что нельзя ни этими произведеніями, ни величиною самыхъ массъ опредѣлять *безусловно* величину двигающихъ силъ.

По этому если спрашиваютъ, какую должно употребить силу для того, чтобы 25-ти фунтовому ядру сообщить скорость 2000 футовъ, то вопросъ будетъ до тѣхъ поръ неопредѣленнымъ пока къ заданнымъ условіямъ не будетъ прибавлено по прошествіи какого времени должна быть прибрѣтена ядромъ эта скорость. — При данномъ же условіи можно только сказать, что произведеніе $P \cdot t$ равно произведенію изъ массы ядра на его скорость. Если ядро вѣситъ 25 фунтовъ, то масса его m равна $\frac{25}{g}$ (§ 17), слѣдовательно $Pt = \frac{25}{g} 2000$ (*). Такъ какъ вели-

чина g согласно опытамъ равна 32 футамъ, то $P \cdot t = \frac{25}{32} \cdot 2000 = 1592$. Если двигающая сила дѣйствовала только въ теченіи секунды т. е. когда $t=1$, то величина давленія $P=1592$; когда $t=\frac{1}{10}$ части секунды, то $P=15920$, если $t=\frac{1}{100}$ части секунды, то $P=159200$ фунтамъ.

Мы считаемъ необходимымъ прибавить здѣсь слѣдующее обстоятельство. Прежде когда допускали существованіе такъ называемыхъ мгновенныхъ силъ, то мѣрою величины этихъ силъ принимали произведеніе изъ массы на скорость. На этомъ основаніи обыкновенно говорили, что для сообщенія двумъ равнымъ массамъ двухъ различныхъ скоростей, изъ которыхъ одна должна быть въ 1000 разъ болѣе другой, стоитъ только приложить къ одной массѣ въ 1000 разъ болшую силу противу силы, приложенной къ другой массѣ. — Понятно, что это можетъ быть справедливо только въ томъ случаѣ, когда продолжительность дѣйствія обѣихъ силъ одинакова. — Если же продолжительность дѣйствія одной изъ этихъ силъ равна $\frac{1}{10}$ ч. секунды, а другой, производящей меньшую скорость только $\frac{1}{1000}$ части секунды, слѣдовательно въ послѣднемъ случаѣ во сто разъ меньше нежели въ первомъ, то величина давленія, произведшаго въ 1000 разъ болшую скорость очевидно будетъ только въ десять разъ болѣе величины давленія, дѣйствовавшаго на другую массу, потому что продолжительность дѣйствія въ первомъ случаѣ была во сто разъ болѣе нежели во второмъ.

(*) Для большей простоты мы выпускаемъ здѣсь дробь $\frac{1}{32}$.

2) Второе слѣдствіе изъ уравненій, полученныхъ для равноускореннаго движенія $v = \frac{P}{p}gt$ и $s = \frac{1}{2}\frac{P}{p}gt^2$ выводится изъ сравненія ихъ.

Такъ какъ первое изъ этихъ уравненій $v = \frac{P}{p}gt$ заключаетъ величины v и t , а второе $s = \frac{1}{2}\frac{P}{p}gt^2$ величины s и t , то можно получить третье уравненіе, въ которомъ не будетъ вовсе t и которое слѣдовательно будетъ только въ зависимости отъ величинъ s и v . Для этого должно получить изъ перваго уравненія отдѣльно величину t и эту самую величину вставить во второе уравненіе. Помноживъ первое уравненіе на p и раздѣливъ его на $P \cdot g$ получимъ $\frac{v \cdot p}{P \cdot g} = t$.

При возвышеніи этого уравненія въ квадратъ будемъ имѣть $t^2 = \frac{v^2 p^2}{P^2 g^2}$. Вставляя эту величину для t^2 въ уравненіе, полученное для пути s , будемъ имѣть $s = \frac{1}{2}\frac{P}{p}g \cdot \frac{v^2 p^2}{P^2 g^2} = \frac{1}{2}\frac{v^2 p}{Pg}$; откуда $s \cdot P = \frac{1}{2}\frac{P}{g}v^2$. Такъ какъ дробь $\frac{P}{g}$ выражаетъ массу m тѣла (§ 17), имѣющаго p фунтовъ, то получимъ окончательно $\frac{1}{2}mv^2 = P \cdot s$.

Уравненіе это, выраженное словами, говоритъ, что *половина произведенія изъ массы тѣла на квадратъ скорости, приобретенной имъ, равна произведенію изъ действующей силы на путь, пройденный тѣломъ подъ вліяніемъ этой силы.*

Если другая сила P' , дѣйствуя непрерывнымъ и равномернымъ давленіемъ на массу m' , сообщаетъ ей по прошествіи пути s конечную скорость v' , то на основаніи полученнаго нами вывода будемъ имѣть $\frac{1}{2}m'v'^2 = P' \cdot s$.

Сравнивая это уравненіе съ предыдущимъ, получимъ $m v^2 : m' v'^2 = P : P'$ т. е. *действующія силы относятся между собою какъ произведенія изъ приведенныхъ имъ въ движеніе массъ на квадраты сообщенныхъ скоростей.*

При этомъ мы нарочно предположили, что скорости v и v' опредѣлены при совершеніи тѣлами равныхъ путей. — Даже при этомъ предположеніи движущія силы не равны этимъ произведеніямъ, но только пропорціональны имъ. — Здѣсь должно замѣтить, что нѣтъ никакого противорѣчія между прежде выведенною нами пропорціею $P : P' = m v^2 : m' v'^2$ и пропорціею $P : P' = m v : m' v'$, въ первомъ случаѣ v и v' означаютъ скорости приобретенныя въ равныя времена, между тѣмъ какъ во второмъ они означаютъ скорости приобретенныя по совершеніи равныхъ путей.

Для большаго разъясненія смысла уравненія $\frac{1}{2}mv^2 = P \cdot s$ возьмемъ прежній примѣръ. Положимъ, что 25-ти фунтовое ядро приобрѣло скорость 2000 футъ послѣ равномернаго дѣйствія силы P на протяженіи пути s . — Масса m этого ядра будетъ равна $\frac{25}{32}$; слѣдовательно $P \cdot s = \frac{1}{2}\frac{25}{32} \cdot 2000^2$. — Ясно, что величина P можетъ быть только тогда опредѣлена когда извѣстно s . — Если $s = 1000$ ф., 100 футъ, 10 футъ, то P будетъ равно 1592, 15920, 159200 фунтамъ.

Если 25-ти фунтовое ядро должно оставить жерло орудія по приобрѣтеніи скорости 2000 футъ, то равномерное давленіе пороха при длинѣ канала орудія въ 10 футовъ должно простираться до 159200 фунтовъ.

Произведеніе mv^2 принято называть въ механикѣ *живою силою* массы m , обладающей скоростью v . Названіе это введено въ науку еще въ 1695 году по предложенію знаменитаго философа Лейбница, который на живую силу смотрѣлъ какъ на истинную мѣру силы тѣла, находящагося въ движеніи. — Живую силу онъ противопоставлялъ *мертвой силѣ*, подъ которой разумѣлъ давленіе оказываемое на точки прикосновенія тѣлъ находящихся въ равновѣсіи.

Подобное раздѣленіе было сдѣлано Галилеемъ, который первый положилъ различіе между давленіемъ покоящагося тѣла на опору и силою тѣла, находящагося въ движеніи. При дальнѣйшихъ своихъ изслѣдованіяхъ Галилей пришелъ къ заключенію, что *моментъ* силы, подъ которымъ онъ разумѣлъ ве-

личину ея, зависить какъ отъ массы, такъ и отъ скорости двигающагося тѣла и что сверхъ того онъ долженъ быть пропорціоналенъ произведенію ихъ.— По мнѣнію его произведение $m \cdot v$ т. е. произведение массы на скорость составляетъ мѣру силы двигающагося тѣла. — Мнѣніе это, принятое французскимъ философомъ Декартомъ, имѣло безусловный авторитетъ въ наукѣ до появленія предложенія Лейбница принимать за мѣру двигающихъ силъ не произведение изъ массы на скорость но произведение изъ массы на квадратъ скорости.—Возникшіе по этому поводу споры между учеными прекратились въ 1743 году съ появленіемъ извѣстнаго курса динамики французскаго ученаго Даламберта, который показалъ, что споръ состоитъ собственно въ словахъ и что причина его заключается въ недоразумѣніи, происшедшемъ отъ неточности однихъ только выраженій. И въ самомъ дѣлѣ силы, производящія движеніе, пропорціональны произведеніямъ изъ массы на скорости, когда подъ послѣдними разумѣютъ скорости происшедшія отъ равно продолжительнаго дѣйствія силъ на тѣла. Точно также двигающія силы пропорціональны произведеніямъ изъ массы на квадраты скоростей, когда принимаются въ расчетъ тѣ скорости, которыя приобрѣли тѣла по совершеннѣи одинаковыхъ путей.

Какъ не очевидна была правильность этого вывода, но онъ не разрѣшалъ еще вопроса о томъ, слѣдуетъ ли полагать различіе между такъ называемыми мертвыми и живыми силами. — Вслѣдствіе этого недоумѣнія укоренилось въ механикѣ различіе между статическою и динамическою силою и это различіе попадалось даже въ механикахъ, появлявшихся въ началѣ настоящаго столѣтія, пока наконецъ новая школа французскихъ геометровъ, начало которой положили Понселе и Коріолисъ неразрѣшила совершенно сомнѣнія возникшаго по этому предмету.

По ученію этой школы, мнѣнія которой мы придерживались въ предшествующемъ изложеніи *подъ силою должно разумѣть единственно необходимую и достаточную причину для произведенія измѣненія скорости матеріальной точки какъ относительно величинъ такъ и направленія*. На этомъ основаніи сила можетъ быть уподоблена нѣкоторымъ образомъ давленію или стремленію, единицею котораго, какъ мы уже говорили, служить условно принятое давленіе однофунтовой массы на сопротивленіе, препятствующее массѣ покоряться дѣйствію тяжести. — Если на какую нибудь массу дѣйствуютъ по противоположнымъ направленіямъ двѣ равныя силы, то очевидно, что масса эта вслѣдствіе такого дѣйствія силъ не произведетъ движенія и самыя силы будутъ находиться въ равновѣсіи. Тѣмъ не менѣе давленіе или стремленіе, производимое этими силами на массу будетъ продолжаться постоянно и ясно, что это давленіе точно также обладаетъ живою силою какъ и всякое другое давленіе, производящее движеніе въ томъ случаѣ, когда на него не дѣйствуетъ противоположное давленіе.—Если же происходитъ движеніе или измѣненіе движенія, какъ это бываетъ въ дѣйствительности, когда сила не уравновѣшивается другою силою, то скорость произведеннаго движенія зависить не отъ одной только величины силы и массы, подверженной непрерывному и равномерному давленію, но также и отъ продолжительности дѣйствія этого давленія.

Когда по прошествіи извѣстнаго времени прекращается дѣйствіе силы, то тѣло сохраняетъ неизмѣнно состояніе, въ которомъ оно находилось въ послѣдній моментъ дѣйствія силы,—слѣдовательно оно стремится сохранить приобретенную скорость или, говоря другими словами, начинаетъ двигаться съ равномерною скоростію. На основаніи приведеннаго нами понятія о силѣ очевидно нельзя опредѣлить, какая именно была сила, доставившая тѣлу равномерное движеніе. Мы можемъ только сказать, какую силу необходимо употребить для того, чтобы въ данное время своего дѣйствія она, могла сообщить тѣлу скорость, дѣйствительно обнаруживаемую имъ или можемъ сдѣлать вопросъ, какой величины должно употребить силу, чтобы дѣйствуя въ теченіи даннаго времени по противоположному направленію на тѣло, она могла привести его въ состояніе покоя или сообщить извѣстную скорость по направленію про-

тивному первоначальному движению. Сила есть только причина, измѣняющая состояніе покоя или движенія и не должно полагать, чтобы она служила причиною сохраненія уже совершающагося движенія. — Прежде, когда принимали существованіе мгновенно дѣйствующихъ силъ, были того мнѣнія, что въ тѣлѣ сохраняющемся равноѣрное движеніе, заключается постоянно одинаковая сила, мѣрою которой принимали произведеніе изъ массы на скорость; произведеніе это есть величина, названная нами выше количествомъ движенія, которое, какъ мы видѣли, равно произведенію изъ постоянного и равноѣрнаго давленія P произведшаго движеніе во время t , въ продолженіи котораго дѣйствовало это давленіе или $m \cdot v = P \cdot t$. — Поэтому $m \cdot v$, какъ мы уже объясняли прежде, равно собственно не двигающей силѣ, но произведенію изъ силы на время дѣйствія или равно дѣйствию силы въ продолженіи времени t . — Понятно, что бываютъ случаи, когда величина t можетъ быть весьма мала, но не можетъ быть такого случая, чтобы t совершенно равнялось нулю, слѣдовательно не можетъ быть также и мгновенно дѣйствующихъ силъ. Еще менѣе можно допустить, какъ полагаютъ нѣкоторые, существованіе силы инерціи, потому что подъ инерціей должно разумѣть свойство матеріи, которое не въ состояніи производить ни движенія, ни измѣнить уже совершающагося движенія. Инерція служитъ только причиною къ сохраненію движенія въ томъ видѣ, какъ оно было дообщено дѣйствующею силою въ послѣдній моментъ ея дѣйствія на тѣло, а не развивается сама силы въ двигающемъ тѣлѣ; напротивъ того къ двигающемуся тѣлу должна быть приложена сила для произведенія измѣненія въ его скорости, слѣдовательно и для того, чтобы скорость его привести къ нулю.

Какъ на основаніи составленнаго нами понятія о силѣ мы показали, что количество движенія; не можетъ служить мѣрою той силы, которая могла бы произвести существующее движеніе или могла бы привести къ нулю скорость, совершающагося движенія, точно также можно доказать, что величина, названная Лейбницемъ живою силою, именно произведеніе $m v^2$, не есть мѣра ни для силы, могущей сообщить массѣ m скорость v , ни для силы, которая въ состояніи привести къ нулю скорость v . — Чтобы убѣдиться въ этомъ стоитъ только припомнить себѣ выведенное нами уравненіе, $\frac{1}{2} m v^2 = P s$, гдѣ половинна живой силы или $\frac{1}{2} m v^2$ равна произведенію изъ равноѣрно дѣйствующаго давленія P на путь s , на протяженіи котораго дѣйствовало давленіе P .

Чѣмъ болѣе или менѣе s , очевидно тѣмъ большую или меньшую силу P должно употребить для того, чтобы произвести одну и ту же скорость v . — Если бы масса m двигалась безъ содѣйствія новой силы съ однажды приобретенною скоростью v , то мы не можемъ сказать ничего объ силѣ двигающейся такимъ образомъ массы. Такъ какъ въ этомъ случаѣ не происходитъ никакого измѣненія въ состояніи приобретенной массою, которая только сохраняетъ приобретенную ею скорость, то мы столько же можемъ сказать объ дѣйствовавшей на нее силѣ, сколько бы могли сказать, при совершенномъ покоѣ сохраняемой массою, о тѣхъ силахъ, которыя привели ее въ это состояніе, потому что на самомъ дѣлѣ мы можемъ представить себѣ множество случаевъ дѣйствія силъ, могущихъ произвести это состояніе. — Скорѣе мы можемъ опредѣлять равнодѣйствующую силу, которая, дѣйствуя по протяженію извѣстнаго пути можетъ привести массу m въ состояніе покоя. Сила P , могущая произвести это на протяженіи s , очевидно должна имѣть такую величину чтобы $P \cdot s = \frac{1}{2} m v^2$. — Слѣдовательно только половинна живой силы можетъ выразить намъ, какое должно быть употреблено давленіе P на протяженіи s по противоположному направленію къ первоначальному движенію для того, чтобы привести скорость v къ нулю.

Въ этомъ только случаѣ, какъ мы уже сказали, произведеніе $P \cdot s$ равно половинѣ живой силы. — Сказанное нами легко объясняется слѣдующимъ примѣромъ. Положимъ, что скорость приобретенная поѣздомъ на желѣзной дорогѣ равна 40 футамъ, вѣсъ поѣзда равенъ 100,000 фунтамъ, а сопротивленіе пред-

ставляемое треніемъ дѣйствуетъ какъ сила, равняющаяся $\frac{1}{200}$ вѣсу поѣзда, слѣдовательно какъ 500 фунтовъ. — Эти 500 фунтовъ выражаютъ силу P , отъ дѣйствія которой должна постоянно уменьшаться пріобрѣтенная поѣздомъ скорость 40 фут., двигающая масса $m = \frac{100,000}{g}$, а скорость $v = 40$ фут. — Введя эти величины въ уравненіе $P \cdot s = \frac{1}{2} m v^2$, получимъ 500. $s = \frac{1}{2} \frac{100,000}{g} 40^2$, гдѣ g , равно какъ извѣстно, 32 футамъ. Сдѣлавъ полное вычисленіе получимъ $s = 4893$ футамъ.

3) Намъ остается показать еще одно слѣдствіе, которое можно вывести изъ уравненія для равноускореннаго движенія $v = \frac{1}{2} \frac{P}{p} g \cdot t^2$. — Помноживъ обѣ части этого уравненія на 2 p и раздѣливъ на g получимъ $\frac{2 p s}{g} = P t^2$. Такъ какъ $\frac{P}{g}$ есть масса m тѣла, вѣсящаго p фунтовъ, то будемъ имѣть $2 m s = P t^2$. Уравненіе это, выраженное словами, показываетъ, что удвоенное произведеніе изъ массы на путь равно произведенію изъ силы, двигающей массу по этому пути на квадратъ времени, въ продолженіи котораго происходитъ движеніе. Если таже самая масса m должна двигаться на томъ же самомъ пути s подъ вліяніемъ другой силы P' , дѣйствующей въ продолженіи времени t' , то на основаніи выведеннаго нами выше уравненія P' и t' , должны имѣть такія величины, чтобы $2 m s$ было равно $P' t'^2$ т. е. $P: P' = t'^2: t^2$ или, выражаясь обыкновеннымъ языкомъ, силы должны быть обратно пропорціональны квадратамъ временъ, которыя необходимо употребить для передвиженія равныхъ массъ на равныя разстоянія. По этому если два работника поднимаютъ равныя массы на равныя высоты при чемъ одинъ изъ работниковъ A употребляетъ для этого вдвое болѣе времени противу работника B , то отношеніе силъ P и P' , употребленныхъ работниками опредѣлится изъ пропорціи $P: P' = 1^2: 2^2 = 1: 4$ т. е. работникъ, который поднимаетъ на извѣстную высоту массу въ половинное время, долженъ употребить въ четыре раза болѣшую силу противу другаго.

Три слѣдствія выведенныя нами изъ общихъ уравненій для равноускореннаго движенія выразятся слѣдующими формулами: $m \cdot v = P \cdot t$, $\frac{1}{2} m \cdot v^2 = P \cdot s$, $2 m s = P \cdot t^2$.

Взаимное дѣйствіе силъ.

Общее
понятіе
о взаимномъ
дѣйствіи
силъ.

§ 43. Если силы, дѣйствующія на тѣло, взаимно уничтожаются, то говорятъ, что онѣ находятся въ равновѣсіи. Мы говоримъ двѣ силы равны, если онѣ, дѣйствуя по противоположнымъ направленіямъ на тѣло, удерживаютъ другъ друга въ равновѣсіи.

Если будетъ отнята отъ тѣла одна изъ двухъ противоположныхъ и находящихся въ равновѣсіи силъ, то очевидно, что остающаяся сила доставитъ тѣлу движеніе по направленію своего дѣйствія.

Точно также должно произойти движеніе и въ томъ случаѣ, когда двѣ или нѣсколько силъ, дѣйствуя на тѣло, не находятся въ равновѣсіи. Для болѣе ясной мы ограничимся изслѣдованіемъ дѣйствія силъ

на одну матеріальную точку и если будемъ говорить, что силы дѣйствуютъ на тѣло, то подъ этимъ будемъ разумѣть, что силы дѣйствуютъ на тѣло точно такъ какъ на матеріальную точку.

§ 44. Разсмотримъ сперва самый простой случай, когда тѣло подвержено *одновременно* вліянію *двухъ* силъ, направленныхъ въ одну сторону. Очевидно, что совокупное ихъ усиліе можетъ быть замѣнено *одною* силою *равною ихъ суммѣ*.

Эта послѣдняя сила называется *равнодѣйствующею* двухъ первыхъ силъ, которыя именуются *составляющими*. Самое же дѣйствіе замѣненія двухъ или нѣсколькихъ силъ одною равнодѣйствующею называется *составленіемъ силъ*. Понятно, что это составленіе можетъ быть отнесено одинаковымъ образомъ какъ къ силамъ дѣйствующимъ, такъ и къ прекратившимъ свое дѣйствіе.

Точно также и дѣйствіе, производимое одною силою, мы можемъ замѣнить *одновременнымъ* дѣйствіемъ двухъ силъ; — таковое замѣненіе одной силы двумя другими называется *разложеніемъ* силы.

Если дѣйствуютъ на тѣло нѣсколько силъ, направленія которыхъ совпадаютъ между собою, то онѣ произведутъ точно такое же дѣйствіе какъ и одна сила равная ихъ суммѣ и дѣйствующая по одному съ ними направленію.

Такимъ образомъ, если нѣсколько слабосильныхъ лошадей, запряженныхъ рядомъ другъ за другомъ, доставляютъ повозкѣ известное движеніе по направленію какой либо линіи, то ясно, что мы можемъ доставить повозкѣ тоже самое движеніе, если припречь къ ней одну лошадь, сила которой равна суммѣ отдѣльныхъ силъ, двигавшихъ прежде повозку.

Скорость, доставляемая въ этомъ случаѣ тѣлу равнодѣйствующей силой, будетъ равняться суммѣ тѣхъ скоростей, которыя могло бы пріобрѣсти тѣло отъ отдѣльнаго дѣйствія каждой составляющей.—

И въ самомъ дѣлѣ, если m есть масса, приводимая въ движеніе, c —скорость доставляемая равнодѣйствующей, а c', c'', c''' скорости, которыя въ состояніи придать тѣлу составляющія силы, то $mc = mc' + mc'' + mc''' = m(c' + c'' + c''')$; раздѣливши на m обѣ части уравненія $mc = m(c' + c'' + c''')$ получимъ, $c = c' + c'' + c'''$.—

Это показываетъ намъ, что скорости движенія могутъ быть сложены подобно силамъ.

Когда же на тѣло дѣйствуютъ двѣ *неравныя* силы *по противоположнымъ направленіямъ* другъ къ другу, то большую силу мы можемъ представить себѣ разложенною на двѣ составляющія, изъ которыхъ одна равна и противоположна дѣйствующей силѣ, а потому и уничтожается ею. Слѣдовательно тѣло будетъ подвержено только дѣйствію другой составляющей силы, которая очевидно *равна разности* составляющихъ силъ и направлена въ одну сторону съ большею изъ нихъ. Эта послѣдняя изъ составляющихъ очевидно будетъ *равнодѣйствующею* обѣихъ противоположныхъ силъ и скорость, доставляемая ею будетъ *равна разности тѣхъ скоростей*, которыя каждая отдѣль-

ная сила въ состояніи доставить тѣлу. — Такъ напр. если бы тѣло была подвержено дѣйствию двухъ противоположныхъ силъ, изъ которыхъ одна дѣйствовала бы со скоростью 10, а другая 4 футовъ въ секунду, то тѣло будетъ двигаться по направленію большей силы со скоростью 6 футовъ.

Если какъ по одному, такъ и по противоположному направленію дѣйствуютъ на тѣло нѣсколько силъ, то равнодѣйствующая ихъ равна суммѣ всѣхъ силъ дѣйствующихъ по одну сторону безъ суммы силъ, дѣйствующихъ по противоположному направленію, причемъ тѣло будетъ двигаться по направленію равнодѣйствующей болѣе суммы силъ.

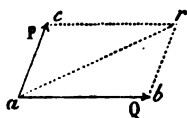
Если силы находятся между собою въ равновѣсіи, то, не нарушая послѣдняго, мы можемъ прибавить къ нимъ произвольное число взаимно уравновѣшивающихся силъ. Точно также отъ системы силъ, сохраняющихъ равновѣсіе мы можемъ отнять извѣстное число силъ, находящихся въ равновѣсіи другъ съ другомъ, не нарушивъ нисколько общаго равновѣсія остальныхъ силъ.

Но если къ системѣ силъ, сохраняющихъ равновѣсіе, прибавить нѣсколько силъ, не выполняющихъ этого условія, то очевидно, что новая система силъ не будетъ уже сохранять равновѣсія. Тоже самое произойдетъ и въ томъ случаѣ, когда мы отнимемъ отъ силъ, сохраняющихъ равновѣсіе, одну или нѣсколько силъ, не находящихся въ равновѣсіи.

Изъ этого слѣдуетъ, что равновѣсіе извѣстнаго числа силъ не нарушится, если мы каждую изъ нихъ увеличимъ или уменьшимъ въ извѣстное число разъ. —

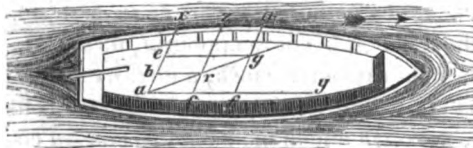
Составленіе силъ, дѣйствующихъ на точку по пересѣкающимся направленіямъ.

§ 45. Обратимся теперь къ тому случаю, когда двѣ силы P и Q (ф. 49) дѣйствуютъ на какую нибудь матеріальную точку a



такимъ образомъ, что направленіе одной силы съ направленіемъ другой составляютъ извѣстный уголъ $c a b$. Чтобы понять, какимъ образомъ происходитъ въ этомъ случаѣ составленіе силъ возьмемъ слѣдующій примѣръ. Представимъ себѣ, что вдоль по рѣкѣ движется барка равномерно и прямолинейно. Когда мы положимъ на палубу этой барки въ точкѣ a (фиг. 50) бильярдный шаръ, то очевидно, что онъ будетъ также участвовать въ движеніи барки и если не тронуть его съ мѣста, то онъ произведетъ равномерное движеніе по прямой линіи ay , параллельной къ направленію движенія барки. Положимъ, что сила тече-

Фиг. 50.



нія заставляеть барку, а слѣдовательно и шаръ пройти въ одну секунду по линіи ay разстояніе ac и представимъ себѣ, что въ самомъ нача-

лѣ секунды шаръ будетъ подверженъ давленію руки, которая, толкая его по линіи ax , заставитъ къ концу секунды пройти по направленію послѣдней линіи путь ab .—Такъ какъ во время послѣдняго движенія шара барка передвинулась по линіи ay разстояніе ac , то очевидно, что въ это время линія, по которой двигался шаръ отъ непрерывнаго дѣйствія руки, передвинется вдоль линіи ay параллельно самой себѣ и по окончаніи секунды займетъ положеніе cz .—Такъ какъ вслѣдствіе сдѣланнаго нами предположенія шаръ можетъ пройти въ секунду на передвигаемой линіи путь равный ab , то по этому если изъ точки b провести параллельно къ ax линію cz и отложить на ней часть cr равную ab , то точка r представитъ намъ мѣсто, въ которомъ будетъ находиться шаръ по прошествіи секунды.—Соединивъ точку r съ b , мы получимъ параллелограмъ $acrb$, оконечность діагонали (ar) котораго укажетъ намъ точку, до которой достигнетъ шаръ по окончаніи секунды, вслѣдствіе одновременнаго дѣйствія двухъ силъ, дѣйствовавшихъ на него подъ угломъ.

Разсуждая такимъ же образомъ, легко доказать, что по прошествіи двухъ секундъ, въ продолженіи которыхъ какъ лодка, такъ и шаръ пройдутъ вдвое большія разстоянія по линіямъ ay и ax , точка g , составляющая оконечность параллелограмма $ae g f$, будетъ представлять мѣсто нахожденія шара по прошествіи двухъ секундъ.

Очевидно, что движеніе шара *составлено* въ этомъ случаѣ изъ двухъ движеній одного по линіи ax а другаго по линіи ay ; послѣднія движенія называются *составляющими* относительно *сложнаго* движенія, производимаго ими.

Мы доказали, что при этомъ сложномъ движеніи шаръ по прошествіи секунды будетъ находиться на оконечности діагонали ar , а по прошествіи двухъ секундъ на оконечности діагонали ag , но изъ этого еще не слѣдуетъ, чтобы шаръ двигался прямолинейно вдоль этихъ діагоналей. Послѣднее можетъ произойти только въ томъ случаѣ, когда точки a , r и g лежатъ на одной прямой линіи.—Для выполненія этого условія необходимо чтобы углы cas и car , dae и rab были равны между собою.—Углы же эти могутъ быть равны только тогда, когда линіи, означающія направленія и величины одной силы пропорціональны линіямъ, выражающимъ одновременныя дѣйствія другой силы, т. е. когда ac составляетъ такую же часть отъ af , какую линія ab отъ ae . И въ самомъ дѣлѣ только при этомъ условіи въ треугольникахъ acr и afg линія cr равная ab будетъ составлять половину отъ параллельной ей линіи fg равной ae . Геометрія показываетъ намъ, что если двѣ стороны одного треугольника пропорціональны двумъ сторонамъ другаго и углы заключающіеся между этими сторонами равны, то такіе треугольники подобны между собою.—Въ подобныхъ же треугольникахъ car и fae соответственные углы car и fae должны быть равны другъ другу.—Но линіи, выражающія направленія и величины дѣйствующихъ силъ, могутъ быть пропорціональны только въ томъ случаѣ, когда движенія, производимыя дѣйствующими силами, или равномерны или

равноускоренны. Такъ напр. въ избранномъ нами примѣрѣ точки a , r и g будутъ находиться на одной прямой линіи только въ томъ случаѣ если при началѣ секунды, какъ сила приводящая въ движеніе лодку, такъ и сила, толкающая шаръ, прекратили свое дѣйствіе т. е. когда оба эти тѣла двигаются равномерно по инерціи; для этого стоитъ только предположить, что лодка находится на стоячей водѣ и получаетъ толчекъ въ тотъ самый моментъ, когда рука толкаетъ шаръ. Точно также точки a , r и g будутъ находиться на прямой линіи, когда обѣ силы, дѣйствующія на лодку и на шаръ производятъ равноускоренныя движенія.

Для знакомыхъ съ математикою мы представляемъ болѣе строгое доказательство почему при сдѣланныхъ нами условіяхъ линіи, выражающія направленія и величины дѣйствующихъ силъ, должны быть пропорціональны между собою.—Положимъ, что при равномерности движеній по обоимъ направленіямъ v и V выражаютъ скорости сообщенныя тѣлу, значить $ab=vt$, $ae=vT$ и $ac=Vt$, $af=VT$, по этому $ab:ae=t:T$ и $ae:af=t:T$, слѣдовательно $ab:ae=ac:af$ —

Если оба движенія равноускоренны, то положимъ что g и G представляютъ величину ускореній, $ab = \frac{g}{2} t^2$, $ae = \frac{g}{2} T^2$ и $ac = \frac{g}{2} t^2$, $af = \frac{G}{2} T^2$. По этому $ab:ae=t^2:T^2$ и $ac:af=t^2:T^2$ слѣдовательно опять получимъ ту же пропорцію $ab:ae=ac:af$ —

Подобной пропорціональности мы не можемъ вывести для того случая, когда одна сила доставляетъ шару равномерное, а другая равноускоренное движеніе или наконецъ когда обѣ силы производятъ неравнобѣрные движенія —

Въ этомъ случаѣ, основываясь на предыдущемъ разсужденіи, мы можемъ доказать только, что по окончаніи извѣстной единицы времени шаръ будетъ находиться на оконечности параллелограмма, построеннаго на линіяхъ выражающихъ величину и направленіе силъ дѣйствовавшихъ на тѣло въ продолженіи той же единицы времени.—

Мы показали условія необходимыя для того, чтобы сложное движеніе, производимое по діагонали, было прямолинейно.—

Но прямолинейное движеніе можетъ быть всегда произведено дѣйствіемъ одной силы. — Слѣдовательно и въ томъ случаѣ, когда отъ вліянія двухъ силъ, дѣйствующихъ подъ угломъ, ширь a совершаетъ, движеніе по діагонали ar , то движеніе это можетъ быть произведено также и одною силою, направляющею шаръ по линіи ar и заставляющею его дойти до оконечности діагонали r . —

Эта сила очевидно и есть равнодѣйствующая составляющихъ обѣихъ составляющихъ силъ.

Мы же знаемъ, что силы относятся между собою какъ пути, которые проходитъ тѣло въ равныя времена при отдѣльномъ дѣйствіи на него каждой силы; слѣдовательно если ab (фиг. 49) вдвое болѣе противу ac , то и сила P , дѣйствовавшая на первомъ пути, будетъ вдвое болѣе противу силы Q , дѣйствовавшей на второмъ пути.—Это показываетъ, что силы P и Q относятся между собою какъ стороны параллелограмма $abcd$. Такой параллелограммъ называется *параллелограммомъ силъ*; силы же, которыхъ напряженія пропорціональны сторонамъ этого параллелограмма, называются *составляющими*. —

Если обѣ силы P и Q дѣйствуютъ одинаковымъ образомъ на тѣло,

т. е. если онъ производить или равномерное или равноускоренное движеніе, то діагональ параллелограмма выразитъ намъ направленіе *равнодѣйствующей* и вмѣстѣ съ тѣмъ величину пути, по которому должно пройти тѣло въ известное время вслѣдствіе напряженія *равнодѣйствующей* силы. —

Дѣйствіе двухъ составляющихъ силъ P и Q на точку a будетъ очевидно уничтожено въ томъ случаѣ, если въ точкѣ a приложимъ силу равную и противоположную *равнодѣйствующей* двухъ составляющихъ силъ. —

Выведенный нами законъ можетъ быть выраженъ слѣдующими словами:

Если чрезъ точку приложены двѣ силы провести линіи, означающія направленія и величины ихъ, то діагональ параллелограмма, построеннаго на этихъ двухъ линіяхъ, опредѣлитъ намъ какъ величину, такъ и направленіе равнодѣйствующей обѣихъ силъ.

Подобно сложенію силъ приложенныхъ къ одной точкѣ въ различныхъ направленіяхъ можно производить также и сложеніе скоростей, которыми обладаетъ тѣло вслѣдствіе дѣйствія на него двухъ силъ Парал-
лело-
грамъ
ско-
ростей. пересекающихся подъ угломъ. — И въ самомъ дѣлѣ, если находящемуся на баркѣ шару (фиг. 48) сообщены въ одно время двѣ скорости по различнымъ направленіямъ af и ae , то очевидно, что во время движенія своего къ оконечности діагонали ag онъ будетъ имѣть одну общую скорость. Величина и направленіе этой скорости, при одинаковомъ дѣйствіи силъ выразятся діагональю параллелограмма построеннаго на линіяхъ означающихъ величину и направленіе двухъ со-
общенныхъ тѣлу скоростей af и ae .

Основываясь на этомъ подобіи между сложеніемъ силъ и сложеніемъ скоростей мы имѣемъ право сказать, что ag есть *равнодѣйствующая* скорость составляющихъ скоростей af и ae .

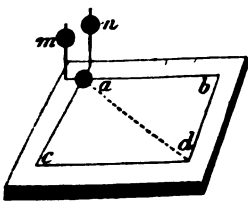
Вотъ почему весьма часто вмѣсто закона параллелограмма силъ употребляютъ выраженіе *параллелограмъ скоростей*.

Законъ этотъ, имѣющій важное примѣненіе какъ въ наукѣ такъ и Повѣ-
реніе за-
кона въ обществѣ, известенъ подъ названіемъ закона *параллелограмма силъ*.

Законъ параллелограмма силъ можетъ быть повѣренъ на опытѣ парал-
лело-
грамъ
силъ. различными приборами, изъ которыхъ мы укажемъ на болѣе простые

1) Возьмемъ деревянную доску (фиг. 51), на которой начерченъ параллелограмъ $abcd$ и въ одномъ изъ угловъ послѣдняго поставимъ шаръ. Если послѣ того на продолженіи линіи ab и ac утвердить въ равномъ разстояніи отъ a двѣ отвѣсныя проволоки, на которыя надѣты, какъ на оси, два совершенно равные шара m и n , то опустивши ихъ съ одинаковой высоты вдоль прово-

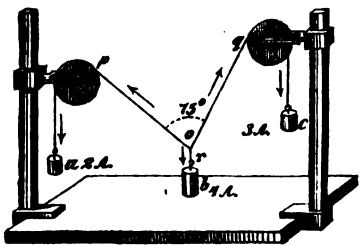
Фиг. 51.



локъ, мы увидимъ, что отъ одновременнаго удара, сообщеннаго ими шару a , онъ покатится по линіи ad , составляющей діагональ начерченнаго параллелограмма.

- 2) Къ обыкновенному столу утверждаютъ двѣ стойки (фиг. 52) съ подвижными колесами такимъ образомъ,

Фиг. 52.



чтобы отвѣсныя площади обонхъ колесъ совпадали между собою. Если пропустить по ободу колесъ шнурокъ и привязать къ нему на одномъ концѣ гирю a , на другомъ гирю c и между ними гирю b , то при известномъ положеніи шнурка мы получимъ равновѣсіе между гириями. Нетрудно замѣтить, что

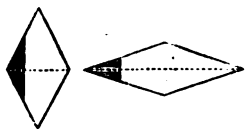
при этомъ на точку o дѣйствуютъ три силы по направленіямъ op , oq и or , и мы можемъ легко удостовѣриться, что между величиною и направленіемъ ихъ существуетъ въ дѣйствительности отношеніе, обусловливаемое закономъ параллелограма силъ.

Положимъ, что гири $a=2$, а гири $c=3$ лотамъ; какова должна быть величина силы b при углѣ $poq=75^\circ$. По закону параллелограма силъ мы можемъ легко, какъ показываетъ (фиг. 53), опредѣлить построеніемъ величину равнодѣйствующей. Если сдѣлать уголъ rst равнымъ 75° , $rs=2$, $st=3$ (произвольно взятымъ линейнымъ мѣрамъ),

Фиг. 53. то найдемъ, что діагональ sr будетъ равна 4 такимъ же мѣрамъ. — Слѣдовательно, если уголъ poq (фиг. 52) составитъ 75° , то гири b должна имѣть 4 лота. — И въ самомъ дѣлѣ, привѣсивъ къ o гири въ 4 лота, мы увидимъ, что уголъ poq , образуемый шнуркомъ, будетъ имѣть дѣйствительно 75° , въ чемъ не трудно удостовѣриться, если приложить къ шнуркамъ соответственнаго размѣра чертежъ представленный на (фиг. 53).

Геометрія показываетъ намъ, что въ каждомъ треугольникѣ сумма двухъ сторонъ всегда болѣе третьей; примѣняя это правило къ треугольникамъ soq и arb (фиг. 50) мы получимъ, что $ab+ac$ болѣе ar т. е. что равнодѣйствующая сила, дѣйствующихъ подъ угломъ,

Фиг. 54.



всегда менѣе суммы ихъ. Отсюда легко понять, что эта равнодѣйствующая будетъ тѣмъ болѣе (фиг. 54), чѣмъ острѣе уголъ, составляемый направленіемъ силъ, и что на оборотъ при однихъ и тѣхъ же составляющихъ силахъ она уменьшается съ увеличеніемъ угла,

образуемого силами.

Справедливость этого мы можемъ повѣрить на приборѣ, представленномъ на (фиг. 52).

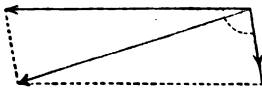
Если, не измѣняя другихъ обстоятельствъ, привѣсить къ точкѣ o болѣе 4 лотовъ, то уголъ poq , образуемый шнуркомъ сдѣлается менѣе 75° . — И на оборотъ, чѣмъ менѣе b , тѣмъ болѣе будетъ уголъ poq .

Если обѣ составляющія силы равны, то равнодѣйствующая раздѣлитъ уголъ образуемый ими, пополамъ.

И въ самомъ дѣлѣ, здѣсь нѣтъ никакой причины думать, чтобы

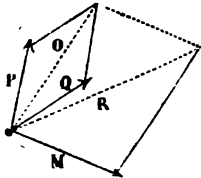
она могла приблизиться къ одной изъ составляющихъ силъ болѣе нежели къ другой, какъ это бываетъ тогда, когда послѣднія силы не равны между собою; въ этомъ случаѣ равнодѣйствующая, какъ показываетъ фиг. 55, приближается къ болѣеи изъ нихъ.

Фиг. 55.



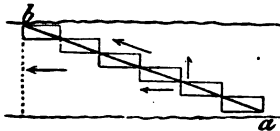
Если бы на какое нибудь тѣло (фиг. 56) дѣйствовало произвольное число силъ, то для отысканія равнодѣйствующей ихъ должно сперва найти равнодѣйствующую O двухъ какихъ нибудь силъ P и Q ; потомъ находятъ снова равнодѣйствующую R между найденной силой O и одной изъ остальныхъ силъ M и поступаютъ такимъ образомъ до тѣхъ поръ, пока не приведутъ всѣхъ силъ окончательно къ одной равнодѣйствующей.

Фиг. 56.

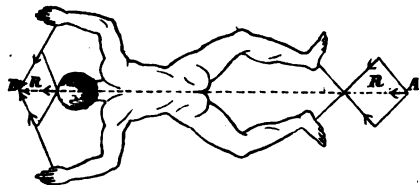
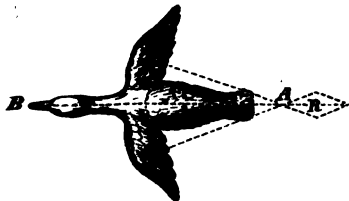


Примѣры составленія силъ встрѣчаются весьма часто въ общежитіи. Такъ напримѣръ капли дождя, притягиваемыя дѣйствіемъ тяжести отвѣсно книзу, могутъ быть въ тоже время уклоняемы по горизонтальному направленію дѣйствіемъ вѣтра, и потому въ вѣтренную погоду дождь падаетъ всегда косвенно на землю.—Подобное направленіе силъ мы встрѣчаемъ при переѣздѣ черезъ рѣку парусной лодки, на которую могутъ дѣйствовать одновременно сила теченія и сила вѣтра. Отъ совокупнаго дѣйствія этихъ двухъ силъ, въ каждый моментъ времени лодка (фиг. 57) описываетъ діагональ параллелограмма, одну сторону котораго составляетъ направленіе теченія, а другую направленіе сообщаемое вѣтромъ. Сумма этихъ діагоналей, примыкающихъ другъ ко другу, составляетъ линію ab , представляющую направленіе, принимаемое лодкою.—Лодочникъ, желая переѣхать черезъ рѣку, никогда не направляетъ лодки прямо къ тому пункту, къ которому онъ желаетъ пристать. Если бы онъ дѣйствовалъ такимъ образомъ, то былъ бы увлеченъ силою теченія внизъ по рѣкѣ и присталъ бы гораздо ниже того мѣста, гдѣ слѣдуетъ. Онъ знаетъ по опыту, что ему должно подниматься вверхъ по рѣкѣ и тѣмъ дальше, чѣмъ сильнѣе быстрота теченія. Въ этомъ случаѣ лодка его будетъ управляться двумя силами теченіемъ рѣки и толчками, доставляемыми дѣйствіемъ веселъ, которое замѣняетъ силу вѣтра. По этому лодка будетъ двигаться (фиг. 57) по линіи ab , состоящей изъ діагоналей параллелограммовъ, одну сторону которыхъ составляетъ направленіе теченія, а другую направленіе, доставляемое веслами. Летящая птица (фиг. 58) ударяетъ обоними крыль-

Фиг. 57.



Фиг. 58.



для обѣ воздуха, который вслѣдствіе закона противодѣйствія передаетъ сообщенные ему толчки въ противоположную сторону. Черезъ это образуются двѣ силы, пересѣкающіяся позади птицы A и дающія одну равнодѣйствующую R , которая при равномъ дѣйствіи крыльевъ проходитъ вдоль тѣла птицы по сре-

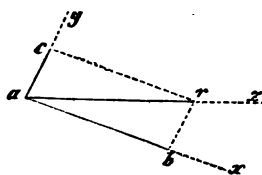
дѣлѣ и постоянно толкаетъ ее впередъ. — Плавающій человѣкъ (фиг. 57) производитъ, какъ извѣстно, руками и ногами одновременныя движенія, посредствомъ которыхъ онъ сообщаетъ водѣ толчки. — Толчки эти передаются водою въ противоположную сторону по направленію означенному на чертежѣ стрѣлками. Отъ совокупнаго дѣйствія этихъ обратныхъ толчковъ образуются двѣ равнодѣйствующія R и R , общее усиліе которыхъ, направляющееся въ одну сторону, доставляетъ человѣку поступательное движеніе въ водѣ. Если направленіе этихъ равнодѣйствующихъ проходитъ чрезъ средину тѣла человѣка, то движеніе его совершается по прямому направленію, въ противномъ случаѣ плавающій человѣкъ дѣлаетъ поворотъ.

Тоже самое составленіе силъ представляетъ намъ поступательное движеніе рыбы. Если рыба приведетъ свое тѣло въ положеніе tdb (фиг. 60) и потомъ быстрымъ ударомъ хвоста объ воду влѣво, выпрямитъ свое тѣло по направленію линіи ta , то очевидно, что вода вслѣдствіе закона противодѣйствія доставитъ ей обратный толчекъ по направленію стрѣлки ab . Точно также если рыба приметъ положеніе tdc и потомъ быстрымъ ударомъ хвоста объ воду вправо приведетъ тѣло свое по направленію линіи ta , то вода снова произведетъ обратный толчекъ, означенный на фигурѣ стрѣлкою ac . Первый изъ этихъ обратныхъ ударовъ воды ab даетъ рыбѣ возможность повернуть вправо а послѣдній ac влѣвую сторону. Если же оба эти удара слѣдуютъ такъ быстро другъ за другомъ, то мы

принять ихъ за двѣ можемъ силы, дѣйствующія одновременно подъ угломъ другъ къ другу, то очевидно, что силы эти составятъ общую равнодѣйствующую, которая доставитъ тѣлу рыбы поступательное движеніе впередъ по линіи at .

§ 46. Мы видѣли, что двѣ или нѣсколько силъ могутъ быть замѣнены одною; очевидно что и одна сила, въ свою очередь, можетъ быть разложена на двѣ или нѣсколько другихъ силъ, дѣйствующихъ подъ произвольнымъ угломъ. — Для разложенія данной силы на двѣ другія стоитъ только принять ее за діагональ параллелограмма и потомъ построить параллелограммъ; стороны котораго покажутъ намъ величины и направленія составляющихъ силъ. Такъ какъ одна и та же линія можетъ служить діагональю безчисленнаго множества параллелограммовъ, то очевидно, что и данная сила можетъ быть разложена на самымъ различнымъ образомъ на двѣ силы. — Но если бы

Фиг. 61.



напримѣръ потребовалось замѣнить силу ar (фиг. 61) двумя другими силами, изъ которыхъ одна должна имѣть направленіе au и величину ac , то вопросъ будетъ совершенно опредѣленъ, потому что въ этомъ случаѣ только однимъ способомъ можно начертить параллелограммъ для отысканія составляющей силы ab .

Величину составляющей ab можно найти и въ томъ случаѣ, если принять ar не за діагональ параллелограмма, но за сторону треугольника, другой стороной котораго будетъ линія ac . Такъ какъ cr равно ab , то ясно, что третья сторона треугольника должна выражать величину искомой составляющей силы.

Принимая за сторону треугольника или за діагональ параллелограмма одну или обѣ изъ найденныхъ составляющихъ силъ, мы можемъ снова разложить ихъ на двѣ другія и, поступая такимъ образомъ далѣе, получимъ

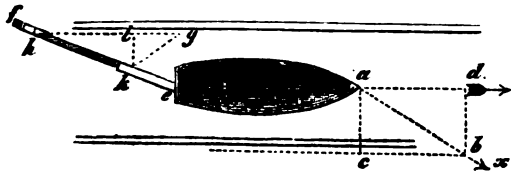
Разло-
женіе
силъ
дѣйстви-
ющихъ
на точ-
ку.

произвольное число силъ, которыя вмѣстѣ произведутъ такое же дѣйствіе какъ и сила ag .

Что мы говорили о сложении скоростей, то очевидно можно при-
мѣнить и къ разложению ихъ.

Подобно сложению силъ и разложение ихъ

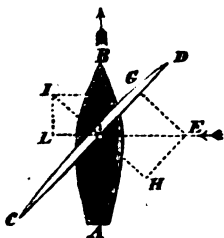
Фиг. 62.



эту мы можемъ разложить на двѣ другія: одну ad параллельную къ линіи течения и другую ac отвѣсную къ ней. Нетрудно замѣтить, что только отъ дѣйствія одной первой силы лодка движется впередъ, между тѣмъ какъ послѣдняя стремится отклонять переднюю часть ея къ берегу. Для воспрепятствования этому отклоненію употребляютъ въ задней части лодки руль, которому даютъ косвенное положеніе.—Положимъ, что ea представляетъ направленіе руля, а ga величину давленія, оказываемаго на него теченіемъ, дѣйствующимъ по направленію противоположному движенію лодки. Принимая линію ga , выражающую давленіе воды, за сторону треугольника, мы можемъ на основаніи предъидущаго разложить это давленіе на двѣ части, одну ga отвѣсную къ ea и другую ka параллельную къ ea . Сила ka очевидно не производитъ ни какого дѣйствія на руль, который по этому будетъ подверженъ одному вліянію ga . Принимая силу ga за сторону треугольника, мы можемъ снова разложить ее на ka отвѣсную къ ga и на параллельную къ ga силу gl . Сила gl направленная въ одну сторону съ теченіемъ противодействуетъ той части силы лошадей, которая движетъ лодку по направленію ad . Сила же ka , дѣйствуя на руль и поворачивая заднюю часть лодки по направленію своего дѣйствія, заставляетъ переднюю часть лодки поворачиваться въ противоположную сторону и чрезъ то самое противодействуетъ силѣ ac . Эти силы ka и ac , дѣйствуя въ одну сторону, стремятся отклонить лодку къ одному берегу рѣки, но дѣйствіе ихъ уничтожается сильнымъ давленіемъ, которое оказываетъ вода на боковыя стороны лодки. Чтобы доставить сильнѣйшее противодействіе силѣ ac т. е. чтобы передняя часть лодки могла постоянно отклоняться отъ берега, даютъ рулю возможнѣе большее наклонное положеніе относительно направленія движенія лодки.

Другой любопытный

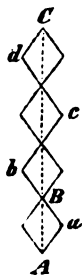
Фиг. 63.



примѣръ разложения силъ мы встрѣчаемъ при дѣйствіи вѣтра о парусъ. Положимъ, что AB (фиг. 63) представляетъ положеніе лодки, CD положеніе паруса, а EF —какъ направленіе, такъ и силу вѣтра. Мы можемъ разложить силу EF на параллельную къ CD силу EH и на отвѣсную къ CD силу EG , вмѣсто которой можно взять силу FH какъ равную, параллельную и направленную въ одну съ нею сторону. Сила EH не производитъ на парусъ ни какого дѣйствія, между тѣмъ какъ FH стремится доставить лодкѣ движеніе по направленію своего дѣйствія. Для болѣе ясности чертежа перенесемъ изображеніе силы FH по другую сторону паруса и положимъ, что $FH = FJ$. Сила FJ можетъ быть разложена на двѣ другія силы KF , параллельную къ линіи AB , и LF перпендикулярную къ AB . Сила KF толкаетъ лодку впередъ по направленію AB , между тѣмъ какъ другая часть силы, дѣйствующая по линіи FL , толкаетъ лодку въ бокъ. Но какъ при этомъ сопротивленіе воды по причинѣ удлиненной формы лодки оказыва-

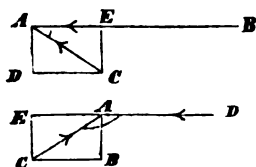
еть поперечному движенію большее противодѣйствіе нежели продольному, то очевидно, что лодка будетъ подвигаться впередъ по направленію стрѣлки, отклоняясь только въ незначительной степени въ сторону. Сравнивая силу вѣтра въ

Фиг. 64 различныхъ положеніяхъ относительно паруса, не трудно понять, что дѣйствіе первой силы KF будетъ тѣмъ менѣе, а дѣйствіе второй силы FL тѣмъ болѣе, чѣмъ косвеннѣе ударяетъ вѣтеръ о парусъ. — Выѣстъ съ тѣмъ понятно, что лодка можетъ двигаться при каждомъ направленіи вѣтра, если только онъ не дуетъ прямо противъ лодки. — Въ послѣднемъ случаѣ лодкѣ доставляютъ движеніе посредствомъ такъ называемаго *лабиринта*. — Положимъ, что лодка (фиг. 64) должна двигаться отъ A къ C въ то время, когда вѣтеръ дуетъ отъ C къ A . Представимъ себѣ путь AC раздѣленнымъ на части AB , изъ которыхъ каждая представляетъ діагонали изображенныхъ на чертежѣ параллелограммовъ. — Мы можемъ достигъ предполагаемой цѣли въ томъ случаѣ, когда при соответственныхъ положеніяхъ паруса будемъ плыть сперва по линіи Aa , потомъ по ab , bc и такъ далѣе. —



Основываясь на разложеніи силъ, мы имѣемъ возможность доказать, что двѣ силы, дѣйствующія подѣ угломъ, могутъ взаимно *подкрѣплять* и *ослаблять* другъ друга, судя потому острый или тупой уголъ образуется направленіемъ ихъ. Положимъ, что на точку A (фиг. 65)

Фиг. 65 и 66.



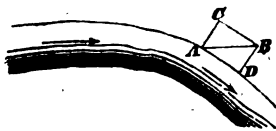
дѣйствуютъ подѣ острымъ угломъ двѣ силы, одна по направленію AB , а другая по направленію CA . Силу CA мы можемъ разсматривать какъ равнодѣйствующую двухъ силъ, изъ которыхъ одна AD отвѣсна къ BA , а другая EA параллельна къ BA . Очевидно, что послѣдняя, дѣйствуя по одному направленію съ силою BA , будетъ усиливать ее.

Совсѣмъ другое происходитъ въ томъ случаѣ, если силы BA и CA дѣйствуютъ на точку A подѣ тупымъ угломъ (фиг. 66). Представивъ себѣ силу CA , какъ равнодѣйствующую силъ BA и EA , мы найдемъ, что EA , дѣйствуя противоположно BA , будетъ ослаблять ее.

Если же направленія обѣихъ силъ составляютъ прямой уголъ, то дѣйствія ихъ не будутъ ни подкрѣпляться ни ослабляться взаимно.

Пояснимъ сказанное нами примѣромъ.

Если рѣка въ какомъ либо мѣстѣ дѣлаетъ крутой поворотъ, то очевидно, **Фиг. 67.**



жить весьма часто причиною разливовъ и наводненій въ мѣстахъ лежащихъ выше поворота.

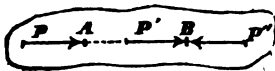
что вода, текущая со скоростью AB (фиг. 67) должна измѣнять въ томъ мѣстѣ свое направленіе. — Если разложить AB на составляющія AD , параллельную новому направленію и AC перпендикулярную къ берегу, то легко замѣтить, что послѣдняя должна оказывать давленіе на берегъ и что скорость дальнѣйшаго теченія будетъ выражена линіею AD . Такъ какъ AD менѣе AB , то ясно, что при поворотѣ происходитъ уменьшеніе скорости, которое при большой водѣ служитъ

§ 47. До сихъ поръ мы рассматривали составленіе силъ дѣйствующихъ на одну точку. Но можемъ встрѣтиться въ такой случай, когда двѣ силы дѣйствуютъ на различныя точки, находящіяся въ соединеніи между собою. Понятно, что прежде всего должно обратить вниманіе на самый образъ соединенія этихъ точекъ.

Частицы, составляющія всякое твердое тѣло, соединены такимъ образомъ, что сохраняютъ неизмѣнное положеніе относительно другъ друга. Поэтому если сила дѣйствуетъ на одну какую либо точку такого тѣла, то точка эта не можетъ одна притти въ движеніе, не сообщивъ его и другимъ частицамъ. Основываясь на этомъ свойствѣ твердыхъ тѣлъ, очевидно, что все равно въ какомъ бы мѣстѣ, по направленію одной и той же силы, мы не взяли ея точку приложенія.

Чтобы доказать, что всякая сила P (фиг. 68) безъ измѣненія своего дѣйствія можетъ быть приложена къ тѣлу въ произвольной точкѣ его, взятой по направленію этой силы, положимъ, что по направленію силы P въ какой нибудь точкѣ B , неизмѣнно соединенной съ точкою A , приложены двѣ противоположныя и равныя P , силы P' и P'' , изъ которыхъ каждая равна P . Какъ дѣйствіе послѣднихъ силъ должно взаимно уничтожаться, то очевидно, что точка A не измѣнитъ прежняго своего положенія. Рассматривая же силы P и P'' , не трудно замѣтить, что онѣ также уравниваютъ другъ друга. Слѣдовательно останется только одна сила P' , на которую мы можемъ смотрѣть какъ на силу P приложенную къ точкѣ B , взятой по направленію ея дѣйствія.

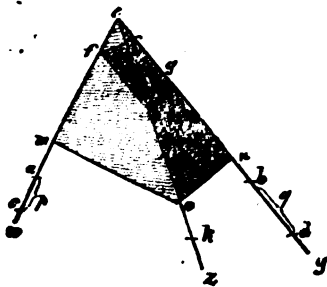
Фиг. 68.



Силы, дѣйствующія на двѣ неизмѣнно соединенныя точки, можно замѣнить одною только въ томъ случаѣ, когда направленія ихъ лежатъ въ одной плоскости. При этомъ условіи могутъ встрѣтиться два случая, когда направленія силъ пересекаются другъ съ другомъ и когда направленія эти параллельны между собою.

§ 48. Положимъ, что двѣ силы P и Q дѣйствуютъ на двѣ неизмѣнно соединенныя между собою точки a и b (фиг. 69) по направленіямъ ax и by .

Фиг. 69.



пересекающимися въ какой нибудь точкѣ e , лежащей очевидно въ одной плоскости съ a и b . Допустимъ, что величина силъ p и q выражается линіями ac и bd . На основаніи предшествовавшаго параграфа мы можемъ перенести точки a и b приложенія силъ p и q въ точку e , въ томъ случаѣ, если послѣдняя точка соединена неизмѣнно съ a и b . Вслѣдствіе того очевидно нисколько не нарушится равновѣсіе силъ p и q , потому что каждая изъ нихъ

будетъ дѣйствовать, на неизмѣнно соединенныя точки e , a и b , по направленіямъ ex и ey , точно также, какъ и въ томъ случаѣ, когда бы обѣ силы дѣйствовали на первоначальныя точки своего приложенія. Итъ двѣ силы p и q , дѣйствующія на одну точку e , легко уже, на основаніи приведеннаго выше правила, отыскать какъ величину, такъ и направленіе ихъ равнодѣйствующей. Для этого стоимъ только отложить, начиная отъ точки a величины, соответствующія этимъ силамъ, т. е. взявъ линію ef равную ac и eg равную bd и построить параллелограмъ $efhg$, діагональ котораго eh дастъ намъ искомую равнодѣйствующую R . Продолживъ полученную такимъ образомъ равнодѣйствующую до z , мы можемъ перенести точку при-

ложенія ея въ любую точку линіи ex , неизмѣнно соединенную съ e . Если мы перенесемъ точку приложенія ея напр: въ i , то линія ik равная ek выразитъ направленіе и величину равнодѣйствующей. R силъ p и q .

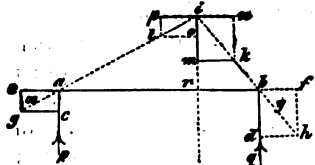
Если изъ какой нибудь точки o направленія равнодѣйствующей, означаемой прямою линіею ex , проведемъ перпендикуляры om и on на линіи ea и eb и опустимъ изъ f перпендикуляръ fg на ek , то получимъ, что треугольники efg и emo , fgh и eno подобны между собою (подобіе первыхъ треугольниковъ основано на равенствѣ угловъ efg и emo какъ прямыхъ и на общемъ углѣ feo ; подобіе же вторыхъ треугольниковъ основано на равенствѣ угловъ: fgh и ono (какъ прямыхъ), fgh и hgo (вѣдѣствіе параллельности линій eg и fh). Изъ подобія же треугольниковъ слѣдуетъ, что $fe : fg = eo : om$ и $fh : fg = eo : on$. Отъ сокращенія обѣихъ пропорцій, мы получимъ одну пропорцію $fe : fh = om : on$, а какъ $fe = p$, $fh = eq = q$, то будемъ имѣть, что $p : q = om : on$, т. е. равнодѣйствующая двухъ пересѣкающихся силъ, дѣйствующая на различныхъ точкахъ приложенія, представляется такимъ образомъ, что отвѣсная, проведенная изъ какой нибудь точки равнодѣйствующей на направленіе составляющихъ ее силъ, обратно пропорциональна послѣднимъ. Изъ пропорцій $p : q = om : on$ слѣдуетъ, что $p \cdot om = q \cdot on$. Это произведение изъ силы на отвѣсную, проведенную изъ какой нибудь точки на направленіе силы, называется статическимъ моментомъ этой силы относительно той точки, изъ которой опущена отвѣсная линія. Послѣдняя точка называется центромъ момента. Поэтому $p \cdot om$ и $q \cdot on$ будутъ статическіе моменты силъ p и q относительно точки o . Изъ выведеннаго же нами равенства $p \cdot om = q \cdot on$ слѣдуетъ, что статическіе моменты двухъ пересѣкающихся силъ, дѣйствующихъ на различныхъ точкахъ приложенія, относительно каждой точки ихъ равнодѣйствующей, должны быть равны между собою.

Понятно, что заключеніе это можетъ быть отнесено также и къ пересѣкающимся силамъ, дѣйствующимъ на одну точку, потому что ex выражаетъ направленіе равнодѣйствующей какъ для силъ приложенныхъ къ a и b , такъ и къ e .

Сложен. § 49. Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію того случая, когда силы, приложенныя къ двумъ неизмѣнно соединеннымъ между собою точкамъ, дѣйствуютъ по параллельнымъ направленіямъ и при томъ обращены въ одну сторону.

Если точки приложенія a и b (фиг. 70) двухъ параллельныхъ силъ p и q , относительныя величины которыхъ выражены линіями ac и bd , соединить прямою ab и потомъ къ точкамъ a и b приложить двѣ взаимно равныя и противоположныя силы, изображенныя линіями ea и bf , лежащими на продолженіи прямой ab , то очевидно, что обѣ послѣднія силы будутъ взаимно уничтожать другъ друга и потому присоединеніемъ ихъ мы ни сколько не измѣнимъ дѣйствія силъ p и q на точки a и b . Поэтому

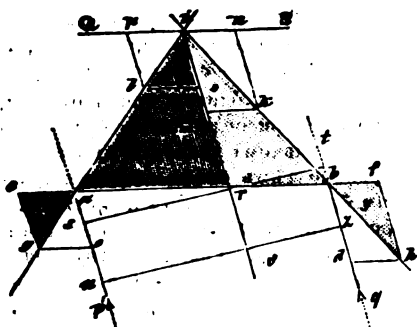
Фиг. 70.



всѣ четыре силы ea , bf , ac и bd будутъ имѣть ту же самую равнодѣйствующую какъ и силы p и q . Равнодѣйствующую же четырехъ указанныхъ нами силъ легко уже найти съ помощію закона параллелограмма силъ. Для этого стоитъ соединить силы ac и ea въ равнодѣйствующую $ag = x$, а силы bd и bf въ равнодѣйствующую $bh = y$. Какъ продолженныя линіи ag и bh пересѣкаются въ точкѣ i , то ни что намъ не мѣшаетъ перенести въ послѣднюю точку силы, представляемыя этими линіями. Для этого намъ стоитъ взять линію il равную ag , а линію ik равную bh . Остается только найти равнодѣйствующую силъ il и ik . Каждую изъ этихъ силъ мы можемъ принимать какъ равнодѣйствующую двухъ другихъ силъ, приложенныхъ къ точкѣ i или, говоря другими словами, можемъ себѣ представить, что сила ik разложена на im и in , а сила il на io и ip , при чемъ силы pi и in взяты нами на линіяхъ pm параллельной къ ob , а силы io и im — на линіи in параллельной къ направленію данныхъ силъ p и q . Понятно, что при этомъ расположеніи на что намъ не мѣшаетъ взять новыя составляющія равными соответственнымъ составляющимъ силамъ x и y . Какъ силы ip и in равны и дѣйствуютъ по направленію прямой линіи на встрѣчу другъ другу, то очевидно, что взаимное дѣйствіе ихъ уничтожится и на точку i будутъ собственно дѣйствовать только силы io и im . По этому равнодѣйствующая двухъ параллельныхъ силъ, приложенныхъ къ точкамъ a и b , будетъ равна суммѣ силъ io и im и, что все одно и тоже, суммѣ обѣихъ параллельныхъ силъ p и q . Изъ этого слѣдуетъ, что если двѣ параллельныя силы дѣйствуютъ

по одному направлению: на двѣ нелинейно соединенныя между собою точки, то равнодѣйствующая дѣя будетъ равна суммѣ обѣихъ составляющихъ силъ и будетъ слѣдовать по одному параллельному направлению съ послѣдними. Намъ остается теперь опредѣлить точку, чрезъ которую направление равнодѣйствующей пересѣкаетъ линію, соединяющую неманящихся точки приложения силъ. Точка эта можетъ быть найдена посредствомъ слѣдующаго рассужденія.

Φκ1. 71.



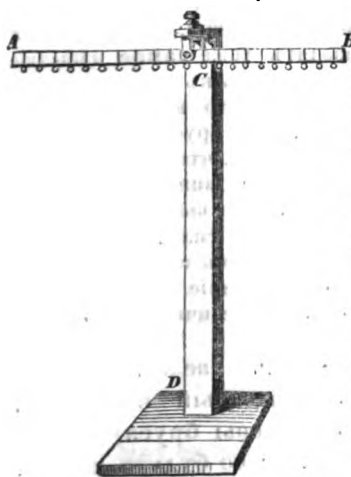
Понятно, что если силы будут равны, то равнодействующая раздѣлитъ разстояніе между ними пополамъ.

Если продолжить направления сил p и q из точки r , провести на них перпендикуляры rs и rt , то из подобия треугольников ars и rbt получим пропорцію $ra:rb=rs:rt$. Изъ выведеннаго выше слѣдуетъ, что $ra:rb=q:p$; поэтому $rs:rt=q:p$ или $p:q=rs:rt$.

Если опустить из другой точки, напр. v , равнодействующей перпендикуляры u_1 и u_2 на направления сил p и q , то на основании параллельности между последними и направлением равнодействующей и равенств $u_1 = u_2$, $u_1 = u_2$ получим $p \cdot u_1 = q \cdot u_2$, т. е. что и при параллельных силах действующих на две различные точки статические моменты сил, относительно каждой точки равнодействующей равны между собою.

Из сказанного следует, что деп. силы находятся в равновесии, в том случае, когда статические моменты их равны между собой.

Справедливость выведенного нами для параллельных сил может быть
 Фиг. 72. подтверждена посредством прибора, представ-



Ψm. 73.



ленного на фиг. 72-й. Вместе съ тѣмъ приборъ этотъ позволяетъ объяснить самый выводъ равенства моментовъ нагляднымъ образомъ. Приборъ представленный на фигурѣ, состоитъ изъ отвѣсной стойки *CD*, которая при помощи выступа, придѣланнаго къ верхней части ея, въ состояніи поддерживать остроконечную ось, лежащую по срединѣ призматическаго бруса *AB*. На передней сторонѣ бруса, вправо и влево отъ оси, проведено 10 равныхъ дѣлений и подъ каждымъ дѣленіемъ укрѣплены небольшія кольца для привѣшенія гирь, устроенныхъ такимъ образомъ, что можно ихъ привѣшивать одну подъ другой. Брусь устроенъ такимъ образомъ, что при состояніи равновѣсія сохраняетъ горизонтальное положеніе.

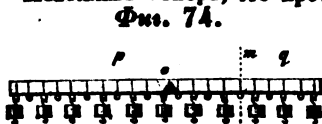
Если привесить два совершенно одинаковых гири к двум точкам равно удаленным от середины бруса (фиг. 73), то их можно разма-



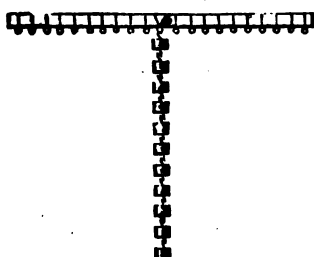
тривать, какъ двѣ
равныя парал-
лельныя силы,
примененныя къ

брусу. На основаніи выведеннаго нами выше, точна приложенія равнодѣйствующей этихъ силъ должна раздѣлять пополамъ линію, соединяющую точки приложенія силъ, т. е. должна проходить чрезъ средину бруса или чрезъ точку опоры его. Понятно, что въ такомъ случаѣ дѣйствіе равнодѣйствующей на брусъ будетъ уничтожаться сопротивленіемъ точки опоры и потому брусъ останется въ равновѣсіи точно также, какъ и до привѣшиванія къ нему гири. И въ самомъ дѣлѣ, если привѣсить двѣ гири одну подъ другою противу самой средины бруса, то равнодѣйствующая гирь, обременяющихъ точку опоры, будетъ точно также уничтожаться сопротивленіемъ послѣдней и брусъ сохранитъ, какъ и въ предшествовавшемъ случаѣ, горизонтальное положеніе.

Положимъ теперь, что противу средины бруса, гдѣ находится точка опоры, привѣшена одна гиря; присоединяя къ брусу по двѣ гири, каждую въ равномъ удаленіи отъ точки опоры, мы очевидно тѣмъ нисколько не нарушимъ равновѣсія бруса. На фиг. 74-й представленъ брусъ, обремененный 11-ю, развѣшенными такимъ образомъ гирями. Равнодѣйствующая каждой пары гири, равно удаленныхъ отъ точки опоры, будетъ уничтожаться сопротивленіемъ послѣдней. Сумма всѣхъ равнодѣйствующихъ, равная вѣсу 11-ти гири, будетъ дѣйствовать одна на точку *o* и потому брусъ будетъ находиться въ равновѣсіи точно также, какъ и въ томъ случаѣ, когда бы 11 гири, привѣшенныхъ другъ подъ другомъ, дѣйствовали непосредственно на точку опоры (фиг. 75).

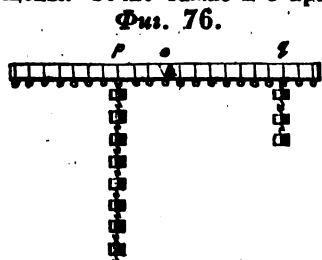


Фиг. 74.



Фиг. 75.

Положимъ теперь, что 11 гири привѣшенныхъ къ брусу, представленному на фиг. 74-й, раздѣлены линіею *mn* на двѣ группы, такъ, чтобы влѣво было 8, а вправо 3 гири. 8 лѣвыхъ гири, вслѣдствіе объясненнаго нами выше, могутъ быть перемѣщены въ точку, лежащую по срединѣ линіи, вдоль которой онѣ правильно развѣшены. Точно также и 3 правыя гири могутъ быть перемѣщены въ точку *q*.



Фиг. 76.

Понятно, что чрезъ подобное расположеніе гири (фиг. 76) брусъ *AB* не измѣнитъ своего состоянія равновѣсія, что дѣйствительно и бываетъ на самомъ дѣлѣ. Слѣдовательно 3 гири, привѣшенные къ точкѣ *q*, производятъ тоже самое дѣйствіе какъ и 8 гири, привѣшенныхъ къ точкѣ *p*. Если обратить вниманіе на то, что на протяженіи линіи *op* находится 3 дѣленія бруса, а на линіи *oq* 8 такихъ дѣленій, то ясно, что приведенный опытъ подтверждаетъ справедливость слѣдующаго заключенія, доказаннаго выше математическимъ путемъ: равнодѣйствующая двухъ параллельныхъ силъ, приложенныхъ къ двумъ неизмѣнно соединеннымъ точкамъ равна ихъ суммѣ, параллельна имъ и проходитъ чрезъ точку, раздѣляющую разстояніе между составляющими силами на двѣ части обратно пропорціональныя величинамъ составляющихъ силъ.

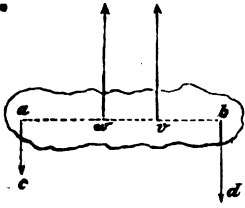
Статическіе моменты.

§ 50. Если во взятомъ выше примѣрѣ помножить величину каждой составляющей силы на перпендикуляръ опущенный изъ точки приложенія равнодѣйствующей (или изъ точки опоры бруса) на направленіе силы, то произведенія 8×3 и 3×8 очевидно будутъ равны. Эти произведенія изъ силъ на перпендикуляры, опущенные изъ точки опоры *o* на направленія силъ, называются, какъ мы уже говорили выше, статическими моментами силъ относительно точки *o*.

Скажемъ еще нѣсколько словъ объ значеніи статическихъ моментовъ. — Представимъ себѣ, что на двѣ неизмѣнно соединенныя

Значеніе статическихъ моментовъ.

Фиг. 77.

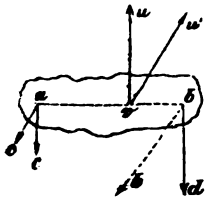


точки *a* и *b* (фиг. 77) дѣйствуютъ двѣ неравныя силы *ac* и *bd*. — Примѣняя къ этимъ силамъ правило равенства статическихъ моментовъ мы найдемъ, что равнодѣйствующая ихъ пройдетъ чрезъ такую точку *v*, при которой $vb \cdot bd = va \cdot ac$. Поэтому, если къ *v* приложить силу равную суммѣ силъ *ac* и *bd* и противоположную имъ, то произойдетъ равновѣсіе силъ, т. е. не будетъ ни поступательнаго, ни вращательнаго движенія. Если же силу равную суммѣ $ac + bd$ вмѣсто точки *v* приложить къ какой либо другой точкѣ *u*, то хотя и не произойдетъ поступательнаго движенія, потому что стремленіе къ движенію будетъ одинаковое съ обѣихъ сторонъ, но тѣмъ не менѣе не будетъ и равновѣсія, потому что точка *u* лежитъ по направленію равнодѣйствующей силы. Слѣдовательно около точки *u* произойдетъ вращательное движеніе и тѣмъ съ болѣею силою чѣмъ произведе- ніе $ub \cdot bd$ болѣе $ua \cdot ac$.

§ 51 Обратимъ теперь вниманіе на точку приложенія равнодѣйствующей силъ. — Положимъ, что сила *vi* равная равнодѣйствующей двухъ

Центръ параллельныхъ силъ.

Фиг. 78.

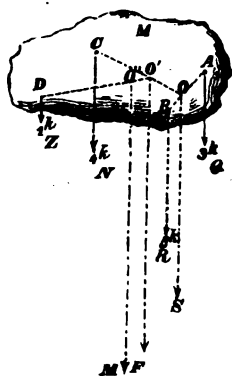


силъ *ac* и *bd* (фиг. 78) приложена къ точкѣ *v* притомъ условіи, когда $vb \cdot bd = va \cdot ac$ и направленіе силы *vi* противоположно направленію равнодѣйствующей. — Въ этомъ случаѣ очевидно не будетъ происходить ни вращательнаго, ни поступательнаго движенія. Если измѣнимъ теперь направленія силъ *bd* и *ac* такъ чтобы при новомъ положеніи онѣ были опять параллельны между собою, то для сохраненія равновѣсія необходимо, чтобы тоже самое измѣненіе произошло и въ направленіи равнодѣйствующей. Слѣдовательно если составляющія силы постоянно сохраняя параллельное положеніе между собою будутъ вращаться около своихъ точекъ приложенія, то и равнодѣйствующая ихъ будетъ производить тоже самое вращеніе около той же неизмѣнной точки приложенія своего *v*. — По этому опредѣливъ точку *v* и приложивъ къ ней силу равную составляющимъ нѣтъ никакой надобности обращать вниманіе на послѣднія. На этомъ основаніи при движеніи тѣла мы должны обращать вниманіе на движеніе той точки въ которой сосредоточена сумма параллельныхъ силъ дѣйствующихъ на тѣло. — Эта точка называется центромъ параллельныхъ силъ, —

§ 52. Мы можемъ найти равнодѣйствующую нѣсколькихъ параллельныхъ силъ, точно такъ и при силахъ дѣйствующихъ на одну точку (*V*). — Положимъ что на точки *A*, *B*, *C* и *D* тѣла *M* дѣйствуютъ че-

Сложеніе нѣсколькихъ параллельныхъ силъ.

Фиг. 79.



Разло-
женіе
парал-
лель-
ныхъ
силъ

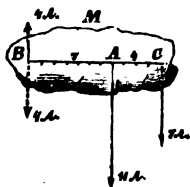
тыре параллельныя силы (фиг. 79). Для опредѣленія общей равнодѣйствующей стоитъ только найти сперва равнодѣйствующую двухъ параллельныхъ силъ приложенныхъ къ *A* и *B*, потомъ опредѣлить равнодѣйствующую между найденной силой *S* и одной изъ остальныхъ силъ и продолжать это до тѣхъ поръ пока не сведемъ всѣхъ данныхъ силъ въ одну равнодѣйствующую *F*.

§ 53. Точно также не трудно и разложить данную силу на двѣ другія параллельныя силы, если указаны величина и разстояніе одной изъ

составляющихъ силъ отъ точки приложенія разлагаемой силы. Вопросъ опредѣлится и въ томъ случаѣ, когда будутъ указаны разстоянія, въ которыхъ должны находиться искомыя силы отъ данной.

Если на тѣло *M* (фиг. 80) дѣйствуютъ двѣ параллельныя силы, обращенныя въ противныя стороны, одна 11 лотовъ, приложенная къ *A*, другая 4 лот.

Фиг. 80.



приложенная къ *B*, то мы найдемъ ихъ равнодѣйствующую слѣдующимъ образомъ. — Большую изъ силъ 11 л. мы можемъ представить себѣ разложенною на двѣ силы — одну въ 4 лота приложенную къ *B* и другую въ 7 л., приложенную къ точкѣ *C*, положеніе ко-

торой легко опредѣлить: для этого должно линію *AB* раздѣлить на 7 частей и на продолженіи этой линіи отложить 4 такія части. Въ этомъ случаѣ: $4 \text{ л.} \times 7 = 4 \times 7 \text{ л.}$ — Заменявъ такимъ образомъ силу въ 11 л. двумя составляющими силами мы будемъ имѣть въ точкѣ *B* двѣ равныя и противоположныя силы въ 4 л. Такъ какъ дѣйствіе этихъ двухъ силъ будетъ взаимно уничтожаться, то останется только одна сила въ 7 л., приложенная къ точкѣ *C*. Очевидно что послѣдняя сила и будетъ равнодѣйствующею двухъ данныхъ силъ.

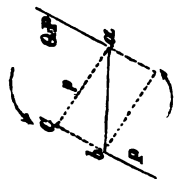
Слѣдовательно для полученія равнодѣйствующей двухъ параллельныхъ силъ направленныхъ въ противныя стороны должно вычесть одну силу изъ другой и провести эту равнодѣйствующую изъ соотвѣтственной точки приложенія по одному направленію съ болѣеюй силой. —

Пара
силъ.

§ 54. Если на тѣло дѣйствуютъ двѣ параллельныя и равныя силы по противоположнымъ направленіямъ, то на основаніи предъидущаго равнодѣйствующая ихъ будетъ равна нулю.

Значитъ между подобной системой силъ не можетъ существовать равновѣсія въ одинаковомъ смыслѣ какъ для неравныхъ параллельныхъ

Фиг. 81. , силъ.—Взаимнѣ этого равновѣсія равныя и противоположныя параллельныя силы приложенныя къ какому нибудь тѣлу будетъ производить вращеніе его (Фиг. 81) Одинъ изъ обыкновенныхъ примѣровъ подобнаго вращенія представляетъ намъ палка въ томъ случаѣ, когда за оба конца ея тянуть съ одинаковою силою въ противоположныя стороны.



Двѣ равныя параллельныя силы, направленныя въ противоположныя стороны называются *парою*.

Дѣйствіе силы на тѣло, движущееся по инерціи.

§ 55. Мы говорили о взаимномъ дѣйствіи силъ, производящихъ или равно- Различ- ные слу- чаи дѣй- ствія на тѣло, движу- щееся по инер- ціи. нѣ или равноускоренныя движенія, но очевидно, что сила можетъ дѣйствовать также на тѣло движущееся по инерціи, такъ напр. со- общивъ толчекъ тѣлу и заставивъ его чрезъ то двигаться равно- сь извѣстною скоростью, мы можемъ при началѣ или во время са- маго движенія подвергнуть его дѣйствию силы. При такомъ дѣйствіи силъ могутъ встрѣтиться два главные случая: *направленія силы мо- жутъ находиться на одной прямой линіи, или пересѣкаться съ на- правленіемъ, по которому совершается путь тѣла движущагося по инерціи.*

§ 56. Разсмотримъ сперва первой случай. Если линіи движенія совпа- Дѣй- ствіе силъ по линіи, совпа- дающей съ на- правле- ніемъ движе- нія дають съ направленіемъ дѣйствія силы, то нѣтъ никакой при- чины допустить, чтобы дѣйствіе силы могло уклонить тѣло отъ того *прямолинейнаго* пути, который сохраняется имъ по инерціи. Что же касается до скорости двигающагося тѣла, то она можетъ или уско- ряться, или замедляться, судя потому дѣйствуютъ ли сила въ одну сторону съ направленіемъ движенія или по противоположному направ- ленію.

Скорость, пріобрѣтенную при этомъ тѣломъ въ извѣстное время t , мы можемъ опредѣлить легко, зная скорость сохраняемую тѣломъ по инерціи и величину ускоренія, принимаемаго имъ въ каждую секунду отъ вліянія не- прерывной силы. Если a есть скорость равноѣрнаго движенія, а g величина ускоренія въ одну секунду, то очевидно, что по прошествіи извѣстнаго числа секундъ напр. t , скорость равноѣрнаго движенія останется неизмѣнною, а скорость движенія отъ дѣйствія непрерывной силы будетъ gt . Слѣдовательно общая скорость при дѣйствіи обѣихъ силъ въ одну сторону $a+gt$, а при дѣйствіи по противоположнымъ направленіямъ $a-gt$.

Часть I.

Точно также можно опредѣлить и пространства, пройденныя тѣломъ. Положимъ, что вслѣдствіе движенія по инерціи тѣло проходитъ пространство at (§ 31), а отъ непрерывной силы $-\frac{1}{2}gt^2$ (§ 35.) Величина же общаго пространства для обоихъ случаевъ выразится формулой $s = at \pm \frac{1}{2}gt^2$.

Дѣй-
ствіе си-
лы по
линіи
пересе-
кающей
направ-
леніе
движе-
нія.

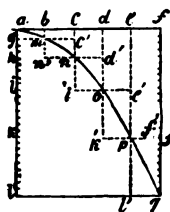
§ 57. Направленіе силы можетъ, какъ мы уже сказали, пересѣкаться съ направлениемъ движенія по инерціи. Но при этомъ бываютъ два главные случая: направленіе силы или могутъ оставаться во все продолженіе движенія *параллельными* первоначальному направленію, или *могутъ измѣняться* въ каждый моментъ движенія.

Парабо-
личес-
кое дви-
женіе.

§ 58. Разсмотримъ сперва первый случай, когда направленія силы остаются *параллельными во все время движенія*.

При этомъ условіи направленіе дѣйствія силы можетъ пересѣкаться съ направлениемъ движенія по инерціи или подъ прямымъ, или подъ произвольнымъ угломъ.

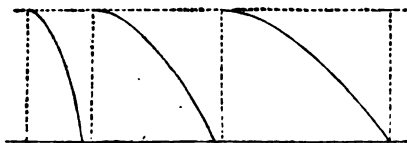
Положимъ, что тѣлу a (фиг. 82) сообщенъ толчекъ по направле-
Фиг. 82.



нію af перпендикулярному къ теченію рѣки, которое будетъ намъ представлять въ этомъ случаѣ рядъ силъ, дѣйствующихъ непрерывно по направленіямъ ихъ параллельнымъ къ линіи af . Если мы допустимъ, что вещество воды не оказываетъ на тѣло сопротивленія, то вслѣдствіе сообщеннаго толчка тѣло a будетъ стремиться двигаться равномерно т. е. въ равныя времена проходить равныя пространства ab, bc, cd, de и ef . При сдѣланномъ нами условіи тѣло проходило бы дѣйствительно эти разстоянія по линіи af , если бы въ то же самое время не дѣйствовала на него непрерывная сила, которая заставляетъ тѣло въ каждую послѣдующую частицу времени проходить постоянно увеличивающіяся пространства ag, gh, hi, ik и kl , величины которыхъ для каждой единицы времени мы можемъ легко вывести изъ общихъ законовъ непрерывнаго дѣйствія силы, если только будемъ знать величину дѣйствія силы въ единицу времени. При самомъ началѣ движенія, вслѣдствіе дѣйствія верженія, тѣло будетъ стремиться въ первую частицу времени пройти линію ab , но какъ въ то же самое время непрерывная сила заставляетъ его пройти извѣстный путь ag , то очевидно, что тѣло въ концѣ первой секунды будетъ находиться на оконечности діагонали am параллелограмма $abgm$, построеннаго на линіяхъ, изъ которыхъ одна ag выражаетъ направленіе и величину силы а другая ab направленіе движенія и величину скорости по инерціи. Достигнувъ точки m , во вторую частицу времени, тѣло будетъ стремиться прозвести два движенія: *одно равномерное*, вслѣдствіе дѣйствія верженія по линіи mc' параллельной и равной bc , выражающей величину скорости по инерціи и *другое равноускоренное* отъ непрерывнаго дѣйствія силы теченія, заставляющей тѣло въ то же время пройти путь mn' равный gh и отвѣсный къ mc' ; величину этого

пути mn' относительно ad легко опредѣлить по извѣстнымъ уже намъ законамъ равноускореннаго движенія. Слѣдовательно по окончаніи второй частицы времени тѣло будетъ находиться на оконечности діагонали mn , точно также какъ по окончаніи третьей секунды оно будетъ находиться на оконечности діагонали no , и т. д. По соединеніи всѣхъ этихъ различныхъ точекъ a, m, n, o, p, q , въ которыхъ будетъ находиться тѣло по прошествіи слѣдующихъ другъ за другомъ частицъ времени, мы получимъ ломаную линію $atporq$, выражающую цѣлый путь движенія тѣла a . Но если бы мы взяли за единицу безконечно малое время, то очевидно, что оконечности діагоналей находились бы тогда на безконечно маломъ разстояніи между собою, и мы бы могли принять безъ погрѣшности ломаную линію $atporq$, соединяющую эти точки за кривую. Кривая линія эта, происходящая отъ непрерывнаго рода параллельныхъ дѣйствій силы на тѣло, движущееся по инерціи, называется *параболой*. Форма этой линіи будетъ зависѣть отъ той начальной скорости, съ которою было брошено тѣло по направленію отвѣсному къ непрерывной силѣ.

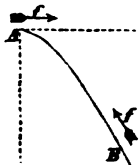
Фиг. 83, 84 и 85.



Фиг. 83, 84 и 85 представляютъ параболы, описанныя тѣлами, которыя были брошены со скоростями, относящимися между собою какъ числа 1, 2, и 3.

Положимъ, что AB (фиг. 86) представляетъ параболу опи-

санную тѣломъ, которое было брошено изъ точки A по



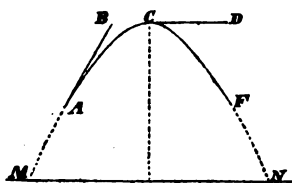
направленію стрѣлки перпендикулярно къ направленію непрерывнодѣйствующей силы. Если въ каждой точкѣ пути разлагать силу, приводящую тѣло въ движеніе, на двѣ составляющія, то найдемъ, что составляющая, дѣйствующая по направленію стрѣлки f , будетъ оставаться неизмѣнною и что только другая составляющая будетъ увеличиваться пропорціонально времени движенія, такъ что по достиженіи точки B тѣло будетъ имѣть скорость, состоящую изъ составленія скорости полученной при началѣ движенія и тѣхъ скоростей, которыя сообщалъ ему рядъ непрерывныхъ дѣйствій силы во все продолженіе движенія.

Положимъ, что тѣло изъ точки B было брошено, какъ показываетъ нижняя стрѣлка, въ противную сторону къ первоначальному его движенію со скоростію, пріобрѣтенною имъ по достиженіи этой точки. Разлагая по прежнему въ каждой точкѣ пути силу, двигающую тѣло, на двѣ составляющія—на дѣйствующую въ одну сторону съ непрерывной силой и на другую перпендикулярную къ ней, мы увидимъ въ этомъ случаѣ, что сила дѣйствующая непрерывно будетъ уменьшать послѣдовательно скорость, пріобрѣтенную тѣломъ вслѣдствіе верженія; точно также какъ она увеличивала скорость его при движеніи по направленію верхней стрѣлки. Что же касается до скорости сохраняемой тѣ-

ложь по инерціи вслѣдствіе верженія, то она будетъ оставаться неизмѣнною все продолженіе движенія. Это показываетъ намъ, что тѣло будетъ принимать послѣдовательно, но въ обратномъ порядкѣ скорости равныя и противоположныя тѣмъ, которыя оно имѣло въ предшествовавшемъ случаѣ. Значитъ, при восхожденіи своемъ тѣло будетъ идти по тому же самому пути, по которому оно нисходило т. е. опишетъ ту же параболу AB , восходя отъ B къ A . Достигнувъ точки A , тѣло будетъ обладать очевидно тою же скоростью, съ которою оно было брошено изъ этой же точки въ предшествовавшемъ случаѣ и будетъ стремиться двигаться съ этою скоростью по направленію перпендикулярному къ дѣйствию непрерывной силы.

Разсмотрѣніе обоихъ этихъ случаевъ даетъ намъ возможность опредѣлить движеніе тѣла брошеннаго не перпендикулярно, но *наклонно* къ дѣйствию непрерывной силы напр. по направленію AB (фиг. 87)

Фиг. 87.

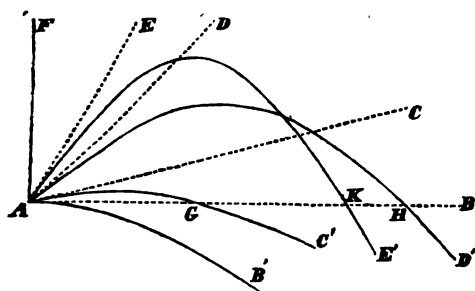


Тѣло это опишетъ сперва восходящую дугу AC параболы, потомъ достигнувъ точки C , гдѣ движеніе его будетъ направляться перпендикулярно къ дѣйствию силы, тѣло будетъ находиться при тѣхъ же условіяхъ какъ и въ томъ случаѣ, когда бы тѣло было брошено изъ этой точки по направленію CD т. е. оно пройдетъ новую дугу CF параболы. Обѣ дуги AC и CF имѣютъ симметрическое расположеніе относительно линіи, проведенной отъ точки поворота C параллельно къ дѣйствию непрерывной силы; путь ACF составляетъ только часть полной и безконечной параболы MCN . И въ самомъ дѣлѣ если мы допустимъ, что тѣло было брошено наклонно къ теченію воды, продолжающемуся на безконечно большое разстояніе, то понятно, что вторая часть параболы CF должна будетъ продолжаться какъ же на безконечно большое разстояніе.

Если же мы, ни при одномъ движеніи, совершающемся на землѣ, не можемъ получить полной и безконечной параболы, а получаемъ только часть или вѣтвь ея, то причиною тому служатъ препятствія прекращающія дѣйствія непрерывной силы. Въ выбранномъ нами примѣрѣ мы предположили, что частицы тѣла, въ которомъ происходитъ движеніе, не оказываютъ никакого вліянія надвигающееся тѣло. Но на самомъ дѣлѣ мы встрѣчаемъ противное и потому кривая линія, означающая путь движенія, всегда получается въ измѣненномъ видѣ

Фигура параболы, описываемой тѣломъ, брошеннымъ перпендикулярно къ дѣйствию непрерывной силы, зависитъ какъ отъ скорости, такъ и отъ направленія движенія сообщеннаго тѣлу верженіемъ. Если при одной скорости измѣнится только направленіе т. е. если

Фиг. 88.



положимъ, что тѣло бы брошено одной и той же силой послѣдовательно по направленіямъ AB, AC, AD, AE (фиг. 88), то оно опишетъ различныя параболы AB', AC', AD', AE' первая изъ этихъ параболъ начнетъ свое искривленіе непосредственно подъ линією AB , перпендикулярною къ направленію непрерывнаго дѣйствія силы AF , между

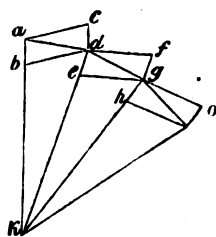
тѣмъ какъ другія параболы, послѣ большаго или меньшаго поднятія надъ линією AB встрѣчаютъ ее снова въ точкахъ G, H, K , удаленныхъ на различныя разстоянія отъ точки A . Каждое изъ разстояній AG, AH, AK называются *амплитудой* соответственной дуги. Амплитуда эта измѣняется съ измѣненіемъ начальной скорости сообщенной двигающемуся тѣлу. Болѣе точное изслѣдованіе этого вопроса показываетъ, что если направленіе начальной скорости дѣлаетъ небольшой уголъ ABC (фиг. 88) съ линією AB , то мы получимъ малую амплитуду, но по мѣрѣ восхожденія этого направленія отъ AE къ AF амплитуда будетъ увеличиваться до тѣхъ поръ, пока направленіе начальной скорости не будетъ составлять съ линією AB уголъ DAB въ 45° ; при дальнѣйшемъ же приближеніи направленія начальной скорости къ линіи AF амплитуды дугъ начнутъ уменьшаться и наконецъ сдѣлаются равными нулю въ томъ случаѣ, когда направленіе сообщенное верженіемъ пойдетъ по линіи AF т. е. противоположно дѣйствію непрерывной силы. Слѣдовательно, чтобы при равной скорости доставляемой верженіемъ амплитуда дуги достигла наибольшей величины, необходимо бросить тѣло подъ угломъ въ 45° къ направленію непрерывной силы. Сверхъ того нетрудно замѣтить при ближайшемъ изслѣдованіи, что наибольшая AH амплитуда равна половинѣ линіи AF , до которой бы достигло тѣло брошенное съ тою же скоростію по направленію противоположному дѣйствію непрерывной силы.

Въ разсмотрѣнномъ нами движеніи направленія, по которымъ сила въ каждый моментъ времени дѣйствовала на тѣло, движущееся по инерціи, были постоянно *параллельны* другъ другу и перпендикулярны къ направленіямъ движенія сохраняемаго по инерціи; измѣнялось только одно отношеніе между скоростію движенія по инерціи и скоростію доставляемою дѣйствіемъ силы, напряженіе которой въ каждую послѣдующую частицу времени постепенно увеличивалось или уменьшалось, смотря потому происходило ли движеніе по инерціи въ одномъ или въ противоположномъ направленіи съ дѣйствіемъ непрерывной силы.

Цент-
ральное
движе-
ніе.

§ 59. Но кромѣ измѣненія скоростей, происходящаго вслѣдствіе непрерывнаго дѣйствія силы послѣдняя можетъ также измѣнять свое направление относительно первоначальнаго дѣйствія, переставая сохранять для каждой частицы времени параллельность своего направления.

Положимъ напр., что на тѣло *a* (фиг. 89) двигающееся равномерно по линіи *ac*, при самомъ началѣ движенія по инерціи дѣйствуетъ



Фиг. 89. непрерывная сила, направленіе которой *ак*, перпендикулярно къ линіи *ас*. Если въ продолженіи первой секунды тѣло должно пройти вслѣдствіе инерціи путь *ас*, а вслѣдствіе дѣйствія силы путь *аб*, то очевидно что по окончаніи этой секунды оно будетъ находиться на оконечности діагонали *ад* параллелограмма построеннаго на этихъ линіяхъ. Если бы въ слѣдующую секунду сила не измѣняла своего дѣйствія, то тѣло, повинувся только одному закону инерціи, продолжало бы двигаться по продолженію линіи *ад* и прошло бы путь *df* равный этой линіи. Положимъ теперь, что по принятіи тѣломъ направленія *df* при самомъ началѣ второй секунды непрерывная сила, дѣйствовавшая по линіи *аб*, измѣнила свое направленіе и начала дѣйствовать по линіи *dk* перпендикулярно къ *df*. Если при этомъ напряженіе непрерывной силы остается по прежнему неизмѣннымъ т. е. ($ed=ab$) то на основаніи предыдущаго легко доказать, что по прошествіи второй секунды тѣло будетъ находиться на оконечности діагонали *dg* параллелограмма, построеннаго на линіяхъ *df* и *ed*, изъ которыхъ первая выражаетъ скорость движенія по инерціи, а вторая скорость сообщенною силой. Если послѣ того сила *dk* при началѣ третьей секунды измѣнитъ снова направленіе своего дѣйствія и начнетъ дѣйствовать по направленію *gk* перпендикулярному къ *go* т. е. къ той линіи, по которой тѣло побуждается двигаться вслѣдствіе инерціи, то по окончаніи третьей секунды тѣло будетъ находиться на оконечности діагонали параллелограмма построеннаго на линіяхъ *go* и *gh*, выражающихъ какъ величины скорости такъ и направленія движенія тѣла въ томъ случаѣ, когда бы тѣло покорялось отдѣльно закону инерціи и дѣйствію силы.—Если подобное измѣненіе направленій между движеніемъ по инерціи и дѣйствіемъ силы на тѣло будетъ продолжаться въ каждую секунду, то при дальнѣйшемъ слѣдованіи своимъ тѣло будетъ описывать рядъ діагоналей до тѣхъ поръ пока не прекратится дѣйствіе силы. Мы принимали при этомъ что сила измѣняетъ свое направленіе въ каждую секунду, но если измѣненіе направленій ея совершается по прошествіи *безконечно малыхъ частицъ времени*, какъ это дѣйствительно должно происходить при непрерывномъ дѣйствіи силы *a*, то линіи *ад*, *dg* и др. при безконечно малой величинѣ своей будутъ составлять между собою весьма тупые углы. Очевидно, что при этихъ условіяхъ непрерывное слѣдованіе ихъ мы можемъ безъ погрѣшности принять за общую кривую линію, всѣ точки которой находится въ одной плоскости,

означенной направленіемъ движенія по инерціи и направленіемъ силы, дѣйствовавшей на тѣло.

Если путь, совершаемый тѣломъ, составляетъ замкнутую кривую линію, то движеніе тѣла называется *центральныймъ*. Точка, изъ которой дѣйствуетъ на тѣло непрерывная сила, измѣняющая постоянно свое направленіе, именуется *центромъ движенія*. Линія, проведенная отъ центра къ произвольной точкѣ пути движущагося тѣла, называется *радіусомъ векторомъ*. Непрерывная сила, дѣйствующая по направлению радіуса вектора называется *центростремительной силой*.

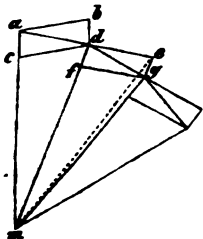
Центро-
стреми-
тельная
сила.

§ 60. Представимъ себѣ, что линія, названная нами радіусомъ векторомъ, слѣдуетъ за тѣломъ, совершающимъ центральное движеніе, подобно нити, которая связываетъ тѣло съ центромъ движенія и можетъ въ тоже самое время удлинняться и укорачиваться по мѣрѣ измѣненія разстоянія между тѣломъ и центромъ движенія. Очевидно, что радіусъ векторъ будетъ *описывать* въ этомъ случаѣ *площадь*, покрываемую имъ во время слѣдованія за движущимся тѣломъ.

Закономъ
сохраненія
площадей.

При каждомъ центральномъ движеніи площади, описанныя радіусомъ векторомъ, относятся между собою какъ времена, употребленныя тѣломъ на прохожденіе соответственныхъ имъ частей пути.

Фиг. 90.



предыдущаго параграфа мы знаемъ, что ad (фиг. 90) равно de ; проведемъ изъ точки e линію et получимъ треугольникъ tde площадь котораго равна площади треугольника adm , потому что оба эти треугольника имѣютъ равныя высоты и основанія. Но площадь треугольника tde равна также площади треугольника gdm , потому что треугольники эти лежатъ между двумя параллельными линіями на одномъ и томъ же основаніи dm . Слѣдовательно площадь треугольника

adm и dgm также равны между собою. Точно также можно доказать и равенство площадей слѣдующихъ треугольниковъ и т. д. или, говоря другими словами, что всѣ *площади* треугольниковъ, описанныя въ равныя и безконечно малыя частицы времени *радіусами векторами* равны между собою.

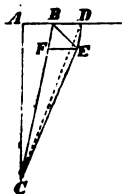
Но такъ какъ и большія площади, заключающіяся между двумя радіусами векторами и дугою движенія, содержатъ въ себѣ столько равныхъ частей поверхности, сколько было употреблено тѣломъ частей времени на описаніе дугъ, то очевидно, что и эти большія площади должны относиться между собою какъ времена, употребленныя на описаніе соответственныхъ имъ дугъ.

Это показываетъ намъ, что *равномерность центрального движенія* заключается не въ равенствѣ путей, но въ равенствѣ площадей, описываемыхъ соответственными *радіусами векторами*. Это основное свойство центрального движенія называется *закономъ сохраненія площадей*.

Выведенный нами законъ имѣетъ весьма важное значеніе при опредѣленіи самаго рода движенія. Такъ напр. если предоставленное са-

тому себѣ тѣло производить такое движеніе, что линія, проведенная къ тѣлу отъ одной какой нибудь точки, описываетъ площади пропорціональныя временамъ, то очевидно, что тѣло описываетъ центральное движеніе и что должна быть *непрерывная сила*, которая постоянно притягиваетъ тѣло къ *центральной точкѣ* по направленію соотвѣтственныхъ радіусовъ векторовъ.

Положимъ, что AB (фиг. 91) представляетъ часть пути, описываемую тѣломъ въ безконечно малую частицу времени. — Если бы



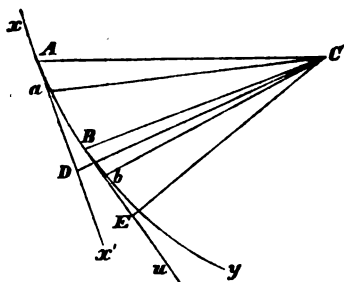
на тѣло не дѣйствовала посторонняя сила, то по достиженіи точки B оно описало бы въ слѣдующую безконечно малую частицу времени на продолженіи линіи AB равную ей часть BD . — Но если на тѣло дѣйствуетъ притягательная сила, то въ слѣдующую частицу времени оно должно двинуться къ какой нибудь другой точкѣ E . — Когда BF представляетъ напряженіе этой притягательной силы, дѣйствующей на тѣло во время нахождения его въ точкѣ B , то можно принять, что въ продолженіи безконечно малой частицы времени направленіе это остается параллельнымъ самому себѣ. Но если C представляетъ постоянную точку, вокругъ которой радіусъ векторъ CB описываетъ площади пропорціональныя временамъ, то треугольники ABC и BCE , пройденные въ двѣ равныя частицы времени, должны быть равны между собою, точно также какъ и треугольники ABC и BCD , имѣющіе равныя основанія AB и BD и общую вершину въ точкѣ C . — По этому и треугольники BCD и BCE также равны. Такъ какъ послѣдніе треугольники имѣютъ общее основаніе CB , то очевидно, что прямая DE , соединяющая вершины ихъ, должна быть параллельна основанію. Изъ этого слѣдуетъ, что линія BF параллельная къ DE , должна совпадать съ линіей BC . — Слѣдовательно въ каждой точкѣ B пути направленіе BF притягательной силы должно совпадать съ направленіемъ соотвѣтственнаго радіуса вектора.

Законы
скорости.

§ 61. Посмотримъ теперь въ какомъ отношеніи находятся между собою скорости тѣла въ различныхъ точкахъ пути описываемаго имъ при центральномъ движеніи.

Выводъ этого отношенія не можетъ быть сдѣланъ безъ помощи небольшого вычисленія, которое мы приводимъ здѣсь для знакомыхъ съ математикою.

Положимъ, что движущееся по инерціи тѣло вслѣдствіе дѣйствія силы описываетъ криволинейный путь xy (фиг. 92) и допустимъ, что въ безконечно малую частицу времени t оно проходитъ двѣ дуги Aa и Bb одну со скоростью c , и другую со скоростью c' . — Такъ какъ движенія эти по сдѣланному нами предположенію совершаются въ безконечно малое время, то мы можемъ допустить, что на каждой изъ выбранныхъ дугъ происходитъ равномерное движеніе. На этомъ основаніи будемъ имѣть $Aa = ct$ и $Bb = c't$ (§ 3), откуда $Aa : Bb = c : c'$. Если центръ движенія C соединить съ точками A, a, B и b , то получимъ треугольники ACa и BCb , площади которыхъ



будутъ пройдены радіусами векторами въ равныя времена. Очевидно, что при этомъ условіи треугольники ACa и BCb должны быть равны между собою. — Опустимъ изъ центра движенія C перпендикуляры CD и CE на касательныя Ax' и Bx . — Площадь каждого изъ треугольниковъ ACa и BCb будетъ, на осно-

ваніи извѣстнаго геометрическаго правила, равна половинѣ высоты помноженной на основаніе т. е. $ACa = Aa \frac{1}{2} CD$ и $BCb = Bb \frac{1}{2} CE$, а какъ $ACa = BCb$, то $Aa \frac{1}{2} CD = Bb \frac{1}{2} CE$ или $Aa : Bb :: CE : CD$. Если сравнить послѣднюю пропорцію съ выведенною нами выше $Aa : Bb :: c : c'$, то получимъ $c : c' :: CE : CD$.

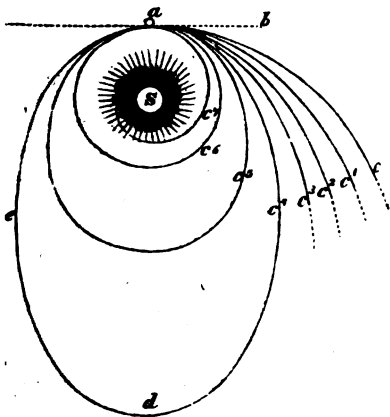
Приведенное нами вычисленіе показываетъ, что скорости тѣла въ различныхъ точкахъ пути, совершаемаго имъ при центральномъ движеніи, находятся въ обратномъ отношеніи къ перпендикулярамъ опущеннымъ изъ центра движенія на касательныя, проведенныя къ этимъ точкамъ.

§ 62. Зная законы центральнаго движенія, перейдемъ теперь къ объясненію различія вида кривыхъ линій, описываемыхъ вслѣдствіе дѣйствія силы на тѣла движущіяся по инерціи.

Виды кривыхъ линій.

Положимъ, что тѣло *a* (фиг. 93)

Фиг. 93.



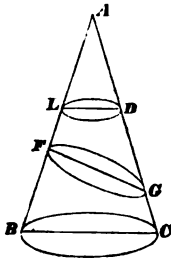
въ извѣстный моментъ получило толчекъ по направленію *ab* и что въ тоже самое мгновеніе на него начинаетъ дѣйствовать непрерывная сила *Sa* изъ точки *S*. Если скорость, сообщаемая толчкомъ, гораздо сильнѣе скорости, сообщенной непрерывной силой, то произойдетъ только незначительное искривленіе пути; тѣло получитъ направленіе *c* и при дальнѣйшемъ движеніи своемъ въ пространствѣ будетъ постоянно удаляться отъ точки *S* и никогда не возвратится къ *a*. Чѣмъ менѣе будетъ скорость сообщенная толчкомъ относительно скорости доставляемой непрерывной силой, тѣмъ болѣе будетъ искривляться путь тѣла, которое при постоянномъ уменьшеніи силы верженія пойдетъ по линіямъ *c1, c2, c3*. Наконецъ, при дальнѣйшемъ ослабленіи скорости доставляемой толчкомъ, скорость сообщаемая непрерывной силой можетъ получить перевѣсъ, такъ что тѣло не въ состояніи будетъ уже освободиться отъ вліянія послѣдней

скорости, которая заставитъ тѣло описать замкнутый путь *c4*. При переходѣ отъ несмыкающихся линій къ замкнутой послѣдняя бываетъ весьма растянута, но растянутасть ея постепенно уменьшается по мѣрѣ уменьшенія скорости доставляемой толчкомъ, такъ что наконецъ движеніе тѣла будетъ совершаться по кругу *c4*. При дальнѣйшемъ уменьшеніи скорости, доставляемой толчкомъ, тѣло можетъ притти въ положеніе *c7*, и будетъ постепенно приближаться къ *S* по спирали до тѣхъ поръ пока наконецъ не достигнетъ до точки, изъ которой дѣйствуетъ непрерывная сила.

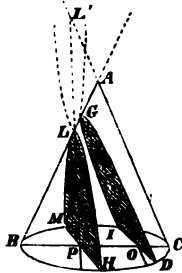
Ближайшее изслѣдованіе отношеній между скоростями доставляемыми вержущей и центробежной силой показываетъ, что болѣе части этихъ отношеній соотвѣтствуютъ особеннаго вида кривыя линіи, получаемыя отъ сѣченія конуса.

Коническія сѣченія происходятъ отъ разрѣза конуса плоскостями по различнымъ направленіямъ.—На фиг. 94 представленъ конусъ ABC , у котораго A есть вершина, а BC круговое основаніе.—Если разрѣзать конусъ плоскостію параллельною основанію, то въ сѣченіи получится *кругъ* LD . Если разрѣзать конусъ въ наклонномъ направленіи FG такимъ образомъ, чтобы разрѣзъ проходилъ чрезъ обѣ стороны конуса книзу отъ вершины, то въ сѣченіи получится *эллипсъ*. Разрѣзъ по направленію GD , (ф. 95) параллельному одной изъ сторонъ конуса даетъ въ сѣченіи *параболу* DGJ , продолженная плоскость которой очевидно никогда не встрѣтится съ параллельной къ ней стороной. —

Фиг. 94.



Фиг. 95.

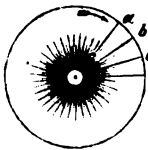


Наконецъ если мы сдѣлаемъ въ наклонномъ положеніи къ обѣимъ сторонамъ разрѣзъ LP , который на продолженіи своемъ за L встрѣчаетъ другой конусъ построенный на продолженіи боковъ AB и AC и обращенный основаніемъ кверху, то сѣченіе произведенное этимъ наклоннымъ разрѣзомъ LP , даетъ кривую линію, состоящую изъ двухъ частей и называемую *имперболою*.

Разсмотримъ сперва движеніе по кругу.

Дѣйствіе по кругу.

§ 63. Если тѣло двигается по *кругу* (фиг. 96), въ центрѣ котораго находится дѣйствующая на него сила, то очевидно что отвѣсныя линіи между центромъ и касательными проведенными ко всѣмъ точкамъ пути выразятся радіусами круга. — Такъ какъ отвѣсныя линіи между касательными и центромъ движенія обратно пропорціональны скоростямъ движенія (§ 61) и какъ въ настоящемъ случаѣ, разстоянія эти, выражаемыя радіусами круга, равны между собою, то очевидно и скорость тѣла, двигающагося по кругу, должна быть равномерна во всѣхъ точкахъ пути. — А это возможно только въ томъ случаѣ, когда въ каждой точкѣ пути между обѣими скоростями обуславливающими криволинейное движеніе, будетъ существовать тоже отношеніе какъ и въ началѣ движенія. При этомъ условіи пространства проходимыя радіусами векторами въ равныя времена, очевидно будутъ равны между собою. —



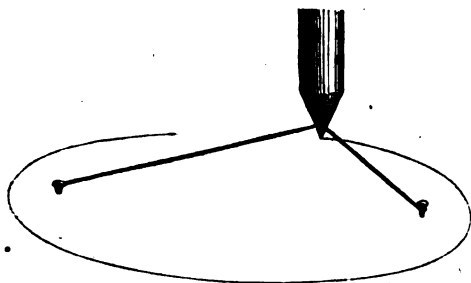
Изъ сдѣланнаго нами разсмотрѣнія круговаго движенія слѣдуетъ, что главнѣйшее условіе его заключается въ сохраненіи постоянно равнаго отношенія между скоростью по инерціи и скоростью доставляемою силой во все продолженіе движенія, потому что въ этомъ только случаѣ всѣ радіусы векторы могутъ быть перпендикулярны къ слѣду движенія. —

Дѣйствіе по эллипсу.

§ 64. Съ нарушеніемъ этого условія линія, описываемая движущимся тѣломъ, перестаетъ быть кругомъ и образуетъ различные виды, описанныхъ нами коническихъ сѣченій. Изъ этихъ линій мы разсмотримъ только *эллипсъ*, какъ линію представляющую наибольшую важность для насъ, потому что по этой линіи происходитъ движеніе земли и другихъ планетъ вокругъ солнца. — Прежде объясненія движенія тѣла по *эллипсу* мы считаемъ не лишнимъ дать краткое понятіе какъ о происхожденіи этой линіи, такъ и о главнѣйшихъ элементахъ ея. —

На произвольной плоскости напиримѣръ на листѣ бумагѣ укрѣпляютъ два

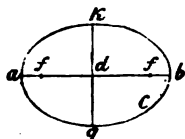
Фиг. 97.



небольшіе гвоздика (фиг. 97), къ которымъ прикрѣплены концы нитки, имѣющей большую длину противу разстоянія между ними. Потомъ прикладываютъ къ ниткѣ противу середины ея карандашъ и ведутъ въ одну сторону по бумагѣ заостренными концами его. При постоянномъ натягиваніи нити карандашъ описываетъ путь, направленіе котораго обусловливается различнымъ положеніемъ нити во время движенія карандаша. Вслѣдствіе такого движенія полу-

чается замкнутая кривая линія, называемая *эллипсомъ*. При самомъ черченіи этой линіи нетрудно замѣтить, что если нить будетъ находиться въ направленіи проходящемъ чрезъ постоянныя точки, обозначаемыя гвоздями, то части нити отъ гвоздей до карандаша будутъ состоять изъ разстоянія между гвоздями и удвоеннаго разстоянія между карандашемъ и ближайшимъ къ нему гвоздемъ. Такъ какъ это удвоеніе частей нити повторяется въ обѣ стороны отъ обоихъ

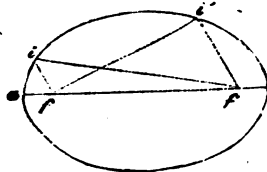
Фиг. 98.



гвоздей, то ясно, что разстояніе между точками кривой по линіи направленія гвоздей должно равняться длинѣ нити. Разстояніе это представленное на фиг. 98 линією ab , называется *большою осью*, а постоянныя точки f и f' — *фокусами эллипса*. Середина линіи ab называется центромъ эллипса, а линія kg , проведенная отъ центра отвѣсно къ ab до пересѣченія съ эллипсомъ, именуется *малою осью* его.

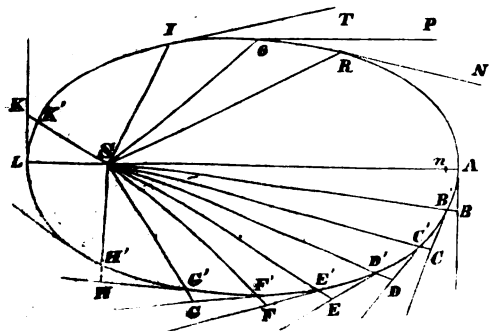
Если отъ фокусовъ провести къ одной какой либо точкѣ эллипса двѣ линіи напр. fv и $f'v$ или ft и $f't$; (фиг. 99), представляющія части нити въ то время, когда карандашъ находится въ точкахъ t и t' , то обѣ послѣднія линіи, взятые вмѣстѣ, какъ мы уже сказали, должны быть равны большою осью. Двѣ такіа линіи, такъ сказать дополняющія другъ друга, называются *радіусами векторами* и число ихъ въ эллипсѣ очевидно можетъ быть бесконечно велико. Разстояніе каждаго фокуса отъ центра эллипса называется *эксцентриситетомъ* его. Понятно, что чѣмъ менѣе эксцентриситетъ, тѣмъ болѣе эллипсъ долженъ подходить къ кругу.

Фиг. 99.



Положимъ, что тѣло А (фиг. 100) по прекращеніи дѣйствія верженія получило

Фиг. 100.



стремленіе двигаться по направленію AB перпендикулярному къ линіи AS , по которой дѣйствуетъ на него изъ точки S центробежная сила при самомъ началѣ движенія по инерціи.—Если линія AB выражаетъ скорость сообщенную верженіемъ въ единицу времени, а AS скорость доставляемую центробежной силой и если при томъ AS болѣе SB — SA то точка B' , до которой достигнетъ тѣло по окончаніи единицы времени будетъ лежать ближе къ S нежели точка A .—Во вторую единицу времени тѣло направилось бы по

касательной BC , если бы не дѣйствовала на него сила, которая заставляет его уклониться къ точкѣ C' . Такъ какъ сдѣланное нами въ началѣ предположеніе на счетъ отношенія между скоростями доставляемыми вержущей и центростремительной силой, остается неизмѣннымъ и при дальнѣйшемъ продолженіи движенія, то очевидно, что точка C' будетъ лежать къ S ближе нежели точка B' , а слѣдовательно и линія CC' будетъ болѣе линіи BB' . Точно также D' будетъ лежать ближе къ S' нежели C' и линія DD' будетъ опять болѣе противу CC' и т. д. Близайшее изслѣдованіе этого движенія показываетъ, что при увеличеніи дѣйствія центростремительной силы линія $B'C$ должна быть болѣе AB и линія $C'D$ болѣе $B'C$. — А какъ въ настоящемъ случаѣ при постоянномъ измѣненіи разстоянія между тѣломъ и центромъ движенія линія, по которой движется тѣло, не круговая, то очевидно, что касательныя проведенныя къ различнымъ точкамъ ея, не могутъ быть перпендикулярны къ направленію радіусовъ векторовъ. Углы BCC' и $C'DD'$..., лежащіе противу дугъ $B'C'$, $C'D'$, въ настоящемъ случаѣ будутъ тупые.

Изъ геометріи же извѣстно, что противу тупаго угла въ треугольникѣ всегда лежитъ наибольшая сторона. Слѣдовательно, принимая эти треугольники за прямолинейные, получимъ, что дуги какъ лежащіе противъ тупыхъ угловъ будутъ болѣе соответственныхъ имъ касательныхъ.

Очевидно, что при этомъ условіи для описанія въ одинаковое время этихъ постепенно увеличивающихся дугъ тѣло должно двигаться съ *постепенно возрастающею скоростью*, въ чемъ можно убѣдиться также изъ постепеннаго уменьшенія перпендикуляровъ, проведенныхъ отъ точки S къ направленіямъ движенія. (§ 61).—Увеличеніе общей скорости движенія будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока уголъ образуемый касательными съ радіусами векторами будетъ тупой. Но при этомъ слѣдуетъ ожидать, что отъ постоянного увеличенія скоростей тѣло должно наконецъ притти въ такое положеніе, при которомъ обѣ скорости будутъ находиться въ равновѣсіи. Дѣйствительно вблизи какой нибудь точки напр. H скорости $G'H$ и HN' должны находиться въ такомъ отношеніи между собою, что еслибы направленіе касательной было отвѣсно къ радіусу вектору, то, начиная съ этого мѣста, движеніе тѣла превратилось бы въ круговое. Но косвенное направленіе движенія къ направленію дѣйствія непрерывной силы служить причиною, что уменьшеніе разстояній отъ F , а слѣдовательно и увеличеніе общей скорости движенія еще не достигаетъ здѣсь своего предѣла. Обнаруживаемый же тутъ перевѣсъ скорости по направленію касательной служитъ только для скорѣйшаго приведенія косвеннаго направленія движенія въ отвѣсное къ радіусу вектору. Условіе это достигается по вступленіи тѣла въ точку L , лежащую на прямой линіи съ точками S и A .

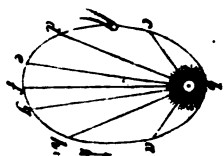
Но по достиженіи этой точки скорость пріобрѣтаемая по касательной, получаетъ надъ скоростью доставляемой центростремительной силой значительный перевѣсъ вслѣдствіе котораго тѣло начинаетъ удаляться отъ центра движенія. При дальнѣйшемъ движеніи отъ L къ A касательныя уже острѣе углы съ радіусами векторами. Самые же дуги, описываемыя въ этомъ случаѣ тѣломъ въ равныя времена, будутъ образовывать уже менѣе соответственныхъ имъ касательныхъ. Однимъ словомъ движеніе тѣла будетъ замедляться точно также какъ оно ускорялось на пути отъ точки A къ L .

Пройденный такимъ образомъ путь будетъ представлять около линіи AL сомкнутую кривую линію, которая какъ показываетъ строгое вычисленіе, есть эллипсъ.

Изъ сдѣланнаго нами разсмотрѣнія движенія по эллипсу очевидно, что наибольшую скоростью тѣло будетъ обладать въ точкѣ L ближайшей къ центру движенія, а наименьшую скоростью въ точкѣ A , наиболѣе удаленной отъ центра движенія. Первая изъ этихъ точекъ называется *апогеемъ*, а вторая—*перигеемъ*. Между же этими точками въ одной половинѣ эллипса движеніе будетъ постепенно ускоряемое а въ другой постепенно укосняемое; среднюю скорость тѣло будетъ имѣть на срединѣ пути между перигеемъ и апогеемъ на обѣихъ оконечностяхъ малой оси.

Но и въ этомъ случаѣ законъ сохраненія площадей остается неизмѣннымъ.

Фиг. 101.



Площади, проходимыя радіусами векторами во времена употребляемыя тѣломъ на прохожденіе соотвѣтственныхъ дугъ, будутъ равны между собою. — Это значитъ, что тѣло во время движенія своего будетъ описывать въ равныя времена дуга mc , ed , de , ef , fg , gh , ha , и abc , (фиг. 101), которыя по соединеніи своимъ съ центромъ движенія раздѣляютъ площадь эллипса на равныя части. При этомъ только условіи дуга abc можетъ быть описана тѣломъ въ одно и тоже время съ дугами ef и fg .

§ 65. Время, употребленное тѣломъ на прохожденіе своего пути центральнымъ движеніемъ, называется *временемъ обращенія*. — Время это очевидно должно быть тѣмъ короче, чѣмъ болѣе скорость двигающагося тѣла, а при одной скорости тѣмъ продолжительнѣе, чѣмъ значительнѣе самый путь. Поэтому времена обращенія различныхъ тѣлъ, совершающихъ центральное движеніе, содержатся между собою какъ прямыя отношенія величинъ путей и обратныя отношенія скоростей.

Отношенія между временами обращеній.

Цѣлое время обращенія тѣла относится ко времени, употребляемому имъ на прохожденіе извѣстной дуги, какъ площадь цѣлаго движенія къ площади углового пространства, образуемаго линіями проведенными отъ центра движенія къ оконечностямъ сравниваемой дуги. — Величина этого углового пространства называется *угловою скоростью*.

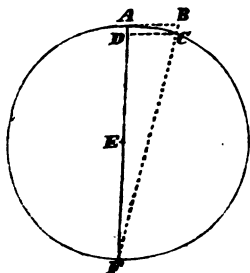
Для легчайшаго и удобнѣйшаго изслѣдованія каждаго замкнутого центрального движенія переводятъ его въ такое круговое движеніе, которое совершается въ одно съ нимъ время, все различіе между сравненными такимъ образомъ движеніями будетъ заключаться очевидно только въ томъ, что при послѣднемъ движеніи тѣло будетъ имѣть равномерную скорость, которая равна средней скорости между наибольшою и наименьшею скоростями дѣйствительнаго движенія. —

Для путей центрального движенія, переведенныхъ въ круги, времена обращенія будутъ находиться въ прямомъ отношеніи среднихъ разстояній и въ обратномъ отношеніи скоростей. Слѣдовательно скорости должны быть прямо пропорціональны временамъ обращенія.

§ 66. Такъ какъ всякое центральное движеніе можетъ быть переведено въ круговое, то мы и опредѣлимъ величину центробѣжной силы при круговомъ движеніи. Представимъ себѣ, что тѣло, совершающее круговое движеніе, проходитъ въ равныя времена одинаковыя дуги.

Величина центробѣжной силы.

Фиг. 102.



Если бы въ одной изъ точекъ пути напимѣръ въ A (фиг. 102) тѣло подчинилось бы только одному дѣйствію центробѣжной силы, то очевидно, что послѣдняя заставила бы его двигаться къ центру движенія. При этомъ условіи тѣло во время равное описанію дуги AB прошло бы линію AD , выражающую разстояніе между дугою AC и перпендикуляромъ опущенномъ изъ точки C на радіусъ AE . — Величину этой линіи, опредѣляющей напряженіе центробѣжной силы, мы можемъ легко найти, принявъ дугу AC за прямую линію, что конечно можно сдѣлать безъ значительной погрѣшности въ томъ случаѣ, когда выбранная нами

дуга будетъ представлять собою безконечно малую часть круга. Въ прямоугольномъ треугольникѣ ACF линія DC представляетъ перпендикуляръ опущенный на гипотенузу съ вершины прямого угла. На основаніи извѣстнаго геометрическаго предложенія DC будетъ средняя пропорціональная между AD и AF ; слѣдовательно $DC^2 = AD \times AF$ откуда AD или величина центробѣжной силы въ извѣстную единицу времени равна $\frac{DC^2}{AF}$. — Такъ какъ линія AF равна двумъ радіусамъ ($2r$), то мы можемъ вывести заключеніе, что величина

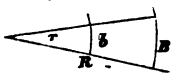
центростремительной силы въ известную единицу времени равна квадрату пройденной дуги, раздѣленному на удвоенное разстояніе дуги отъ центра движенія.

Различ-
ныя от-
ношенія
между
центростре-
мительны-
ми сила-
ми.

§ 67. Положимъ, что два тѣла совершаютъ съ одинаковою скоростію обращеніе

по различнымъ круговымъ путямъ, изъ которыхъ разстояніе одного пути отъ центра равно R , а другого r (фиг. 103). Назовемъ дуги, проходимыя ими въ равныя времена, чрезъ B и b . Величины центростремительныхъ силъ F и f для каждаго движенія на основаніи предыдущаго могутъ быть выражены уравненіями

Фиг. 103.



$$F = \frac{B^2}{2R} \text{ и } f = \frac{b^2}{2r}.$$

Изъ этихъ равенствъ мы можемъ составить слѣдующую пропорцію $F : f = \frac{B^2}{2R} : \frac{b^2}{2r} = 2B^2 r : 2b^2 R$. Изъ геометріи известно, что дуги, имѣющія

одинаковую угловую величину, относятся между собою какъ радіусы $B : b = R : r$ или $bR = Br$. — Преобразовывая пропорцію $F : f = 2B^2 r : 2b^2 R$ въ слѣдующую $F : f = B^2 r : b^2 R$ и подставляя вмѣсто b R равную ему величину, получимъ $F : f = B^2 r : b^2 R$. По сокращеніи на B будемъ имѣть $F : f = B : b$, но $B : b = R : r$ слѣдовательно $F : f = R : r$ т. е. *центростремительныя силы для двухъ тѣлъ, употребляющихъ равныя времена на прохожденіе различныхъ круговыхъ линій, относятся между собою какъ самыя дуги или какъ разстоянія этихъ дугъ отъ центровъ движенія.*

Возьмемъ теперь два тѣла, проходящія равныя круговыя линіи съ различ-

Фиг. 104.



ными скоростями. — Если F и f означаютъ величины центростремительныхъ силъ, B и b дуги (фиг. 104), которыхъ

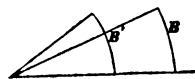
разстоянія отъ центра равны r то $F : f = \frac{B^2}{2r} : \frac{b^2}{2r} = B^2 : b^2$.

Такъ какъ скорости V и v относятся между собою какъ пройденныя пространства ($V : v = B : b$ или $U^2 : v^2 = B^2 : b^2$), то $F : f = V^2 : v^2$. — Очевидно, что времена движенія T и t будутъ

обратно пропорціональны скоростямъ. Слѣдовательно $F : f = t^2 : T^2$. — т. е. что *центростремительныя силы, при дѣйствіи на два тѣла, движущіяся по круговымъ линіямъ равныхъ радіусовъ съ различными скоростями, находятся между собою въ прямомъ отношеніи квадратовъ скоростей и въ обратномъ отношеніи квадратовъ времени, употребленныхъ на прохожденіе своихъ путей.*

Возьмемъ теперь два тѣла движущіеся съ равными скоростями по различ-

Фиг. 105.



ныхъ путямъ обращенія (фиг. 105), слѣдственно въ различныхъ разстояніяхъ отъ центровъ движеній. Очевидно, что тѣла эти будутъ совершать обращеніе свое въ разныя времена. Для опредѣленія отношеній между временами положимъ, что B и B' представляютъ дуги, R и r разстоянія ихъ отъ центра, а F и f величины соответственныхъ центростремительныхъ силъ. На основаніи сказаннаго нами выше мы можемъ составить слѣдующую пропорцію.

$F : f = \frac{B^2}{2R} : \frac{B'^2}{2r}$, такъ какъ по сдѣланному нами предположенію $B = B'$, то

$F : f = r : R$. т. е. *центромительныя силы при дѣйствіи на два тѣла, движущіяся съ равными скоростями по различной величины круговымъ линіямъ, находятся между собою въ обратномъ отношеніи разстояній ихъ отъ центра.* —

Возьмемъ теперь вмѣсто F и f равныя имъ величины $\left(F = \frac{B^2}{2R} \text{ и } f = \frac{B'^2}{2r} \right)$ и примемъ для дугъ B и B' соответственныя имъ значенія въ кругъ $\frac{2\pi R}{T}$ и $\frac{2\pi r}{t}$.

Возвышая ихъ въ квадратъ и подставляя вмѣсто B и B' въ уравненія $F = \frac{B^2}{2R}$ и $f = \frac{B'^2}{2r}$ получимъ $F = \frac{4\pi^2 R^3}{T^2 \cdot 2R} = \frac{2\pi^2 R}{T^2}$ и $f = \frac{2\pi^2 r}{t^2}$. Составляя на основа-

ванія этихъ равенствъ пропорцію, получимъ $F:f = \frac{2\pi^2 R}{T^2} : \frac{2\pi^2 r}{t^2}$ или $F:f = \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}$

т. е. что *центростремительныя силы содержатся между собою какъ разстоянія отъ центровъ движенія, раздѣленные на квадраты времени употребленныхъ на прохожденіе своихъ путей.*

Зная чему равна величина центростремительныхъ силъ относительно скоростей и разстоянія, можно опредѣлить законъ, которому слѣдуетъ измѣненіе центростремительной силы по мѣрѣ удаленія ея отъ центра движенія.

Съ помощію астрономическихъ наблюденій найдено, что квадраты временъ обращенія небесныхъ тѣлъ вокругъ солнца относятся между собою какъ кубы ихъ разстояній т. е. $T^2:t^2=R^3:r^3$.—Опредѣлимъ изъ этой пропорціи одинъ какой либо членъ напр. $R^3 = \frac{T^2 r^3}{t^2}$. Раздѣливъ обѣ части этого уравненія на $R^3 T^2$, полу-

чимъ $\frac{R}{T^2} = \frac{r^3}{R^3 t^2}$.—Подставляя въ выведенной выше пропорціи $F:f = \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}$

вмѣсто R равную ему величину, получимъ $F:f = \frac{r^3}{R^3 t^2} : \frac{r}{t^2}$. Умноживъ послѣднее отношеніе на t^2 и раздѣливъ на r получимъ $F:f = r^3:R^3$ т. е. что *центростремительныя силы находятся въ обратномъ отношеніи квадратовъ разстояній.*

Мы рассматривали отношеніе центростремительныхъ силъ для одного и того же тѣла при различныхъ условіяхъ движенія. — Но если центростремительныя силы дѣйствуютъ на тѣла *неодинаковыхъ массъ*, то очевидно, что для произведенія одного и того же дѣйствія необходимо, чтобы на большую массу дѣйствовала и большая *центростремительная сила*.

Какъ напряженіе силы измѣняется вмѣстѣ съ измѣненіемъ разстоянія, то при дѣйствіи силы на неравныя массы разстоянія должны быть обратно пропорціональны массамъ для того, чтобы дѣйствіе произведенное силою на обѣ массы было одно и тоже. —

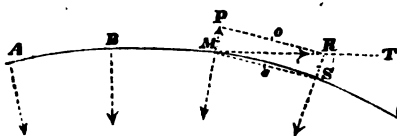
§ 68. Изъ самаго понятія, составленнаго нами о центростремитель-<sup>Центро-
бѣжная</sup> ной силѣ, слѣдуетъ, что она постоянно стремится притягивать дви-^{сила.} гающееся тѣло къ центру движенія. Но какъ при *всякомъ дѣйствіи обнаруживается равное и противоположное противоѣйствіе* (§ 40), то очевидно, что двигающееся по кругу тѣло будетъ постоянно оказывать на неподвижный центръ движенія давленіе равное и обратное тому, которое тѣло испытываетъ само со стороны центростремительной силы.—Если тѣло, совершающее круговое движеніе, прикрѣплено къ нити, заставляющей его постоянно находиться въ равномъ удаленіи отъ неподвижнаго центра движенія, то оно будетъ оказывать на послѣдній давленіе равное и противоположное силѣ, которая связываетъ частицы нити съ центромъ движенія.

Эту силу равную и противоположную центростремительной силѣ, называютъ *центробѣжною*.

Подобнымъ понятіемъ о центробѣжной силѣ, основаннымъ на законѣ равенства между дѣйствіемъ и противоѣйствіемъ, мы обязаны новой школѣ французскихъ математиковъ.

Прежде представляли центробѣжную силу въ видѣ постояннаго *усилія*, съ которымъ тѣло стремится удалиться отъ центра по касательной къ круговому движенію.—

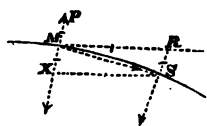
Фиг. 106.



Этого *усилія* не можетъ существовать на самомъ дѣлѣ, потому что если бы въ какой либо точкѣ напиримѣръ *M* (фиг. 106) прекратилось бы дѣйствіе *а* центростремительной силы, то начинающая отъ этой точки тѣло будетъ двигаться только вслѣдствіе одной инерціи по касательной *MT* или по продолженію безконечно малой линіи *BM*, описанной передъ самымъ прекращеніемъ дѣйствія силы.

Понятно, что для этого тѣлу не должно употреблять никакого *усилія*

Фиг. 107.



Напротивъ того сила *MX* (фиг. 107), дѣйствующая изъ центра движенія, должна постоянно оказывать *усиліе* для того, чтобы въ каждое мгновеніе отклонять движущееся тѣло отъ касательной и заставлять его двигаться по кругу. Вслѣдствіе этого постояннаго давленія *MX*, оказываемаго центростремительной силой образуется равное ему противоудѣйствіе *MP*, которое стремится притягивать центръ движенія къ окружности.— Если тѣло двигающееся по кругу соединено нитею съ неподвижнымъ центромъ движенія, то при этомъ нить натягивается двумя равными силами — центростремительной и центробѣжной — дѣйствующими по противоположнымъ направленіямъ.

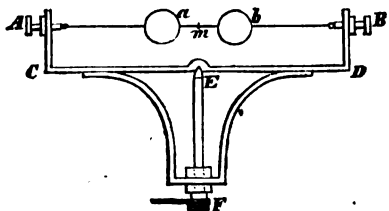
Такъ какъ мы показали, что при центральномъ движеніи центробѣжная сила равна и противоположна центростремительной силѣ, то очевидно, что законы выведенныя нами для послѣдней должны быть одинаковы и для первой.

Повѣр-
ка зако-
новъ
центр-
бѣжной
силы.

Законы, по которымъ совершается дѣйствіе центробѣжной силы, могутъ быть повѣрены на такъ называемой *центробѣжной машинѣ*, имѣющей различное устройство.—

Мы опишемъ здѣсь только обыкновенные опыты, производимые на машинѣ самаго простаго устройства.—Приборъ этотъ (фиг. 108), состоящій изъ загнутой металлической линейки *ACBD*, насаживается на вертикальную ось, приводимую во вращательное движеніе посредствомъ быстрого развертыванія веревки намотанной на колесо обхватывающее ось *F*.

Фиг. 108.



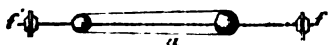
Загнутыя кверху выступы линейки соединены между собою тонкой металлической проволокой, а при недостаткѣ проволоки простой ниткой. На проволоку надѣваются просверленные шары слоновои кости, помѣщаемые рядомъ противу оси. Вскорѣ послѣ вращенія оси шары начинаютъ расходиться къ краямъ линейки и ударяютъ

одновременно объ загибы ея въ томъ случаѣ когда массы ихъ равны. — Мы получимъ тоже явленіе, если расположимъ шары не противъ самой оси, но на равномъ разстояніи вдали отъ нея.

Но если и при равныхъ разстояніяхъ массы шаровъ различны, то большій шаръ будетъ обладать болѣею центробѣжной силой и потому сдвинется съ своего мѣста прежде меньшаго шара. Наконецъ, если при равныхъ массахъ разстоянія ихъ отъ оси вращенія неравны, то наибольшую скорость приобрететъ болѣе удаленный отъ оси шаръ, который и начнетъ свое движеніе прежде ближайшаго шара. —

Опыты эти показываютъ, что центробѣжная сила подобно центростремительной возрастаетъ пропорціонально массамъ и разстояніямъ отъ центра движенія. —

Фиг. 109.



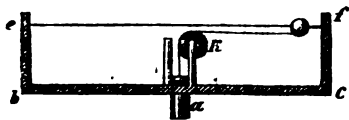
Если связать оба неравные шара ниткою (фиг. 109), то шаръ, имѣющій большую массу, повлечетъ за собою меньшій, что конечно можетъ произойти въ томъ случаѣ, когда центробѣжная сила его болѣе центробѣжной

силы меньшаго шара.

Если оба привязанные другъ ко другу шара расположены такимъ образомъ, что центробѣжная сила у обоихъ одинакова, то очевидно, что они не будутъ въ состояніи удалиться отъ оси вращенія. — Это равновѣсіе произойдетъ въ томъ случаѣ, когда разстоянія обоихъ шаровъ отъ середины проволоки обратно пропорціональны ихъ массамъ. Если большій шаръ въ 2, 3, 4 раза плотнѣе меньшаго, то послѣдній долженъ быть удаленъ въ 2, 3, 4, раза далѣе отъ оси вращенія противу большаго шара. —

Чтобы доказать, что центробѣжная сила при другихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ находится въ обратномъ отношеніи къ квадратамъ времени обращенія (§ 67) т. е. при удвоенномъ, утроенномъ, учетверенномъ времени обращенія величина центробѣжной силы вырастаетъ въ 4, 9 и 16 разъ) употребляютъ приборъ представленный на фиг.

Фиг. 110.



110. Къ шару изъ слоновой кости свободно двигающемуся на металлической проволоцѣ $e f$, прикрѣпляется струна, проходящая чрезъ часть окружности колеса k и снабженная на нижнемъ концѣ своимъ гирею a . Гиря

эта виситъ между четырьмя столбиками, не позволяющими ей во время поднятія и опусканія выходить изъ отвѣснаго положенія. Она состоитъ изъ металлической пластинки со стержнемъ, къ которому привязанъ шнуръ. На эту пластинку могутъ быть накладываемы другія пластинки, изъ которыхъ вѣсъ каждой равенъ вѣсу нижней пластинки со стержнемъ. Какъ только ось прибора начнетъ вращаться, шаръ получаетъ стремленіе удалиться отъ центра къ f , при по-

Часть I.

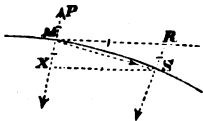
14

степенно усиливающимся вращеніи центробѣжная сила шара находится въ равновѣсіи съ гирею, сохраняющею висѣющее положеніе. При дальнѣйшемъ увеличеніи центробѣжной силы шаръ ударитъ о загибъ линейки, а при уменьшеніи — гиря опускается книзу. Если при извѣстной скорости вращенія центробѣжная сила поддерживаетъ пластинку со стержнемъ въ извѣстномъ висѣющемъ положеніи и если при этомъ шаръ не достигаетъ до загиба линейки, то при удвоенной скорости вращенія можетъ быть удерживаема въ томъ самомъ висѣющемъ положеніи въ четыре раза большая гиря, такъ что въ этомъ случаѣ должно положить на пластинку три равныя ей части по вѣсу.

Прини-
женія
центро-
бѣжной
силы.

Законами дѣйствія центробѣжной силы объясняются какъ многія явленія общежитія, такъ и устройство различныхъ приборовъ. Если вертѣть вокругъ себя нитку съ камнемъ, привязаннымъ къ одному концу ея, то вслѣдствіе центробѣжной силы нитка будетъ постоянно натянута во все время вращенія и при увеличеніи скорости вращенія центробѣжная сила можетъ быть до того увеличена, что нитка разорвется. Въ моментъ разрыва прекращается дѣйствіе силы MX (фиг. 109) притягивающей камень къ центру движенія. Понятно,

Фиг. 111.



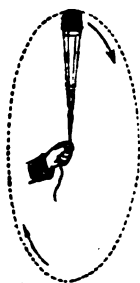
что предоставленный самому себѣ камень вслѣдствіе инерціи устремится по продолженію той безконечно малой части круговой линіи, которую онъ описывалъ передъ самымъ моментомъ разрыва слѣдовательно будетъ двигаться перпендикулярно къ направленію нити въ моментъ разрыва. — Лошадь, бѣгающая по кругу въ манежѣ, нагибаетъ верхнюю часть своего тѣла къ центру круга, для воспрепятствованія паденію, которому подвергаетъ ее центробѣжная сила, дѣйствующая по направленію радіуса круга. Наклоненіе бываетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ менѣе радіусъ круга и на оборотъ. — Это наклоненіе принимаютъ какъ лошадь такъ и ѣздокъ при всѣхъ круговыхъ поворотахъ, въ особенности если скорость движенія значительна.

Точно также бѣгающіе на конькахъ наклоняются при всѣхъ круговыхъ поворотахъ на льду. При поворотахъ телегъ всегда образуется центробѣжная сила, стремящаяся опрокинуть телегу и по этому каждый поворотъ долженъ совершаться по дугѣ по возможности большаго радіуса съ самою незначительною скоростью. На этомъ основаніи на желѣзныхъ дорогахъ повороты должны быть какъ можно тупѣе, потому что въ противномъ случаѣ при быстромъ движеніи вагоны могли бы соскочить съ рельсовъ.

Если твердое тѣло обращается на оси какъ напр. мельничный камень или колесо, то для каждой частицы образуется центробѣжная сила, вслѣдствіе которой всѣ онѣ стремятся удалиться отъ оси и тѣмъ сильнѣе, чѣмъ болѣе кругъ описываемый ими, то есть чѣмъ болѣе онѣ отстоятъ отъ оси. Если обращеніе совершается съ весьма большою скоростью, то центробѣжная сила можетъ даже побѣдить сцѣпленіе между частицами болѣе удаленными отъ оси и тѣло можетъ разорваться на куски, которые будутъ при этомъ разлетаться въ стороны. По этому косяки колесъ должны быть прочно соединены между собою и крѣпко обтянуты шинами. — Если гвозди, прикрѣпляющіе шины къ косякамъ, не вѣданы прочно въ дерево, то они могутъ быть также выброшены центробѣжной силой при обращеніи колеса. — Когда мы производимъ удары объ какой либо предметъ молоткомъ, то послѣдній описывая дугу можетъ соскочить съ рукоятки и тѣмъ скорѣе, чѣмъ болѣе его масса, чѣмъ длиннѣе рукоятка и значительнѣе размахъ. — Если во время подобнаго движенія молотка выпустить его изъ рукъ, то онъ устремится по направленію прямой линіи, которая будетъ касательною къ дугѣ размаха въ той точкѣ, въ которой молотокъ будетъ предоставленъ самому себѣ. На этомъ было основано въ прежнія времена метаніе копій и сѣкиръ противу непріятелей. — Праща древнихъ состояла изъ легкой бичевки, по срединѣ которой находился родъ очка

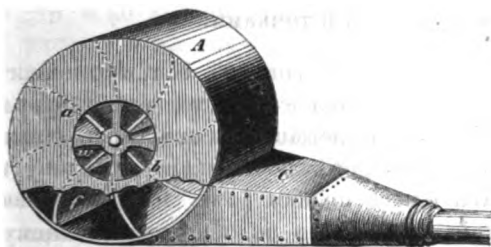
для помѣщенія камня; если взять бичевку за оба конца и послѣ вращенія камня отпустить одинъ конецъ бичевки, то камень не будетъ оставаться болѣе въ веревкѣ, а вылетитъ прочь. Извѣстно, что къ движущимся колесамъ приста-етъ обыкновенно грязь и песокъ, которые вскорѣ отрываются отъ колесъ по направленію касательныхъ линій къ колесу въ ту сторону, въ которую совер-шается движеніе колеса.

Центробѣжная сила, вращающихся тѣлъ, можетъ достигать такого напряже-
Фиг. 112. нія, что въ состояніи преодолевать дѣйствіе тяжести. Примѣръ тому представляетъ стаканъ съ водою (фиг. 112). Стоитъ только обвязать его съ наружи бичевками и взявши за кон-цы ихъ орачать быстро стаканъ въ отвѣсной плоскости. Мы увидимъ, что изъ стакана не прольется ни одной капли воды, что можно объяснить себѣ только дѣйствіемъ центробѣж-ной силы, которая оказываетъ на воду давленіе по направ-ленію ко дну стакана и удерживаетъ ее отъ паденія даже и въ тѣ моменты когда стаканъ бываетъ повернутъ дномъ вверхъ.



Центробѣжной силой пользуются въ различныхъ техническихъ производствахъ.—Мы упомянемъ здѣсь о самомъ обыкновенномъ производствѣ—дѣланіи глиняныхъ горшковъ.—Для этого кладутъ мягкую глину по срединѣ круговъ, приводимыхъ въ быстрое вращеніе на оси; во время стремленія частицъ къ удаленію отъ оси вращенія глиняная масса разширяется во всѣ стороны и при-нимаетъ фигуру сосудовъ, которымъ уже легко придавать произвольную форму.

На дѣйствіи центробѣжной силы основано устройство многихъ полезныхъ машинъ—какъ напр.—*центро-бѣжные мѣла*. Они состоятъ изъ

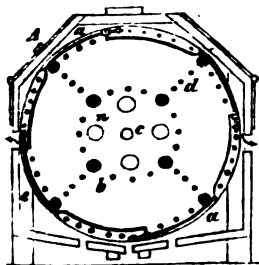


пустого цилиндра (фиг. 113), на оси котораго находится валъ, снабженный нѣсколькими загнутыми крыльями. Въ боковыхъ стѣнкахъ продѣланы около оси отверстія, а въ нижней части цилиндра находится трубка, ко-торую направляютъ противу огня. Привращеніи вала при-водится крыльями въ враща-

тельное движеніе воздухъ, который вслѣдствіе центробѣжной силы устремляется въ трубку между тѣмъ какъ свѣжій воздухъ снаружи входитъ въ цилиндръ чрезъ боковыя отверстія. Если соединить послѣднія посредствомъ трубки съ мѣ-стомъ, въ которомъ испорченъ воздухъ, то воздухъ этотъ втягивается въ ци-линдръ и оттуда выгоняется наружу.—Въ этомъ случаѣ нѣтъ надобности имѣть трубку и даже можно обойтись безъ стѣнъ цилиндра. Въ такомъ видѣ приборъ называется *вентиляторомъ*.

Не менѣе важное примѣненіе дѣйствія центробѣжной силы представ-ляютъ намъ *центробѣжные сушильныя машины*.—

Фиг. 114.



Устройство ихъ бываетъ весьма различно и потому мы ограничимся здѣсь изслѣдованіемъ общихъ осно-ваний ея устройства (фиг. 114). Центробѣжная сушиль-ная машина обыкновенно состоитъ изъ большого ба-рабана, приводимаго въ быстрое вращательное движе-ніе на оси; стѣнки барабана состоятъ изъ ряда парал-лельныхъ прутьевъ. Внутри близъ самой оси устро-ена вторая такая же стѣнка изъ прутьевъ; все вну-треннее пространство раздѣлено рядомъ прутьевъ на 4 отдѣла изъ которыхъ каждый снабженъ особенными дверями.—Въ отдѣлы эти помѣщаютъ мокрую шерсть,

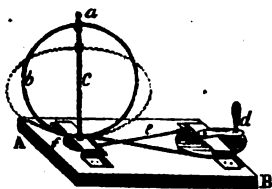
мопчатую бумагу, холстъ и т. подобные предметы.

Въ кругообразныхъ боковыхъ стѣнахъ находятся близъ оси четыре отверстія, постоянно доставляющія снаружи притокъ свѣжаго воздуха, который при вращеніи прибора, вслѣдствіе центробѣжной силы, проходитъ чрезъ жернова вещества и способствуетъ скорѣйшему высыханію ихъ.

Кромѣ того центробѣжная сила заставляетъ находящуюся въ этихъ веществахъ воду выходить изъ нихъ въ видѣ тончайшихъ капель.

Центробѣжная сила проявляется также при каждомъ *вращательномъ* движеніи тѣла вокругъ своей оси. Въ этомъ случаѣ всѣ частицы тѣла, за исключеніемъ лежащихъ на оси, описываютъ вокругъ нее круги и вслѣдствіе того приобрѣтаютъ стремленіе удалиться отъ оси. Такъ какъ при этомъ вращеніи всѣ части должны совершать *одновременно* свое обращеніе вокругъ оси, то очевидно, что наиболѣе удаленныя отъ ней части должны обладать болѣею центроостремительною силой противу частей ближайшихъ къ оси. — Это неравномѣрное дѣйствіе центробѣжной силы служитъ причиною измѣненія

Фиг. 115.



формы вращающагося тѣла. Чтобы убѣдиться въ томъ на опытѣ, утверждаютъ въ центрѣ горизонтальнаго круга t вертикальную ось c и надѣваютъ на нее мѣдный обручъ b (ф. 115). При ускоряющемся вращеніи рукоятки d обручъ начинаетъ постепенно растягиваться и мало по малу приходитъ въ положеніе, означенное на фигурѣ точками.

Такъ какъ земля наша вращается также вокругъ оси, оконечности которой называются ея полюсами, то изъ предыдущаго слѣдуетъ, что точки, лежащія на экваторѣ, должны обладать болѣею центробѣжною силою противу точекъ находящихся близъ полюса (фиг. 116). Очевидно, что вслѣдствіе того земля подобно вращающемуся на оси обручу должна имѣть сжатую форму у полюсовъ, что и дѣйствительно подтверждается другими опытами.



Дѣйствіемъ центробѣжной силы объясняется сильное сжатіе планетъ Юпитера и Сатурна, которыя совершаютъ оборотъ на оси почти въ теченіи десяти часовъ. — Самое образованіе колецъ Сатурна приписываютъ этой же причинѣ во всей вѣроятности вслѣдствіе сильной центробѣжной силы, которою обладала прежняя атмосфера этой планеты, отъ ней отдѣлилась извѣстная часть, образовавшая эти кольца. — Точно также предполагаютъ, что всѣ главныя планеты нашей солнечной системы представляютъ собою массы, отдѣлившіяся отъ солнечной атмосферы во время вращенія ея. Этимъ объясняютъ общее направленіе вращенія планетъ отъ запада къ востоку. — Подобное явленіе можно замѣтить при дѣланіи стекла. — Если вертѣтъ стеклянный шарикъ въ жидкомъ видѣ вокругъ трубочки, посредствомъ которой выдуваютъ изъ стекла различныя вещи, то не трудно замѣтить вытягиваніе шарика въ плоскій кругъ. — Въ новѣйшее время Плато придалъ почти несомнѣнную достовѣрность объясненной нами ипо-

тезѣ образованія планетъ и ихъ колецъ посредствомъ вращенія капли деревяннаго масла. — При подробномъ разсмотрѣніи частичныхъ силъ мы будемъ имѣть случай говорить подробнѣе объ опытѣ Плато.

Представимъ себѣ кружокъ, вращающійся на оси, которая проходитъ чрезъ центръ его. — Очевидно, что каждая матеріальная точка кружка, вслѣдствіе центробѣжной силы, стремится къ удаленію отъ оси вращенія и поэтому оказываетъ на ось извѣстное давленіе. — Такъ какъ каждой частицѣ соответствуетъ по діаметрально противоположному направленію другая частица, то очевидно что всѣ дѣйствующія такимъ образомъ центробѣжныя силы будутъ взаимно уничтожаться другъ другомъ. При этихъ условіяхъ, ось вращенія не можетъ быть подвержена одностороннему дѣйствію по одному какому нибудь направленію, но выдерживаетъ одинаковое напряженіе силъ дѣйствующихъ на нее отвѣсно со всѣхъ сторонъ; дѣйствіе силъ на ось вращающагося тѣла служитъ причиною тому, что она оказываетъ стремленіе къ неизмѣнному сохраненію своего направленія. — Во все время вращенія кружка ось вращенія его будетъ находиться въ состояніи устойчиваго равновѣсія.

Что мы говорили о вращающемся кружкѣ, то очевидно можно отнести и ко всякому тѣлу, вращающемуся на оси, если только масса его расположена симметрически вокругъ послѣдней.

Оси, находящіяся въ состояніи устойчиваго равновѣсія вслѣдствіе симметрическаго распредѣленія вращающейся вокругъ нихъ массы, называютъ *свободными осями*.

Эта устойчивость осей вращенія объясняетъ намъ явленіе представляемое вращеніемъ извѣстной игрушки волчка. — Ось вращенія волчка всегда сохраняетъ отвѣсное положеніе. — Если заставить волчокъ вертѣться на тарелкѣ, то ось вращенія его не измѣнитъ своего вертикальнаго положенія даже при наклоненіи плоскости тарелки; единственнымъ слѣдствіемъ этого наклоненія бываетъ только то, что волчокъ вращается по болѣе наклоненному мѣсту тарелки, при чемъ ось его будетъ постоянно сохранять параллельное положеніе къ направленію принятому ею при началѣ вращенія.

Что мы сказали о волчкѣ, то можно отнести и ко всякому тѣлу, вращающемуся въ пространствѣ на свободной оси. — Ось этихъ тѣлъ должна сохранять неизмѣнно свое направленіе во время поступательнаго движенія ихъ въ пространствѣ. На этомъ основаніи и ось вращенія земли сохраняетъ постоянно одно и тоже направленіе во время движенія своего вокругъ солнца — отъ чего происходятъ, какъ извѣстно, постоянныя перемѣны временъ года. Справедливость закона

Фиг. 117.



сохраненія неизмѣннаго положенія оси вращенія можно видѣть на машинѣ Боненберге-ра, представленной на фиг. 117. Она состоитъ изъ шара *a*, который имѣетъ три оси, укрѣпленныя къ тремъ соединеннымъ между собою кругамъ, такимъ образомъ, что шаръ можетъ принимать произвольное движеніе такъ точно какъ будто онъ вращается свободно въ пространствѣ. — Если обмотать шнурокъ вокругъ оконечности одной оси и потомъ развертываніемъ шнурка доставить кругу быстрое вращательное движеніе на этой оси, то она будетъ сохранять направленіе параллельное своему первоначальному положенію при возможныхъ положеніяхъ прибора во все продолженіе

вращенія круга. — Если въ этого круга находится масса *f*, заставляющая шаръ наклоняться книзу, то ось не останется уже болѣе параллельною, но наклоняется по направленію стрѣлки, проведенной близъ *b* т. е. въ сторону противоположную вращенію шара. — Это наклоненіе оси совершается тѣмъ медленнѣе, чѣмъ быстрѣе происходитъ вращеніе на оси. Подобное вліяніе на земную ось оказываетъ на самомъ дѣлѣ притяженіе луны. —

Движеніе неподвижно соединенныхъ между собою матеріальныхъ точекъ около оси вращенія.

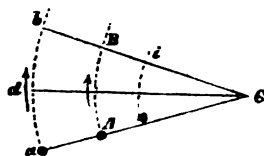
§ 69. Во всѣхъ изслѣдованіяхъ о движеніяхъ тѣлъ мы постоянно предполагали, что масса тѣла сосредоточена въ одной точкѣ; на одну только эту точку мы представляли себѣ дѣйствіе движущихъ силъ и она, въ противоположность точкѣ математической, была названа матеріальною точкою. Такъ напр. при всѣхъ прямолинейныхъ движеніяхъ мы предполагали, что частицы тѣла приводятся въ движеніе по направленію, параллельному дѣйствующей силѣ, что справедливо только для того случая, когда вся масса тѣла сосредоточена въ одномъ мѣстѣ, въ точкѣ положенія силы. Тоже самое мы предполагали при изслѣдованіи криволинейнаго движенія, когда говорили о силахъ центростремительной и центробѣжной. Во всѣхъ этихъ случаяхъ общее предположеніе заключалось въ томъ, что точкою приложенія силы была именно та точка, въ которой мы представляли себѣ сосредоточенными всѣ частицы тѣла, лежащія въ немъ раздѣльно, и мы видѣли, что всѣ задачи, для которыхъ возможно

подобное предположеніе, могутъ быть разрѣшены. Поэтому въ тѣхъ случаяхъ когда нельзя примѣнить сдѣланнаго нами предположенія, надобно опредѣлить *сперва*, какова должна быть величина массы сосредоточенной въ известной точкѣ, для того, чтобы масса эта могла замѣнять раздѣльно лежащія и неподвижно соединенныя между собою матеріальныя точки, и *потомъ* найти величину равнодѣйствующей приложенной къ этой точкѣ.

Съ разрѣшеніемъ этихъ вопросовъ очевидно сдѣлаются известными какъ движущая сила такъ и приводимая ею въ движеніе масса, которую можно уже будетъ предположить сосредоточенною въ точкѣ приложенія силы. Но прежде разрѣшенія этихъ вопросовъ, рассмотримъ первоначально слѣдующую задачу.

Положимъ, что *Ca* (фиг. 11) представляетъ собою не имѣющей вѣса негибкій пруттикъ, въ одной точкѣ котораго *C* находится ось его вращенія, а въ другой *a* матеріальная точка массы *m*,

Фиг. 118.



приводимая въ движеніе силою *P*, дѣйствующею равномерно по направленію касательной къ дугѣ, описанной радіусомъ *Ca*. Спрашивается, какова должна быть величина массы *m'*, приложенной къ точкѣ *a* отстоящей отъ *C* вдвое ближе нежели *a*, для того, чтобы по удаленіи массы *m* изъ *a*, послѣдняя точка произвела совершенно то же движеніе какъ и въ предыдущемъ случаѣ.

Пусть *ab* представляетъ намъ путь, который совершаетъ въ секунду масса *m* во время нахождения своего въ точкѣ *a* подъ вліяніемъ равномерно дѣйствующей силы *P*. Эта дуга *ab* по условію должна остаться неизмѣнною и въ томъ случаѣ, когда бы изъ *a* была удалена масса *m* и вмѣсто ея введена въ *o* другая масса *m'*. Очевидно, что это произойдетъ только тогда когда величина *m'* будетъ такова, что при ней точка *o* опишетъ во время одной секунды дугу *oi* равную $\frac{1}{2} ab$. Только въ этомъ случаѣ величины угловыхъ движеній обѣихъ массъ будутъ равны между собою. Какова же должна быть для этого величина силы, приложенной къ *o*. Если сила *P*, приложенная къ *a*, дѣйствуетъ на нее съ моментомъ (фиг. 116) равнымъ *P. Ca*, то сила *x*, приложенная къ *b*, будетъ дѣйствовать на послѣднюю точку съ моментомъ *x. Co*. Чтобы дѣйствіе произведенное обѣими силами было одинаково, статическіе моменты ихъ должны быть равны. Слѣдовательно для произведенія одинаковыхъ угловыхъ движеній необходимо чтобы *P. Ca* было равно *x. Co*. Такъ какъ *Co* по вашему предположенію вдвое менѣе *Ca*, то *x* должно быть вдвое болѣе *P* и будетъ равно $2P$.—Поэтому мы должны приложить къ точкѣ *o* такую массу *m'*, которая при дѣйствіи давленія въ два раза большаго противу давленія, дѣйствовавшаго на массу *m* въ точкѣ *a*, описала бы только половину пути, совершаемаго послѣдней массой. Это будетъ въ томъ случаѣ когда $m' = 4m$, потому что тогда при давленіи, равномъ *P* масса *m'* опишетъ дугу вчетверо меньшую противу дуги описываемой массой *m*, слѣдовательно при давленіи $2P$, она пройдетъ ровно половину дуги совершенной массою *m*.

Если для разстоянія, равнаго трети *Ca*, надобно было опредѣлить массу *m*, при которой точки *a* произвела бы тоже движеніе какъ и во время присутствія въ ней массы *m*, подверженной дѣйствію массы *P*, то рассуждая подобнымъ же образомъ, какъ и въ первомъ случаѣ, дойдемъ до того заключенія, что *m*, должно быть $= 9m$. И въ самомъ дѣлѣ давленіе, производимое силою *P* на *e*, равно $3P$; если оно дѣйствуетъ на массу $= 9m$, то путь, проходимый послѣднею массою въ секунду, будетъ въ три раза менѣе противу пути, проходимаго массою *m* при дѣйствіи на нее одной силы *P*. Слѣдовательно при обѣихъ условіяхъ точка *a* опишетъ дугу *ab*.

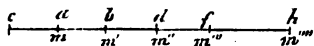
Изъ разсмотрѣнныхъ нами немногихъ случаевъ уже видѣнъ законъ опредѣленія величинъ тѣхъ массъ, которыя могутъ замѣнять массу *m* при различныхъ разстояніяхъ отъ оси вращенія. При разстояніи, которое въ два раза менѣе противу разстоянія точки *a* отъ *C*, нужна масса въ четыре или въ два

раза большая, противу массы, приложенной въ a ; при разстояніи, равномъ $\frac{1}{3}$ Ca , слѣдовательно въ три раза меньше, чѣмъ разстоянія Ca , потребна масса въ девять или въ 3^2 раза большая. Для разстоянія, равнаго $\frac{1}{10}$ разстоянія Ca , будетъ нужно употребить въ 10^2 разъ большую массу, для того чтобы можно было ею замѣнить массу m въ a ; точно такимъ же образомъ при разстояніи равномъ $\frac{1}{100}$ Ca , масса, которою можно замѣнить массу m , находящуюся въ разстояніи Ca , будетъ $100^2 \cdot m$, и т. д. Законъ этотъ можно выразить слѣдующими словами: массы, замѣняющія другъ друга при различныхъ разстояніяхъ отъ оси вращенія, должны быть обратно пропорціональны квадратамъ этихъ разстояній, для того чтобы углы, соответствующіе описаннымъ ими дугамъ, были равны между собою. Такъ напр. если разстояніа относятся какъ 1 къ 2, и слѣдовательно квадраты какъ 1 къ 4, то массы, которыя могутъ при этихъ различныхъ разстояніяхъ замѣнить одна другую, должны относиться какъ 4 къ 1; если между разстояніями существуетъ отношеніе какъ 1 къ 3, то массы будутъ относиться какъ 3^2 къ 1^2 . Вообще, если разстоянія относятся между собою какъ CA къ Ca (фиг. 118), и слѣдовательно ихъ квадраты какъ CA^2 къ Ca^2 , то массы, замѣняющія одна другую при этихъ различныхъ разстояніяхъ, будутъ относиться какъ Ca^2 къ CA^2 . Означивъ черезъ M массу, которую должно помѣстить въ A для того чтобы можно было замѣнить бывшую въ a массу m , получимъ пропорцію $M : m = Ca^2 : CA^2$, откуда будемъ имѣть $M \cdot CA^2 = m \cdot Ca^2$. На основаніи этого уравненія введенный нами законъ можно выразить слѣдующимъ образомъ: *произведенія массъ на квадраты ихъ разстояній отъ оси вращенія будутъ равны въ томъ случаѣ, когда эти массы оказываютъ одинаковое вліяніе на произведеніе круговаго движенія.*

Моментъ инерціи Произведенія массъ на квадраты ихъ разстояній отъ оси вращенія называются *моментами инерціи* этихъ массъ. Такъ $M \cdot CA^2$ есть моментъ инерціи массы M и $m \cdot Ca^2$ есть моментъ инерціи массы m , если въ первомъ случаѣ разстояніе есть CA , а во второмъ Ca . Употребивъ этотъ терминъ, нашъ законъ можно выразить такимъ образомъ, *массы, чьихъ моменты инерціи равны, могутъ взаимно замѣнять одна другую.* Такъ напр. если $M \cdot CA^2$ равно $m \cdot Ca^2$, то въ разсужденіи движенія всѣхъ точекъ линіи Ca подверженныхъ дѣйствію силы P , будетъ все равно, находятся ли масса M въ точкѣ A , или масса m въ точкѣ a .

Отсюда легко видѣть, какъ должно поступать въ томъ случаѣ, когда вмѣсто произвольнаго числа матеріальныхъ точекъ, имѣющихъ извѣстную массу и лежащихъ въ извѣстномъ разстояніи отъ оси вращенія нужно опредѣлить такую массу, которая при одномъ разстояніи отъ оси могла бы замѣнить эти раздѣльно лежащія матеріальныя частицы. Это замѣненіе отдѣльныхъ точекъ одною массою произойдетъ въ томъ случаѣ, когда моментъ инерціи искомой массы равенъ суммѣ моментовъ инерціи данныхъ матеріальныхъ точекъ. Такъ напр. масса M въ разстояніи cl (фиг. 119) отъ оси вращенія c замѣ-

Фиг. 119.



нить массы m , m_1 , m_2 , и m_3 , въ томъ случаѣ когда $Mch^2 = ca^2 m + m_1 cb^2 + m_2 cd^2 + m_3 cf^2$. Когда такимъ образомъ изъ этого уравненія опредѣлится для разстоянія cl масса M , которую можно вводить въ вычисленія вмѣсто массъ отдѣльныхъ

m , m_1 , m_2 , m_3 , находящихся на разстояніяхъ ca , cb , cd , cf , то говорятъ, что эти массы приведены къ разстоянію cl .
Способъ опредѣленія массы, замѣняющей на данномъ разстояніи отъ оси вращенія раздѣльно лежащія матеріальныя частицы, остается тѣмъ же самымъ и для общаго случая, когда матеріальныя, неподвижно одна съ другою соединенныя частицы лежатъ не на одной прямой линіи, но какъ угодно размѣщены въ пространствѣ. Моментъ инерціи искомой массы и въ этомъ случаѣ будетъ равенъ суммѣ моментовъ инерціи всѣхъ матеріальныхъ точекъ, которыя

должны быть замѣнены этою массою. Такъ напр. если c (Фиг. 120) есть ось вращенія

Фиг. 120.



тѣла A , состоящаго изъ матеріальныхъ точекъ m, m_1, m_2, \dots , и M масса, которая должна замѣнить на разстояніи ca отъ оси вращенія раздѣльно лежащія матеріальныя точки, то для опредѣленія M служить слѣдующее уравненіе $M \cdot ca^2 = m \cdot v^2 + m_1 \cdot v_1^2 + m_2 \cdot v_2^2 + \dots$, гдѣ v, v_1, v_2, \dots означаютъ разстоянія массъ m, m_1, m_2, \dots отъ оси вращенія c . Такъ какъ въ каждомъ тѣлѣ мы вправѣ предположить безконечное множество точекъ,

то очевидно, что рядъ $mv^2 + m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 + \dots$, всегда будетъ состоять изъ безконечнаго числа членовъ, сложеніе которыхъ составляетъ уже математическую задачу. Въ тѣхъ случаяхъ, когда составъ тѣла однороденъ и когда форма его геометрически правильна, законъ составленія членовъ въ этомъ ряду столь простъ, что полученіе суммы этого ряда легко получается съ помощію элементарной алгебры. Напротивъ того, когда форма тѣла неправильная и составъ его неоднороденъ, то численная величина такого ряда даже и посредствомъ приложенія высшей математики можетъ быть опредѣлена только приблизительно.

У д а р ъ т ѣ л ѡ .

§ 70. До сихъ поръ мы разсматривали движеніе независимо отъ ^{Понятіе объ ударе.} свойствъ двигающихся тѣлъ.

При каждомъ движеніи тѣла особенныя свойства послѣдняго не оказываютъ вліянія на самое движеніе, потому что тѣло въ каждой точкѣ своего пути должно оставаться неизмѣннымъ и сохранять тѣ самыя свойства, которыми оно обладало при началѣ движенія. При этомъ мы считаемъ не лишнимъ замѣтить, что началомъ движенія должно разумѣть тотъ моментъ, когда вся масса тѣла приведена въ движеніе. — Всѣ измѣненіе представляемое тѣломъ при такомъ движеніи, заключается очевидно въ одной перемѣнѣ положенія тѣла относительно окружающихъ предметовъ.

Со всѣмъ другое явленіе представляютъ намъ тѣла при движеніи, происходящемъ послѣ взаимнаго дѣйствія другъ на друга двухъ или нѣсколькихъ тѣлъ. — Это взаимное дѣйствіе тѣлъ другъ на друга называютъ *ударомъ* въ томъ случаѣ, когда оно происходитъ въ теченіи такого незначительнаго времени, которое не можетъ быть уловимо нашими чувствами. —

Мы уже говорили (§ 11), что частицы всякаго тѣла находятся подъ вліяніемъ двухъ силъ (притягательной и разширительной), сохраняющихъ между собою равновѣсіе, которое очевидно можетъ нарушаться отъ вліянія постороннихъ причинъ. — Посмотримъ теперь, какимъ образомъ оно нарушается при ударѣ тѣлъ.

Часть I.

15

Явленія
проис-
ходящія
при
ударѣ.

§ 71. При взаимной встрѣчѣ двухъ двигающихся массъ явленіе удара начинается между ними собственно только тогда, когда одна масса вслѣдствіе инерціи и непроницаемости встрѣчаетъ со стороны другой сопротивление своему движенію, слѣдовательно когда обѣ массы производятъ взаимное давленіе, стараясь, такъ сказать, проникнуть другъ въ друга. — При началѣ этого прониканія соприкасающіяся частицы конечно оказываютъ взаимное притяженіе между собою и если бы при этомъ частицы одной изъ встрѣтившихся массъ были независимы другъ отъ друга, то онѣ *пристали бы* къ другой массѣ точно такъ, какъ обыкновенно пристааетъ пыль къ тѣламъ. — Этимъ дѣйствіемъ и ограничилось бы въ настоящемъ случаѣ взаимное вліяніе встрѣтившихся тѣлъ. Но если обѣ массы состоятъ изъ скопленія частицъ, положеніе которыхъ въ каждой массѣ обусловлено взаимнымъ дѣйствіемъ притягательной и разширительной силъ, то очевидно что при ударѣ вслѣдъ за притяженіемъ должно тотчасъ же обнаружиться дѣйствіе этихъ силъ. — Это обоюдное дѣйствіе частичныхъ силъ встрѣтившихся тѣлъ, смотря по внутреннему строенію послѣднихъ, обнаруживается различнымъ образомъ; такъ напр. тѣла могутъ ломаться, гнуться, нагрѣваться и т. п.

Точно также если вслѣдствіе удара происходитъ движеніе, то оно всегда должно обуславливаться взаимнымъ отношеніемъ частичныхъ силъ обѣихъ встрѣтившихся массъ.

Если отношеніе между частичными силами тѣлъ таково, что частицы сохраняютъ достаточную связь между собою какъ напр. въ твердомъ тѣлѣ, то хотя ударъ, сообщенный этому тѣлу и дѣйствуетъ только на извѣстное число частицъ его поверхности, тѣмъ не менѣе онъ распространяется равномерно между всѣми частицами тѣла. И въ самомъ дѣлѣ наблюденіе и опытъ показываютъ, намъ что по прошествіи извѣстнаго времени, необходимаго для этой передачи (§ 29), вся масса ударяемаго тѣла приходитъ наконецъ въ движеніе. Точно также и измѣненіе, претерпѣваемое при ударѣ двумя движущимися твердыми тѣлами, должно распространяться равномерно въ ихъ массѣ, такъ что послѣ удара всѣ частицы каждой массы должны будутъ сохранять одинаковую скорость.

Но если отношеніе между частичными силами ударяемаго тѣла таково, что частицы обладаютъ легкою подвижностію, то движеніе, сообщенное ударомъ, не можетъ уже распространяться равномерно между всею массою подобнаго тѣла. — И въ самомъ дѣлѣ опытъ показываетъ намъ, что въ этомъ случаѣ только часть тѣла непосредственно подверженная удару производитъ движеніе, какъ это мы видимъ при ударѣ твердаго тѣла объ воду.

Различныя
виды
ударовъ.

§ 72. Прежде подробнаго разсмотрѣнія явленій, встрѣчающихся при ударѣ, скажемъ нѣсколько словъ о различныхъ случаяхъ, въ которыхъ могутъ находиться ударяющія тѣла.

Если направленіе, по которому сообщается ударъ, проходитъ чрезъ центръ тяжести тѣла, то ударъ называется *центральнымъ*, въ про-

пѣваемымъ имъ со стороны передняго шара. — Эти два равныя давленія мы можемъ представить себѣ въ видѣ двухъ равныхъ силъ, дѣйствующихъ одновременно на два шара различной массы. — Но мы уже знаемъ (§ 39), что при одновременномъ дѣйствіи двухъ равныхъ силъ количества движенія, производимыя ими, всегда бываютъ равны между собою. Примѣняя это къ силамъ, обнаруживающимся при ударѣ, изъ которыхъ одна уменьшаетъ скорость задняго, а другая увеличиваетъ скорость передняго шара, мы получимъ, что оба количества движенія, сообщенныя вслѣдствіе удара, должны быть равны между собою. Слѣдовательно на сколько уменьшится количество движенія задняго шара 8×10 , на столько увеличится количество движенія передняго шара 2×5 . Значитъ сумма количествъ движеній, удаляющихся шаровъ, остается *одна и таже* во все продолженіе удара. По этому въ то мгновеніе, когда прекратится ударъ и когда скорость ихъ сдѣлается одинаковою, то количество движенія обоихъ шаровъ, составляющихъ теперь какъ бы одну массу, будетъ равно суммѣ количествъ движеній обоихъ шаровъ до удара. Сумма количествъ движеній до удара будетъ въ предыдущемъ примѣрѣ $8 \cdot 10 + 2 \cdot 5$ или 90. — Эта сумма будетъ равна количеству движенія послѣ удара, которое въ свою очередь равно общей массѣ шаровъ или $8 + 2 = 10$, помноженной на общую скорость ихъ. — Спрашивается какъ должна быть велика эта общая скорость. Если скорость эта, помноженная на 10 или увеличенная въ 10 разъ, равна 90, то одна десятая часть ея будетъ равна 9, раздѣленному на 10 или 9-ти футамъ. Слѣдовательно, чтобы получить послѣ удара величину *общей скорости* двухъ шаровъ, двигающихся другъ за другомъ, должно *сумму количествъ движеній изъ оо удара раздѣлить на сумму массъ*.

Если общая скорость шаровъ послѣ удара равна 9 футамъ, то очевидно, что во время удара скорость задняго шара уменьшится на 1 футъ и дойдетъ до 9-ти фут., между тѣмъ какъ скорость передняго увеличится на 4 фут. — Количество движенія, потерянное при этомъ 8-ми фунтовымъ шаромъ, будетъ $8 \cdot 1 = 8$, а количество движенія, пріобрѣтенное переднимъ, будетъ $2 \cdot 4 = 8$ т. е. одно и то же какъ для перваго такъ и для втораго шара.

Для общаго обозрѣнія мы представляемъ сказанное нами формулой. Если M и m массы, а C и c скорости шаровъ до удара, а v общая скорость послѣ удара, то получимъ $(M+m)v = MC + mc$; откуда $v = \frac{MC + mc}{M + m}$.

Если обѣ массы шаровъ, двигающихся другъ за другомъ, равны напр. 5 фунтамъ; скорость же задняго и по прежнему равна 10, а передняго 5 фут., то на основаніи сказаннаго нами общая скорость получится, если сумму количествъ движеній раздѣлимъ на сумму массъ:

$$\frac{5 \cdot 10 + 5 \cdot 5}{5 + 5} = \frac{50 + 25}{10} = \frac{75}{10} = 7\frac{1}{2} \text{ фут.}$$

Тоже число футовъ мы получимъ, если возьмемъ *полусумму скоростей* $\frac{10 + 5}{2} = 7\frac{1}{2}$ фут.

Для знакомыхъ съ математикою, сдѣланное нами заключеніе можетъ быть непосредственно выведено изъ уравненія $v = \frac{MC + mc}{M + m}$; если $M = m$, то $v = \frac{M(C + c)}{M \cdot 2} = \frac{C + c}{2}$ т. е. общая скорость послѣ удара при равенствѣ массъ равна полусуммѣ первоначальныхъ скоростей.

Если шаръ, имѣющій 2 фунтовую массу, находится въ покоѣ, то послѣ удара объ него шара, имѣющаго 8 фунт. вѣсу и 10 фут. скорости, сумма количествъ движеній, раздѣленная на сумму массъ. выразится слѣдующимъ образомъ: $\frac{8 \cdot 10 + 2 \cdot 0}{8 + 2} = \frac{8 \cdot 10}{8 + 2} = \frac{80}{10} = 8$ фут.—

Если при этомъ массы равны, такъ напр. если онѣ обѣ равны 5 фунт., то общая скорость будетъ равна $\frac{5 \cdot 10}{5 + 5} = \frac{50}{10} = 5$ фут.—И въ этомъ случаѣ мы получимъ тоже число футовъ, если возьмемъ половину скорости, двигающагося шара т. е. $\frac{10}{2} = 5$ фут.—Это значитъ, если двигающееся тѣло ударяетъ объ другое, находящееся въ покоѣ и обладающее равной съ нимъ массою, то послѣ удара оба тѣла будутъ двигаться со скоростью, равною половинѣ скорости, ударяющаго шара.—

Если въ уравненіи $v = \frac{MC + mc}{M + m}$; скорость $c = 0$, то $v = \frac{MC}{M + m}$; когда же сверхъ того $M = m$, то $v = \frac{C}{2}$.

Чѣмъ масса покоящагося шара значительнѣе массы ударяющагося, тѣмъ меньшую скорость будутъ имѣть шары послѣ удара; такъ напр. если масса покоящагося шара равна не 2 но 10 фунтамъ, а масса шара ударяющаго со скоростью 10 фут., равна 8 фунт., то получимъ $\frac{8 \cdot 10}{8 + 10} = \frac{80}{18} = 4 \frac{4}{9}$ фут. Это потому, что одна и таже скорость послѣ удара должна быть сообщена въ настоящемъ случаѣ въ 8 разъ большей массѣ.

Если мы можемъ принять массу покоящагося тѣла за безконечно большую сравнительно съ массою ударяющаго тѣла, то движеніе послѣдняго прекратится послѣ удара и обѣ массы будутъ оставаться въ покоѣ.

Справедливость послѣдняго можетъ быть легко объяснена уравненіемъ $v = \frac{MC}{M + m}$; и въ самомъ дѣлѣ чѣмъ значительнѣе m т. е. масса покоящагося тѣла относительно M , тѣмъ менѣе будетъ скорость v .

На этомъ основаніи если весьма тяжелое тѣло держать въ рукахъ и бить объ него молоткомъ, то мы не будемъ ощущать боли, потому что значительная масса приобретаетъ въ этомъ случаѣ отъ удара небольшую скорость, а чрезъ то и будетъ производить незначительное давленіе на руку.

Если количества движенія обоихъ шаровъ равны между собою и оба они двигаются по одной прямой линіи на встрѣчу другъ другу

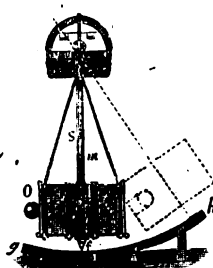
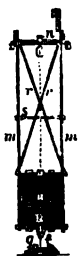
по противоположнымъ направленіямъ, то вслѣдствіе сказаннаго нами очевидно, что скорости ихъ должны взаимно уничтожаться и оба шара послѣ удара будутъ оставаться въ покоѣ.

На этомъ основаніи, если мы желаемъ остановить какое нибудь быстро бѣгущее животное, то должно противопоставить движенію его тѣло или имѣющее одинаковую массу и одинаковую скорость или обладающее меньшей массой и значительной скоростью или наконецъ большею массою и соотвѣтственно меньшей скоростью. При кавалерійскихъ атакахъ всадники, примыкая плотно другъ къ другу, устремляются противу массы неприятелей такимъ образомъ, чтобы постоянно возрастающая скорость движенія въ моментъ удара достигла наибольшаго своего предѣла. Для отраженія этого удара не слѣдуетъ противнику оставаться на мѣстѣ, а должно самому двинуться на встрѣчу съ наибольшею скоростью.

Законы удара доставляютъ большую пользу при опредѣленіи весьма значительныхъ скоростей, какъ напр. при опредѣленіи скорости ядра, пущеннаго изъ артиллерійскаго орудія. — Для этого опредѣленной массы ядро пускаютъ въ тяжелое тѣло также извѣстной массы и по скорости движенія, сообщенной ядромъ тѣлу, судятъ о скорости ядра при самомъ вылетѣ изъ орудія. Если масса ядра = 1 фунту, масса тяжелаго тѣла 1000 фунтамъ, а скорость сообщенная ей = 2 футамъ, то,

Фиг. 122.

Фиг. 123.



примѣняя къ настоящему случаю формулу

$$v = \frac{M C}{M + m} \text{ получимъ } 2 = x \frac{1}{1000 + 1}, \text{ гдѣ } x$$

означаетъ скорость ядра. Изъ этой формулы нетрудно вывести, что величина x будетъ равна 2002 футамъ. На фиг. 121 показанъ передній видъ прибора, употребляемаго съ этою цѣлю и называемаго *баллистическимъ маятникомъ*. Фиг. 122 представляетъ маятникъ съ боку. Онъ состоитъ изъ обитаго желѣзомъ тяжелаго бруса В, который вписанъ на подвижной оси с. Ниж-

нимъ своимъ концомъ маятникъ движется по желобу дуги gh , наполненному воскомъ или саломъ, въ которомъ шпенець f дѣлаетъ слѣды, показывающіи намъ графически величину размаха маятника въ томъ случаѣ, когда ударяеть объ него ядро.

Положимъ теперь, что взятые нами въ предыдущемъ примѣрѣ оба шара, изъ которыхъ одинъ имѣетъ 8 фунтовъ вѣсу и 10 футовъ скорости, а другой 2 фунта вѣсу и 5 футовъ скорости двигаются на встрѣчу другъ другу. — Вслѣдствіе удара оба они будутъ производить равныя давленія другъ на друга. Эти равныя давленія мы можемъ по прежнему представить себѣ въ видѣ двухъ равныхъ силъ, дѣйствующихъ одновременно на два шара различной массы. —

Вся разница отъ предыдущаго случая заключается въ томъ, что теперь количества движенія *обоихъ шаровъ* будутъ *уменьшаться* на одинаковую величину. Это уменьшеніе будетъ очевидно продолжаться до тѣхъ поръ, пока количество движенія меньшаго шара не сдѣлается равнымъ нулю т. е. пока скорость меньшаго шара не уничтожится совершенно. — Если меньшій шаръ утратилъ количество движенія равное 2. 5, то очевидно, что давленіе производимое меньшимъ

шаромъ во время удара, уменьшить на такую же величину количество движенія большаго шара. — Слѣдовательно въ тотъ моментъ, когда уничтожится скорость меньшаго шара и количество движенія его превратится въ нуль (2. 0), то количество движенія большаго шара будетъ равно не 8. 10 или 80, но 70.—Значитъ въ моментъ прекращенія удара количество движенія обоихъ шаровъ будетъ равно разности количествъ движеній ихъ до удара: т. е. $8. 10 - 2. 5 = 70$.

Такъ какъ по прекращеніи удара оставшаяся скорость большаго шара должна будетъ распредѣлиться между общою массою шаровъ, которые будутъ двигаться съ одинаковою скоростію по направленію большаго шара, то очевидно, что количество движенія равное разности количествъ движеній до удара или 70 будетъ равно общей скорости, помноженной на сумму массъ $8+2$ или 10.—Раздѣливъ по предыдущему 70 на 10, мы найдемъ, что общая скорость будетъ равна 7-ми футамъ—

Если общая скорость послѣ удара равна 7 футамъ, то очевидно, что большій шаръ потеряетъ 3 фута скорости; слѣдовательно потеря въ количествѣ движенія его будетъ $8. 3$ или 24.—Эта потеря, какъ мы уже видѣли, употребляется сперва на уничтоженіе скорости втораго шара, количество движенія котораго при 2 фунтахъ вѣса и 5 футамъ скорости равно $2. 5$ или 10.—Послѣ того послѣднему шару должна быть сообщена скорость 7 футовъ по направленію противоположному къ первоначальному его движенію, а какъ масса его равна 2 фунтамъ, то количество движенія, сообщенное ему, будетъ $2. 7$ или 14. Оба числа 10 и 14 дадутъ вмѣстѣ число 24, соответствующее количеству движенія, утраченному при ударѣ большимъ шаромъ.—

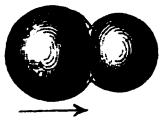
Если M и m массы, C и c скорости до удара и v общая скорость обоихъ массъ послѣ удара, то $(M+m) v = MC - mc$, откуда $v = \frac{MC - mc}{M+m}$. —

§ 74. Перейдемъ теперь къ прямому удару упругихъ тѣлъ.

Если два упругія тѣла, напр. два шара, двигаются другъ за другомъ и придутъ наковецъ во взаимное стол-

Правой
ударъ
упругихъ
шаровъ.

Фиг. 124.



кновение, то оба тѣла оказываютъ сперва равное давленіе другъ на друга и соприкасающіяся части ихъ будутъ сдавливаться до известной степени (Фиг. 124). Въ это мгновеніе шары можно считать за неупругіе.—Положимъ, что ударъ происходитъ между шарами, изъ которыхъ одинъ имѣетъ 8-ми фунтовую массу

и 10-ти футовую скорость, а другой 2-хъ фунтовую массу и 5-ти футовую скорость. Опредѣливъ на основаніи сказаннаго нами выше общую скорость для момента, когда прекращается сдавливаніе ($\frac{8 \cdot 10 + 2 \cdot 5}{10} = \frac{80 + 10}{10} = \frac{90}{10} = 9$ футамъ), найдемъ, что задній по прежнему потеряетъ скорость $10 - 9$ или 1 футъ, а передній приобрететъ скорость $9 - 5$ или 4 фут. Но какъ по прекращеніи

сдавливанія шары начинаютъ воспринимать форму съ тою же силою, какъ и лишались ея, то очевидно, что при этомъ они должны снова оказать тоже самое дѣйствіе другъ на друга. Передній шаръ, вытягивающійся къ сторонѣ задняго, сообщитъ ему ударъ, при которомъ онъ потеряетъ еще разъ скорость 10—9; задній же, вытягивающійся къ сторонѣ передняго шара, доставляетъ ему вторичный ударъ, при которомъ скорость послѣдняго увеличивается опять на 9—5. Такъ какъ послѣ первой половины удара оба шара получили скорость 9 фут., а послѣ второй половины удара скорость задняго уменьшилась еще на 10—9 футъ, а скорость передняго увеличилась еще на 9—5 футъ, то очевидно, что по совершенномъ окончаніи удара скорость задняго будетъ $9 - (10 - 9)$ или $9 - 1$ или 8 фут., а скорость передняго $9 + (9 - 5)$ или $9 + 4$ т. е. 13 фут.—

Если назовемъ чрезъ v общую скорость шаровъ въ первую половину удара, чрезъ C и c ихъ скорости до удара, то задній потеряетъ $C - v$, а передній приобрететъ $v - c$. — Послѣ второй половины удара скорость задняго V будетъ $= v - (C - v) = 2v - C$, а передняго $V' = v + v - c = 2v - c$. —

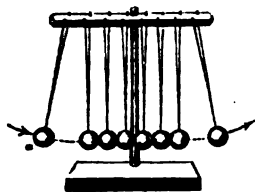
Положимъ теперь, что оба шара, двигающіеся другъ за другомъ, имѣютъ равныя массы, изъ которыхъ передняго обладаетъ скоростью 2, а задняго 8 футовъ. По достиженіи передняго шара задній будетъ давить на него до тѣхъ поръ, пока оба они не получатъ одинаковой скорости, которая на основаніи выведеннаго нами для удара неупругихъ тѣлъ, будетъ равняться полусуммѣ скоростей или 5 фут.—Ясно, что при этомъ задній потеряетъ, а передній приобрететъ 3 фут. скорости. Но какъ только прекращается сдавливаніе, то оба тѣла вытягиваются къ наружи съ тою самою силою, съ которою происходило сжатіе ихъ. Поэтому переднее тѣло задерживаетъ заднее до тѣхъ поръ, пока послѣднее не сообщитъ ему еще 3 футовъ скорости. Слѣдовательно отъ общей скорости 5 фут., которую приобрѣли шары послѣ первой половины удара въ концѣ удара, задній шаръ будетъ имѣть 5—3 или 2 фута, а передній $5 + 3$ или 8 фут.—Это показываетъ намъ, что при ударѣ упругихъ шаровъ равныхъ массъ происходитъ только обмѣнъ скоростей.—

Если массы обоихъ шаровъ равны, то $v = \frac{C+c}{2}$ и $2v = C+c$; вставляя въ выраженія $V = 2v - C$ а $V' = 2v - c$ вмѣсто $2v$ равную ему величину $C+c$ получимъ $V = C+c - C$ и $V' = C+c - c$, откуда $V = c$, а $V' = C$.

Если одно изъ двухъ ударяющихся тѣлъ равной массы находится въ покоѣ до удара, то обмѣнъ скоростей будетъ заключаться здѣсь въ томъ, что покоящійся шаръ произведетъ движеніе потому же направленію со скоростью ударяющаго шара, между тѣмъ какъ послѣдній останется въ покоѣ.—Подобное явленіе мы можемъ произвести шарами на бильярдѣ, хотя оно и не повторяется здѣсь совершенно точно, потому что на ударъ въ этомъ случаѣ, имѣетъ вліяніе и треніе, образуемое вслѣдствіе катящагося движенія шаровъ. —

Въ физическихъ кабинетахъ производятъ этотъ опытъ посредствомъ прибора, называемаго машиной Гравезанда.

Фиг. 125.



Вѣшаютъ рядъ (фиг. 125) шаровъ изъ слоновой кости на параллельныхъ нитяхъ такимъ образомъ чтобы шары, взаимно прикасались между собою и чтобы центры ихъ лежали на одной горизонтальной линіи. Поднявъ одинъ изъ крайнихъ шаровъ и заставивъ его упасть на рядъ шаровъ, мы увидимъ, что всѣ они останутся въ покоѣ кромѣ послѣдняго шара на противоположномъ концѣ ряда.—Это потому, что первый ударяющій шаръ передаетъ свою скорость второму и самъ останавливается; второй передаетъ эту скорость третьему, этотъ—четвертому и т. д., но каждый изъ нихъ остается въ покоѣ, кромѣ послѣдняго, который, не имѣя возможности сообщить приобретенную скорость, поднимается вверхъ на столько на сколько, опустился первый шаръ. Замѣчательно, что эта передача скоростей совершается такъ быстро, что употребляемое для того время совершенно незамѣтно. Если послѣдній шаръ опустится вслѣдствіе собственной своей тяжести, то поднимется первый на ту высоту, съ которой онъ былъ первоначально опущенъ, и это движеніе крайнихъ шаровъ продолжится до тѣхъ, поръ пока nebude уничтожено сопротивленіемъ воздуха и другими препятствіями.

Если поднять два или три шара и опустить ихъ *вмѣстѣ* на рядъ шаровъ, то на столько же поднимутся разомъ оба крайніе шара на противоположномъ концѣ.—Причина заключается въ томъ, что падающіе шары дѣйствуютъ не мгновенно, но вскорѣ другъ послѣ друга; такъ напр., если мы опустили два шара, то сперва ударяетъ второй по третьему и ударъ распространяется до послѣдняго, который и отскакиваетъ; но непосредственно затѣмъ ударяетъ первый шаръ по второму и ударъ распространяется отъ шара къ шару и достигаетъ до предпослѣдняго въ то именно мгновеніе, когда послѣдній шаръ уже начинаетъ двигаться, по этому предпослѣдній шаръ, не имѣя возможности передать послѣднему приобретенной скорости, долженъ двигаться непосредственно за нимъ.

Подобный обмѣнъ скорости происходитъ и при ударѣ двухъ упругихъ шаровъ, двигающихся по одному направленію на встрѣчу другъ другу. Вся разница отъ предъидущаго случая состоитъ въ томъ, что шары будутъ здѣсь отскакивать другъ отъ друга.

Если масса шара, находящагося въ покоѣ, значительно болѣе массы ударяющаго шара, то послѣ удара послѣдній отразится по противоположному направленію, между тѣмъ какъ другой будетъ двигаться по направленію удара со скоростью тѣмъ меньшею, чѣмъ болѣе масса его превосходитъ массу ударяющаго шара.

§ 75. Если шаръ ударяетъ объ твердую неподвижную стѣну по направленію отвѣсному къ ней и если при этомъ шаръ и стѣна неупруги, то вслѣдствіе продолжительнаго сопротивленія неподвижной стѣны

Ударъ шара о неподвижную плоскость.

шаръ потеряетъ всю скорость сообщенную ему ударомъ и останется въ покоѣ.

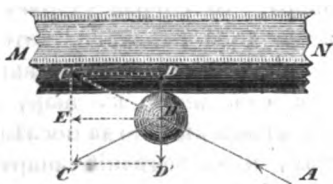
Если ударающій упругій шаръ производитъ давленіе обѣ неупругую, неподвижную плоскость, то вслѣдствіи постояннаго сопротивленія послѣдней онъ будетъ постепенно сжиматься до тѣхъ поръ, пока не потеряетъ всей своей скорости. Когда истощится скорость ударающаго шара, то очевидно должно прекратиться также и дальнѣйшее давленіе его обѣ стѣну и сжатія частицы вслѣдствіе упругости будутъ стремиться принять естественное свое положеніе съ тою самою силою, съ которою произошло давленіе ихъ т. е. съ силою удара. — Чрезъ это шаръ *отразится* отъ стѣны со скоростію движенія до удара и будетъ двигаться по противоположному направленію.

Если неупругій шаръ удараетъ обѣ упругую стѣну, то произойдетъ тоже самое, потому что сжатая отъ удара стѣна при обратномъ воспріятіи прежней формы оттолкнетъ шаръ съ тою же скоростію, съ которою онъ дѣйствовалъ на нее до удара.

Если какъ стѣна, такъ и шаръ упруги, то оба тѣла сжимаются при ударѣ съ одинаковою силою и при воспріятіи частицами ихъ прежняго вида взаимно дѣйствуютъ другъ на друга. Но какъ стѣна неподвижна и очевидно не можетъ измѣнить своего мѣста, то долженъ отскочить шаръ въ отвѣсномъ направленіи назадъ со скоростію разбѣга.

Въ справедливости послѣдняго можно убѣдиться, бросая отвѣсно шаръ слоновой кости на мраморную доску.

Если шаръ удараетъ о неподвижную плоскость MN , напр. о бортъ бильярда (фиг. 126) по направленію AB ,



Фиг. 126.

съ силою, которая можетъ быть выражена линіею BC , то мы можемъ эту силу разложить на двѣ другія — одну DB отвѣсную къ MN и другую BE параллельную къ MN . — Когда шаръ и бортъ бильярда неупруги, то очевидно, что отвѣсная составляющая BD , выражающая давленіе на плоскость MN , будетъ уничтожена и шаръ подвергается только дѣйствию составляющей BE , которая будетъ катить его вдоль плоскости MN . — Но если шаръ, плоскость или оба ударающіяся тѣла вмѣстѣ упруги, то въ движеніи шара приметъ участіе и составляющая сила BD . И въ самомъ дѣлѣ сила эта не будетъ обнаруживаться только до тѣхъ поръ, пока упругость шара не заставитъ его отразиться по противоположному направленію со скоростію BD' равную BD . — Мы разсматривали здѣсь только дѣйствіе одной составляющей силы BD , но какъ на шаръ въ тоже время дѣйствуетъ и другая составляющая BE , то чтобы опредѣлить направленіе и скорость, съ которою будетъ двигаться ея шаръ въ моментъ отраженія отъ стѣны очевидно должно сложить силу BE съ силою BD' . — Диагональ BC' параллелограмма, построеннаго на направленіи этихъ силъ, выразитъ намъ какъ направленіе такъ и скорость, которую

будетъ двигаться шаръ въ моментъ отраженія отъ стѣны. — Мы разсматривали здѣсь только дѣйствіе одной составляющей силы BD , но какъ на шаръ въ тоже время дѣйствуетъ и другая составляющая BE , то чтобы опредѣлить направленіе и скорость, съ которою будетъ двигаться ея шаръ въ моментъ отраженія отъ стѣны очевидно должно сложить силу BE съ силою BD' . — Диагональ BC' параллелограмма, построеннаго на направленіи этихъ силъ, выразитъ намъ какъ направленіе такъ и скорость, которую

шаръ будетъ имѣть окончательно. Не трудно при этомъ замѣтить, что уголъ $C'BD'$ равенъ углу CBD вследствие равенства треугольниковъ заключающихъ эти углы; но углы CBD и ABD' также равны между собою, какъ противоположные; слѣдовательно уголъ ABD , долженъ быть равенъ углу $C'BD'$. Для означенія равенства этихъ угловъ обыкновенно употребляютъ выраженіе: *уголъ паденія равенъ углу отраженія*. Законъ этотъ имѣетъ большое примѣненіе при физическихъ явленіяхъ.

На законахъ удара упругихъ тѣлъ основана билиардная игра.—Но болѣе важное примѣненіе законовъ отраженія упругаго шара отъ неподвижной плоскости мы встрѣчаемъ при *рикошетныхъ выстрѣлахъ* изъ артиллерійскихъ орудій.—Для производства этихъ выстрѣловъ употребляютъ соответственно меньшій зарядъ и даютъ орудію такое наклоненіе, чтобы вылетающее ядро имѣло незначительное направленіе къ горизонту. При паденіи на землю косвенный ударъ ядра отражается подѣ тѣмъ же незначительнымъ угломъ, послѣ чего ядро повторяетъ это явленіе до нѣсколькихъ разъ.—Если по направленію полета ядра лежатъ сопротивленія въ разныхъ мѣстахъ, то очевидно, что вследствие прыжковъ мы будемъ имѣть возможность однимъ выстрѣломъ произвести нѣсколько столкновеній ядра съ сопротивленіями.

§ 76. Намъ остается сказать еще объ *косомъ* ударѣ шаровъ. Положимъ напри- Косой
ударъ.

Фиг. 127.



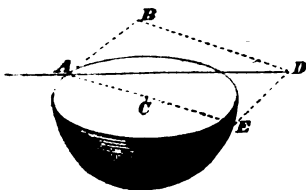
мѣръ что упругій шаръ a (фиг. 127) ударяетъ по находящемуся въ покоѣ шару b въ косвенномъ направленіи Qa т. е. когда точка прикосновенія шаровъ не лежитъ на линіи соединяющей, центры ихъ, внѣ направленія движенія шара a . — Очевидно, что силу Q , съ которою совершается ударъ мы можемъ разложить на двѣ—одну ad , и другую af , дѣйствующую по отвѣсному къ ней направленію. — Въ этомъ случаѣ ударъ произойдетъ отъ дѣйствія только одной силы ad и если оба шара равны, то мы знаемъ, что слѣдствіемъ удара будетъ передача скорости ad шару b .—На долю же шара a останется сила af . Слѣдовательно послѣ удара шаръ b приметъ направленіе ad , а шаръ a направленіе af .—Изъ одного разсмотрѣнія чертежа не трудно догадаться, что направленіе движенія шаровъ послѣ удара зависитъ отъ положенія точки прикосновенія ихъ.

Если шаръ получаетъ экцентрическій ударъ т. е. когда направленіе по которому сообщается ударъ не проходитъ черезъ центръ ударяемаго шара, то вследствие такого удара шаръ приобретаетъ два движенія одно *поступательное*, а другое *вращательное*.

При этомъ могутъ встрѣтиться различные случаи, изъ которыхъ мы уграничимся разсмотрѣніемъ слѣдующихъ.

Представимъ себѣ разрѣзъ шара по горизонтальному направленію, проходящему черезъ центръ C (фиг. 128) и положимъ,

Фиг. 128.

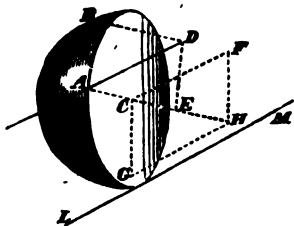


что направленіе экцентрическаго удара AD совпадаетъ съ этимъ разрѣзомъ. — Сила сообщающая ударъ шару можетъ быть разложена на двѣ, одну центральную AE , направляющуюся отъ точки удара черезъ центръ и другую AB , перпендикулярную къ AE . — Отъ дѣйствія первой изъ составляющихъ силъ шаръ будетъ принимать поступательное, а отъ дѣйствія второй вращательное движеніе.

Если же направленіе удара лежитъ не въ горизонтальной, а въ одной отвѣсней плоскости съ центромъ шара, то дѣйствіе будетъ различное, смотря по

тому выше или ниже центра проходить направлѣніе удара. — На фиг. 129

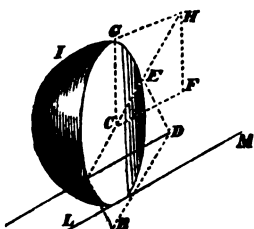
Фиг. 129.



представленъ разрѣзъ шара, лежащаго на горизонтальной плоскости LM и подверженнаго экцентрическому удару, направлѣніе котораго происходитъ по линіи AD . Силу AD мы можемъ раздѣлить на AE , проходящую чрезъ центръ и AB перпендикулярную къ ней. — Перенесемъ точку приложенія силы AE въ C т. е. представимъ себѣ что весь центральный ударъ распространяется отъ центра. Сдѣлавъ $CH=AE$ мы можемъ послѣднюю силу раздѣлить на двѣ другія: CF параллельную къ LM и CG перпендикулярную къ LM ; сила CF сообщаетъ шару поступательное движеніе, между тѣмъ какъ сила CG представляетъ намъ часть удара дѣйствующую на плоскость LM только въ видѣ давленія. — Что же касается до касательной силы AB , то она производитъ вращеніе, которое въ этомъ случаѣ по своему направленію содѣйствуетъ поступательному движенію.

Если направленіе удара падаетъ ниже центра (ф. 130), то силу AD мы можемъ разложить подобно предыдущему на AB и AE , а послѣднюю силу на CG и CF , изъ которыхъ CG , дѣйствуетъ противу направленія силы тяжести между тѣмъ какъ въ предшествовавшемъ случаѣ эта часть удара содѣйствовала тяжести. Здѣсь должно замѣтить также, что касательная сила сообщаетъ шару вращеніе въ сторону противоположную направленію поступательнаго движенія. Такъ какъ послѣднее движеніе прекращается ранѣе перваго, то шаръ, пройдя извѣстное разстояніе повернется назадъ. Тоже самое дѣйствіе произойдетъ и въ томъ случаѣ если сообщить шару отвѣсный ударъ въ точку I или близъ нее.

Фиг. 130.



Если направленіе удара падаетъ ниже центра (ф. 130), то силу AD мы можемъ разложить подобно предыдущему на AB и AE , а послѣднюю силу на CG и CF , изъ которыхъ CG , дѣйствуетъ противу направленія силы тяжести между тѣмъ какъ въ предшествовавшемъ случаѣ эта часть удара содѣйствовала тяжести. Здѣсь должно замѣтить также, что касательная сила сообщаетъ шару вращеніе въ сторону противоположную направленію поступательнаго движенія. Такъ какъ послѣднее движеніе прекращается ранѣе перваго, то шаръ, пройдя извѣстное разстояніе повернется назадъ. Тоже самое дѣйствіе произойдетъ и въ томъ случаѣ если сообщить шару отвѣсный ударъ въ точку I или близъ нее.

Сопротивленія движенію.

Различіе
сопро-
тивленія
инерціи
и
трѣнія.

§ 77. Мы уже говорили, что всякое движеніе на основаніи закона инерціи должно было бы оставаться неизмѣннымъ и продолжаться вѣчно, но какъ подобнаго движенія мы не встрѣчаемъ въ природѣ, то причину уклоненія отъ этого непреложнаго закона должно искать въ тѣхъ препятствіяхъ, которыя тѣла встрѣчаютъ при движеніи своемъ. Къ препятствіямъ этимъ относятся *трѣніе*, *сопротивленіе* такъ называемыхъ *срединъ* или *тѣлъ* въ которыхъ происходитъ движеніе и наконецъ *жесткость веревочъ*, служащихъ для передачи движенія.

Трѣніе.

§ 78. Если бы тѣло лежало совершенно гладкою поверхностію на совершенно гладкой же горизонтальной подстилкѣ, то для доставленія ему равномернаго движенія достаточно было бы употребить только такую силу, которая необходима для преодоленія сопротивленія, представ-

лелемаго инерціею тѣла. Каждое тѣло, не взирая на самую тщательную полировку, вслѣдствіе скважности всегда имѣетъ на своей поверхности нѣкоторыя неровности, состоящія изъ выпуклостей и углубленій.

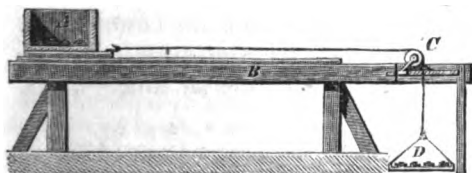
Фиг. 131.



По этому, если положить тѣло А (фиг. 131) на подставку, то очевидно, что выпуклости его войдутъ въ соотвѣтственные углубленія и тѣло А можетъ скользить по подстилкѣ только въ томъ случаѣ, если эти выпуклости будутъ сглаживаться или если выпуклости верхняго тѣла, при незначительности возвышеній подстилки въ состояніи будутъ выходить изъ углубленій. Поэтому для приведенія тѣла А въ движеніе мы должны сообщить ему такой толчекъ, который кромѣ преодоленія сопротивленія инерціи тѣла въ состояніи былъ бы уничтожать препятствія представляемыя поверхностями соприкасающихся тѣлъ. Какъ двигающееся тѣло въ каждой точки подстилки встрѣчаетъ подобныя препятствія, то очевидно, что для побѣжденія ихъ должна постоянно истрачиваться извѣстная часть силы. Слѣдовательно, чтобы поддерживать движеніе тѣла, мы должны постоянно прилагать силу для уничтоженія препятствій представляемыхъ на каждомъ шагѣ поверхностями двигающихся тѣлъ.

Сопротивленіе это, происходящее вслѣдствіе неровностей, представляемыхъ поверхностями сопротивляющихся тѣлъ, называется *трѣніемъ*. Чтобы найти силу необходимую для преодоленія трѣнія, представляемаго тѣлами, должно опредѣлить законы этого сопротивленія на опытъ. Выводами ихъ занимались сперва Мушенброкъ, а потомъ Куломбъ, представившій въ 1779 году самые отчетливые результаты объ этомъ предметѣ въ парижскую академію наукъ, которая наградила его двойною преміею. Наконецъ въ настоящее время результаты Куломба были повѣрены со всею строгостію французскимъ физикомъ Мореномъ, который употреблялъ для этого слѣдующій способъ. Онъ клалъ на столъ небольшія санки

Фиг. 132.



и нагружалъ ихъ тяжестію; къ санкамъ привязывалъ снуръ, проходящій чрезъ блокъ и оканчивающійся чашкою для наложенія гирь. То количество гирь, которое необходимо положить на чашку для того, чтобы сдвинуть тѣло съ мѣста и опредѣлить намъ величину сопротивленія представляемаго трѣніемъ или, говоря другими словами, величину силы, уравновѣшиваемой трѣніемъ.

Сила эта, выраженная количествомъ гирь, называется *коэффициентомъ трѣнія*.

§ 79. Послѣ многочисленныхъ и тщательныхъ опытовъ Моренъ вы-Обстоя-
велъ слѣдующіе результаты: тельства
выбюція
на трѣ-
ніе.

Сопротивленіе, представляемое трѣніемъ, или сила, которая уравновѣшивается трѣніемъ бываетъ тѣмъ *значительнѣе*:

1) Чѣмъ жесче соприкасающіяся тѣла, потому что на жесткихъ поверхностяхъ неровности бываютъ значительнѣе и многочисленнѣе чѣмъ на поверхностяхъ сглаженныхъ.

И въ самомъ дѣлѣ для передвиженія неструганной доски по неструганной подстилкѣ мы должны употребить гораздо значительнѣйшее усиліе, нежели въ томъ случаѣ, когда неровности, представляемыя поверхностями этихъ тѣлъ, будутъ сглажены посредствомъ струганія.—На этомъ основаніи тѣ мѣста машинъ, которыя подвержены тренію обыкновенно сглаживаются напилькомъ и полируются.—Кромѣ того неровности, представляемыя этими частями, сглаживаются сами собою во время дѣйствія машинъ, такъ что *по прошествіи извѣстнаго времени въ машинахъ значительно уменьшается треніе, обнаруживаемое при началѣ ихъ движенія.*

Здѣсь должно замѣтить, что при слишкомъ тщательномъ сглаживаніи можетъ въ иныхъ случаяхъ увеличиваться прилипаніе, такъ что съ уменьшеніемъ одного препятствія можетъ увеличиться другое.

Для уменьшенія тренія жесткихъ тѣлъ весьма часто пользуются легкою подвижностію частицъ жидкихъ тѣлъ, оказывающихъ гораздо меньше сопротивленіе движенію. Частицы этихъ тѣлъ проникаютъ въ углубленія поверхностей и держатъ эти поверхности въ извѣстномъ отдаленіи другъ отъ друга.

Согласно со свойствами поверхностей трущихся тѣлъ употребляютъ различные жидкости для смазки; такъ напримѣръ между металлами помѣщаютъ масло или сало, между деревянными поверхностями сало, мыло или графитъ; вода же, могущая производить разбуханіе дерева, употребляется при движеніи металла по камню. При треніи чугунныхъ поверхностей лучшею смазкою служитъ свиное сало, а при треніи мѣди объ чугунъ простое сало или мыло. Въ большихъ машинахъ при взаимномъ треніи металловъ смазкою служитъ смѣсь изъ 1 части графита и 4 частей свиного сала.

2) Чѣмъ болѣе давленіе оказываемое однимъ тѣломъ на другое, потому что отъ увеличенія давленія возвышенія одной поверхности могутъ значительно вдавливаться въ углубленія другой. Въ справедливости этого убѣждаютъ насъ самыя обыкновенныя явленія общезжитія. Такъ напримѣръ для передвиженія повозки по самой гладкой дорогѣ требуется тѣмъ большее усиліе, чѣмъ значительнѣе она нагружена; чѣмъ тверже ступаемъ на ледъ, тѣмъ менѣе можетъ опасаться на счетъ паденія.

Если сравнить вѣсъ тѣла *A*, привязаннаго къ шнуру (фиг. 132) съ тѣмъ вѣсомъ который кладется на чашку *D* для преодоленія тренія, то найдемъ при обыкновенныхъ обстоятельствахъ, что приложенный вѣсъ или коэффициентъ тренія будетъ составлять $\frac{1}{3}$ отъ всего вѣса тѣла а при сглаженныхъ поверхностяхъ число приложеннаго вѣса можетъ быть уменьшено до $\frac{1}{4}$ части.

Коэффициентъ тренія не зависитъ отъ величины прикасающихся поверхностей, если только вѣсъ или давленіе производимое однимъ тѣломъ на другое остается постояннымъ. И въ самомъ дѣлѣ хотя при увеличеніи поверхностей однихъ и тѣхъ же тѣлъ большее число вы-

дающихся точек прикасается между собою, но въ замѣнъ того уменьшается давленіе, которое заставляетъ каждую точку входить въ соотвѣтственное углубленіе. Въ справедливости этого не трудно убѣдиться передвигая книгу ребромъ и плашмя. Въ обоихъ случаяхъ должно употребить одинаковое число гирь для передвиженія ея.

На этомъ основаніи весьма ошибочно полагають нѣкоторые, что колеса съ широкими ободьями претерпѣвають на мостовой большее треніе противу одинаковыхъ колесъ съ узкими ободьями, если вѣсь колесъ въ обоихъ случаяхъ одинаковъ.

3) Чѣмъ однороднѣе неровности, потому что при поверхностяхъ съ однородными неровностями большее число возвышеній находить для себя соотвѣтственныя углубленія. И въ самомъ дѣлѣ треніе между желѣзными поверхностями значительнѣе, нежели между желѣзомъ и мѣдью, мягкое дерево при движеніи своемъ на твердой подстилкѣ претерпѣваетъ слабѣйшее треніе нежели на мягкой. Для желѣзныхъ осей употребляютъ мѣдныя втулки и вообще, если должно двигать другъ по другу два металла, то наблюдаютъ, чтобы одинъ изъ нихъ былъ отлитъ, а другой выкованъ.

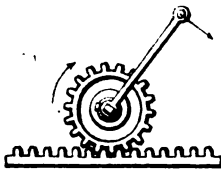
Если волокна двухъ деревьевъ скрещиваются (+), то треніе обнаруживаемое ими бываетъ слабѣе, нежели въ томъ случаѣ, когда эти волокна находятся въ параллельномъ направленіи между собою.—

4) Чѣмъ болѣе самый образъ движенія препятствуетъ къ освобожденію выпуклостей одного тѣла изъ углубленій другаго. Чтобы уменьшить это препятствіе скользящее движеніе тѣла сопряженное съ сглаживаніемъ или раздавливаніемъ неровностей замѣняютъ катя-

Фиг. 133.

Фиг. 134.

щимся движеніемъ (фиг. 133), при которомъ различныя точки катящагося тѣла задѣваютъ послѣдовательно за различныя точки подстилки. При послѣднемъ родѣ тренія возвышенія катящагося тѣла входятъ и выходятъ изъ углубленій



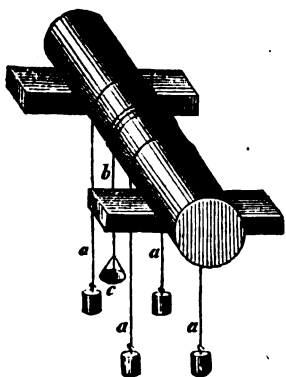
подстилки, точно также какъ зубцы колеса, катящагося вдоль полосы съ наръзанными зубцами (фиг. 134). Понятно, что для передвиженія такого колеса гораздо легче катить его, чѣмъ тащить вдоль полосы.

Треніе обнаруживаемое при катящемся движеніи называютъ *трениемъ второго рода*, въ отличіе отъ тренія, происходящаго при скользящемъ движеніи и называемаго *трениемъ первого рода*.

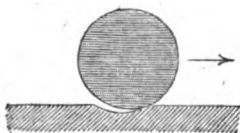
Чтобы еще болѣе убѣдиться въ незначительности тренія при катящемся движеніи стоитъ только обратить вниманіе на 134 фиг.—И въ самомъ дѣлѣ для передвиженія катящагося тѣла по нижней плоскости ему необходимо сперва подняться по небольшой наклонной плоскости ab , при чемъ всѣ точки его должны подняться на высоту наклонной плоскости или на столько, на сколько d лежитъ ниже b т. е. на весьма незначительную величину.

Кромѣ того треніе помогаетъ въ этомъ случаѣ вращающей силѣ доставлять верхнему тѣлу *поступательное* движеніе, потому, что часть тѣла прикасающаяся къ нижней плоскости, задерживается сопротивленіемъ послѣдней до тѣхъ поръ, пока вращающая сила не приведетъ въ прикосновеніе съ плоскостію новой части верхняго тѣла.

Для опредѣленія *коэффициента тренія* при катящемся движеніи кладутъ валъ изъ испытываемаго вещества (Фиг. 135)

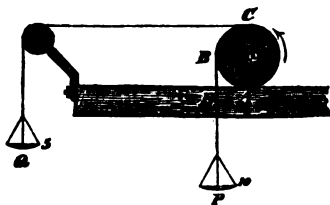


Фиг. 136.



на подставки и обматываютъ его нитію съ привязанною чашею. Если накладыватьъ осторожно гири въ чашу до тѣхъ поръ, пока валъ не начнетъ вращаться, то очевидно, что число гирь опредѣлитъ намъ въ этомъ случаѣ коэффициентъ тренія. Если станемъ обременять постепенно валъ новыми гирями и чрезъ то увеличивать давленіе производимое валомъ на горизонтальныя подставы, то найдемъ, что вмѣстѣ съ тѣмъ будетъ возрастать и величина коэффициента тренія. Обстоятельство это наводитъ насъ на предположеніе, что если катящійся по подстилкѣ валецъ имѣетъ значительный вѣсъ (Фиг. 136), то вслѣдствіе давленія, производимаго имъ на подстилку происходитъ постоянное измѣненіе прикасающихся частей: валецъ сплющивается и вмѣстѣ съ тѣмъ выдавливаетъ въ поддерживающей его поверхности небольшую бороздку, такъ что при наступательномъ движеніи своемъ онъ долженъ постоянно подниматься по небольшой наклонной плоскости. Зависимость тренія катящихся тѣлъ отъ вѣса показываетъ, что для опредѣленія величины тренія какого нибудь тѣла должно помножить коэффициентъ тренія соответствующій этому тѣлу на вѣсъ его.

Но кромѣ вѣса на величину тренія имѣетъ также вліяніе и величина діаметра катящагося тѣла. Положимъ, что сила P , (Фиг. 137), приложенная къ оконечности линіи BO , равной BA уравниваетъ сопротивленіе, представляемое треніемъ въ точкѣ A . Ясно, что тоже самое дѣйствіе можетъ произвести вдвое меньшая сила Q дѣйствующая на оконечность линіи AC , въ два раза большей противу линіи BO , потому что въ обоихъ случаяхъ моменты силъ будутъ равны между собою. Разсуждая такимъ же образомъ не трудно доказать, что если бы увеличился діаметръ колеса AC , то согласно этому увеличенію должна уменьшиться и сила уравнивающая сопротивленіе представляемое треніемъ. И въ самомъ дѣлѣ опытъ показываетъ намъ, что *трение уменьшается во столько разъ, во сколько увеличивается поперечникъ катящагося тѣла* или, говоря математическимъ языкомъ, *трение пропорціонально поперечнику катящагося тѣла*.

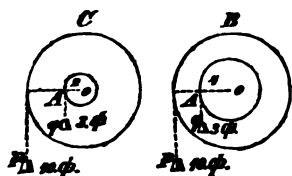


Выгода, доставляемая катящимся движеніемъ относительно тренія, служитъ причиною того, что для передвиженія значительныхъ тяжестей подстилаютъ подъ нихъ вальки.—Самое устройство нашихъ экипажей находится въ зависи-

ности отъ различія тренія представляемаго землею въ различное время года; такъ напримѣръ зимою, когда покрытая снѣгомъ земля представляетъ гладкую поверхность, мы ставимъ наши экипажи на полозья, между тѣмъ какъ лѣтомъ, когда земля бываетъ неровная, мы замѣняемъ скользящее движеніе полозьевъ катящимся движеніемъ колесъ. — Такъ какъ треніе при катящемся движеніи уменьшается съ увеличеніемъ діаметра и возрастаетъ сообразно вѣсу тѣла, то чтобы согласить оба эти условія не дѣлаютъ колесо сплошнымъ, а соединяютъ его ободъ со втулкою посредствомъ спицъ.

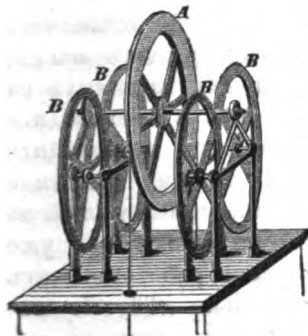
Мы знаемъ, что всякое катящееся тѣло должно производить *вращеніе* вокругъ своей оси. — Положимъ, что вращающееся тѣло дотрогивается нижнею своею частию до какой нибудь точки той поверхности, по которой оно катится. Ясно, что при этомъ всѣ выпуклости катящагося тѣла будутъ стремиться къ уничтоженію препятствія представляемаго вышесказанною точкою и треніе будетъ здѣсь происходить точно также, какъ и при скользящемъ движеніи. Тоже самое происходитъ и на оси колеса. По этому для уменьшенія тренія на осяхъ мы должны прибѣгать къ шифовкѣ, къ смазыванію и другимъ средствамъ употребляемымъ при скользящемъ треніи.

Такъ какъ треніе на оси противодѣйствуетъ силѣ, побѣждающей треніе на ободѣ колеса, то должно опредѣлить, отъ какихъ обстоятельствъ зависитъ величина этого противодѣйствія. Положимъ, что мы имѣемъ два колеса *С* и *В* (Фиг. 138 и 139), изъ которыхъ у послѣдняго ось вдвое больше нежели у перваго. Мы уже знаемъ, что отъ увеличенія поверхностей скользящихъ тѣлъ треніе не увеличивается; слѣдовательно хотя у колеса *В* поверхность оси увеличилась, но сила *q*, выражающая намъ величину тренія на его оси, останется таже какъ и на оси колеса *С*, имѣющаго вдвое меньшій радиусъ. Взявши моменты этихъ равныхъ силъ *q* и *q*, т. е. помноживши ихъ на ближайшее разстояніе отъ осей *о* и *о* найдемъ, что *дѣйствіе* силы *q* на колесо *В* будетъ *одвое болѣе* противъ той же силы *q*, дѣйствующей на



колесо *С* (3.4 для колеса *В* и 3.2 для колеса *С*). Слѣдовательно одна и таже сила *Р*, преодолевающая треніе на ободахъ колесъ *С* и *В* будетъ претерпѣвать во второмъ колесѣ вдвое большее сопротивленіе отъ тренія на оси, нежели въ первомъ. А какъ увеличеніе этого сопротивленія произошло отъ увеличенія діаметра оси колеса *В*, то значитъ, что *дѣйствіе* катящей силы будетъ *тѣмъ выгоднѣе*, *чѣмъ тоньше* ось колеса, или *чѣмъ діаметръ* колеса болѣе противу діаметра оси. Впрочемъ при уменьшеніи діаметра оси должно обращать вниманіе на то, чтобы она могла выдерживать давленіе груза.

Фиг. 140.



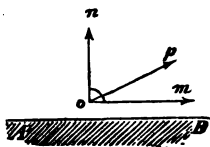
Чтобы уменьшить по возможности болѣе треніе осей во втулкахъ помѣщаютъ въ иныхъ машинахъ оси (Фиг. 140) въ углубленіяхъ образуемыхъ ободами двухъ колесъ заходящихъ другъ за друга. При вращеніи оси происходитъ также обращеніе колесъ, чрезъ что скользящее движеніе оси замѣняется катящимся.

Для уменьшенія тренія небольшихъ частей, производящихъ незначительныя движенія на одномъ и томъ же мѣстѣ даютъ имъ видъ клина, обращеннаго острымъ концомъ къ поверхности, на которой происходитъ движеніе.

Къ изложеннымъ нами законамъ тренія должно присовокупить, что треніе весьма мало зависитъ отъ увеличенія движенія и усиливается съ возвышеніемъ температуры при металлическихъ поверхностяхъ и съ влажностію при деревѣ.

Скажемъ теперь нѣсколько словъ объ устройствахъ экипажей, зависящемъ отъ тренія. — Если треніе весьма незначительно, какъ это бываетъ на желѣзныхъ дорогахъ, то наиблагоднѣйшее направленіе силы, производящей движеніе, бываетъ въ томъ случаѣ, когда она параллельна къ дорогѣ. — При значительномъ же треніи выгодноѣ располагать дышло нѣсколько наклонно къ дорогѣ, потому что въ этомъ случаѣ тянущая сила p (фиг. 141) разлагается на двѣ составляющія: на одну параллельную къ дорогѣ m и производящую поступательное движеніе экипажа и на другую отвѣсную n ; послѣдняя сила дѣйствуя прямо противоположно дѣйствію силы тяжести, уменьшаетъ давленіе экипажа на дорогу, а слѣдовательно уничтожаетъ отчасти и треніе.

Фиг. 141.



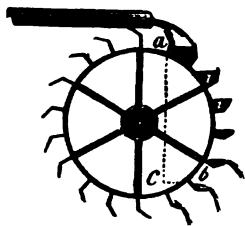
Законы равновѣсія силъ въ машинахъ.

Понятіе
о маши-
нахъ.

§ 80. Для произведенія различныхъ дѣйствій посредствомъ силъ, мы не всегда имѣемъ возможность непосредственно прилагать къ тѣламъ различныя силы, но въ большей части случаевъ приходится или измѣнять направленіе силы или измѣнять самый образъ дѣйствія ихъ, согласно какой нибудь опредѣленной цѣли — и въ каждомъ изъ этихъ случаевъ мы стараемся употреблять силы такимъ образомъ, чтобы онѣ производили известную работу при выгоднѣйшихъ для насъ условіяхъ. Эти различныя видоизмѣненія силъ, употребляемыхъ нами, совершаются посредствомъ особеннаго рода орудій или приборовъ, называемыхъ *машинами*.

Положимъ напр., что мы можемъ располагать силой текущей воды. Чтобы приспособить эту силу, дѣйствующую по направленію прямой линіи къ производству вращательнаго движенія, заставляютъ ее ударять на свободно вращающееся колесо, которое и представляетъ намъ машину. Машины всегда состоятъ изъ мертвыхъ массъ, которыя не могутъ сами по себѣ, безъ участія дѣйствующихъ на нихъ силъ, придать въ движеніе, а слѣдовательно и производить какую нибудь полезную работу. Работу эту можетъ производить только сила, приводящая въ движеніе машину и поэтому величина работы ни у одной машины не можетъ быть болѣе дѣйствующей на нее силы. При измѣреніи дѣйствія непрерывныхъ силъ мы уже имѣли случай видѣть, что одна и та же величина работы можетъ быть получена различнымъ образомъ. Слѣдовательно дѣйствіе машины должно заключаться только въ томъ, чтобы посредствомъ известнаго напряженія силы производить опредѣленную работу, которая ни въ какомъ случаѣ не можетъ быть болѣе даннаго напряженія силы.

Положимъ, что при дѣйствіи водянаго колеса (фиг. 142) 20 кубическихъ футовъ воды могутъ, вслѣдствіе тяжести опускаться, на 8 футовъ книзу. Полагая каждый куб. футъ воды равнымъ 70 фунтамъ, мы получимъ, что 20 куб. футовъ будутъ вѣсить 35 пудовъ; слѣдовательно напряженіе воды въ секунду $= 35 \times 8$ или 280 пудофутамъ. Значитъ, при самомъ выгодномъ случаѣ можетъ быть сообщена колесу только эта величина работы, т. е. посредствомъ колеса, мы будемъ въ состояніи поднять въ секунду никакъ не болѣе 280 пудовъ на 1 футъ, или 28 пудовъ на 10 футовъ. Не должно упускать изъ виду, что эту работу собственно производитъ не колесо, но двигающая сила, именно вѣсъ падающей на колесо воды.



Машина, приведенная въ движеніе по закону инерціи, должна бы продолжать это движеніе, но если при этомъ она встрѣтитъ препятствіе, то очевидно, что послѣднее или остановить движеніе машины, или потребуетъ для продолженія дѣйствія новой силы.

Опытъ показываетъ, что всѣ машины встрѣчаютъ сопротивленія своему движенію, между которыми главнѣйшую роль играетъ треніе; для преодоленія его, какъ мы уже сказали, необходимо извѣстное напряженіе силы, потому что безъ этого условія преодоленіе тренія будетъ составлять само по себѣ работу, которая вмѣстѣ съ работою, составляющею цѣль машины, должна быть равна напряженію дѣйствующей силы. Слѣдовательно полезная работа каждой машины *всегда нѣсколько меньше величины приложенной къ ней силы.*

Это истрачиваніе работы силы на преодоленіе бесполезныхъ сопротивленій, встрѣчаемыхъ при каждой машинѣ, показываетъ, что ни одно движущееся тѣло не въ состояніи передать своего движенія другому тѣлу въ такой степени, въ какой оно само получило его отъ двигающей силы. Положимъ, что движущееся тѣло извѣстною частію сообщенной ему силы, побѣждаетъ въ первый моментъ представляющіяся ему препятствія со стороны сопротивленія воздуха, тренія и др. причинъ. Если бы послѣ того препятствія возобновлялись болѣе, то очевидно, что остальное напряженіе силы могло бы быть обращено прямо на полезное дѣйствіе. Но какъ сила уничтожаетъ только противодѣйствіе, представляемое препятствіями, а не причину ихъ, зависящую отъ самаго вещества тѣлъ, производящихъ движеніе и отъ нахожденія ихъ въ матеріальной срединѣ, то ясно, что вслѣдъ за побѣжденнымъ противодѣйствіемъ появляется новое, которое подобно прежнему для преодоленія своего потребуетъ новую часть изъ оставшагося напряженія силы. Такое постоянное возобновленіе препятствій должно наконецъ израсходовать все напряженіе дѣйствующей силы, если только она не будетъ получать новаго прироста.

Изъ этого закона, которому подчиняются всѣ силы природы при дѣйствіи на тѣла, вытекаетъ прямо невозможность устройства такой

машины, которая по приведеніи ее въ движеніе продолжала бы двигаться безостановочно съ сообщенною ей скоростію, не требуя вовсе возобновленія дѣйствующей силы. Подобная машина была бы очевидно возможна только тогда, если бы не существовали препятствія къ движенію тѣла.

Не взирая на всю ясность и справедливость этого вывода, нѣкоторые занимаются устройствомъ подобной машины, извѣстной подъ названіемъ *машины вѣчнаго движенія* или *perpetuum mobile*. Люди, незнакомые съ основными законами дѣйствія силъ, придумывали для устройства *perpetuum mobile* многоразличные приемы. Такъ наприм. старались устроить части машины такимъ образомъ, чтобы движеніе одной части могло передаваться къ другой, отъ другой къ третьей, и т. д. до послѣдней, которая должна была дѣйствовать на первую, чрезъ что по ихъ мнѣнію долженъ былъ образоваться новый кругъ движенія.

Но какъ подобныя приемы конечно не могли привести къ достиженію предположенной цѣли, то стали отыскивать такъ называемую *увеличивающуюся силу*, которая во время дѣйствія на тѣло, вмѣстѣ съ тѣмъ могла бы постоянно увеличиваться. Такимъ образомъ одну нелѣпость замѣнили другою еще большею. Другіе же пытались примѣнить для этой цѣли силу магнетизма и электричества; но чѣмъ далѣе идутъ наши познанія объ этихъ силахъ, тѣмъ болѣе убѣждаемся мы, что и онѣ подвержены тѣмъ же неизмѣннымъ законамъ какъ и всѣ прочія.

Чтобы вывести по возможности проще законы дѣйствія силъ въ машинахъ, мы не будемъ обращать вниманія на самыя препятствія, встрѣчаемыя машинами при ихъ движеніи.

Главнѣйшая цѣль всякой машины, какъ мы уже сказали, состоитъ въ произведеніи извѣстной работы посредствомъ наивыгоднѣйшаго употребленія силы. Работа эта заключается въ побѣжденіи извѣстныхъ сопротивленій, которыя очевидно могутъ быть представлены въ видѣ силы, противодѣйствующей напряженію употребляемой нами силы. Такимъ образомъ на всякую машину мы можемъ смотрѣть какъ на тѣло, къ которому приложены двѣ противоположныя силы. Силу, употребляемую нами, принято называть въ этомъ случаѣ общимъ выраженіемъ — *сила*, а препятствіе, противодѣйствующее этой силѣ, носитъ названіе *сопротивленія*.

Но прежде изслѣдованія законовъ движенія покажемъ сперва, каково должно быть отношеніе между дѣйствующими силами для того, чтобы машина сохраняла равновѣсіе.

Отношеніе между силою и сопротивленіемъ во время равновѣсія машины называется *статическимъ отношеніемъ силъ*.

Зная это отношеніе, легко уже употреблять машину для произведенія извѣстнаго движенія, стоитъ только употребить такую силу, которая кромѣ преодоленія противопоставляемаго ей сопротивленія, могла бы производить также движеніе или другое полезное дѣйствіе.

Справедливость этого мы можем пояснить слѣдующимъ примеромъ:

Положимъ, что человѣкъ долженъ поднять пудовую гиру, лежащую на землѣ, на высоту 10 футовъ. Ясно, что онъ долженъ употребить сперва силу, которая была бы въ состояніи преодолѣть дѣйствіе тяжести на гиру. Въ самый моментъ отдѣленія гиры отъ земли, дѣйствіе тяжести будетъ въ равновѣсіи съ силою человѣка и если при этомъ человѣкъ не увеличитъ напряженія силы приложенной къ гири, то она ни насколько не поднимется кверху. Если же человѣкъ прибавитъ къ употребленной имъ силѣ самую незначительную часть новаго напряженія, то очевидно, что это напряженіе и будетъ служить собственно для поднятія гиры. Понятно, что съ увеличеніемъ прибавленной силы, ускорится только время ея поднятія.

§ 81. Машины бываютъ простыя и сложныя; первыя не имѣ^{Различныя составныя части}ютъ никакихъ составныхъ частей, а сами входятъ въ составъ слож^{Машины}ныхъ машинъ. Мы рассмотримъ только самыя обыкновенныя машины, имѣть понятіе о которыхъ весьма важно въ настоящее время по ихъ всеобщему употребленію. Къ простымъ относятся: *рычагъ, блокъ, воротъ, наклонную плоскость, клинъ и винтъ*.

Мы будемъ сперва выводить статическое отношеніе для машинъ, рассматривая послѣднія въ математическомъ смыслѣ, т. е. безъ дѣйствія на нихъ силы тяжести.

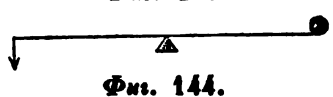
I. Простыя машины.

§ 82. Представимъ себѣ, что какой нибудь негибкій прутъ опи^{Рычагъ}рается одною точкою на какую нибудь постороннюю неподвижную матеріальную точку и что къ другой точкѣ этого прута приложена сила для противодѣйствія извѣстному сопротивленію, дѣйствующему на произвольную точку прута. При подобныхъ условіяхъ прутъ этотъ носитъ названіе *рычага*. Изъ этого опредѣленія слѣдуетъ, что неотъемлемую, существенную принадлежность рычага должны составлять три точки: *точка опоры рычага, точка приложенія силы и точка приложенія сопротивленія*.

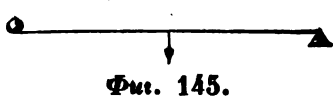
Эти три точки могутъ мѣняться своими мѣстами относительно другъ друга. Но главнѣйшія замѣненія заключаются собственно въ измѣненіи положенія точки опоры относительно силы и сопротивленія.

Или точки приложенія силы и сопротивленія находятся по концамъ рычага, а точка опоры между ними (Фиг. 143), или сила и сопротивленіе

Фиг. 143.



Фиг. 144.



Фиг. 145.



приложены по одну сторону отъ точки опоры (Фиг. 144 и 145). При послѣднемъ расположеніи могутъ быть два случая, смотря потому, что ближе находится къ точкѣ опоры, сила или сопротивленіе. Расстояніе между точкою опоры и точкою приложенія силы или сопротивленія называется *плечомъ* рычага.

Рода
рычага.

§ 83. Разсматривая различіе рычаговъ относительно точки опоры, не трудно замѣтить, что послѣдняя точка принимаетъ въ рычагахъ только два положенія: или она находится между точками приложенія силы и сопротивленія, или по одну какую либо сторону отъ нихъ. Поэтому рычаги раздѣляютъ *собственно* на два рода — на *рычаги первого рода*, въ которыхъ точка опоры лежитъ между точками приложенія силъ и сопротивленія, и на *рычаги второго рода*, въ которыхъ точки приложенія силы и сопротивленія лежатъ по одну сторону отъ точки опоры. Перваго рода рычаги называются также *двуплечными*, а второго рода — *одноплечными*.

Какъ въ одноплечныхъ, такъ и въ двуплечныхъ рычагахъ, точка опоры можетъ находиться на одной прямой линіи съ точками приложенія силы и сопротивленія. Такого вида рычаги называются *прямыми*, въ отличіе отъ *кольчатыхъ* и *криволинейныхъ*, въ которыхъ линія, соединяющая эти точки, бываетъ или ломаная или кривая.

Изъ сказаннаго нами не трудно понять, что подъ математическимъ рычагомъ должно разумѣть негибкую линію, соединяющую три точки, которыя составляютъ существенную принадлежность всякаго рычага: точку опоры и точки приложенія силы и сопротивленія.

Условія
равно-
вѣсія
рычага
при дѣй-
ствіи
двухъ
силъ.

§ 84. Мы уже знаемъ изъ § 48, что произведеніе изъ силы на отвѣсную проведенную изъ какой нибудь точки на направленіе силы называется статическимъ моментомъ этой силы относительно той точки, изъ которой опущена отвѣсная линія и что кромѣ того статическіе моменты двухъ пересѣкающихся или параллельныхъ силъ (§ 49) относительно каждой точки ихъ равнодѣйствующей должны быть равны между собою.

Помня это, легко вывести условіе равновѣсія рычага при дѣйствіи на него двухъ силъ. И въ самомъ дѣлѣ, равновѣсіе на математическомъ рычагѣ возможно въ томъ случаѣ, когда равнодѣйствующая силъ, дѣйствующихъ на этотъ рычагъ, проходитъ чрезъ точку опоры его, если только въ этомъ случаѣ дѣйствіе равнодѣйствующей можетъ уничтожаться сопротивленіемъ неподвижной оси вращенія рычага. Такъ что, если мы назовемъ *силы*, дѣйствующія на рычагъ, чрезъ *P* и *Q*, а перпендикуляры, проведенные изъ точки опоры на направленія силъ или ближайшія разстоянія послѣднихъ отъ точекъ

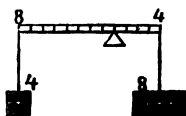
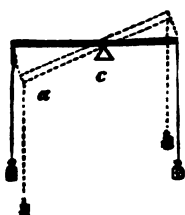
опоры чрезъ a и b , то несмотря на родъ и самую форму рычаговъ для равновѣсія ихъ будемъ имѣть слѣдующее равенство: $Pa = Qb$ или $P : Q = b : a$, т. е. одна сила относится къ другой, какъ разстояніе последней до точки опоры къ разстоянію точки приложенія первой до точки опоры рычага. Силы, дѣйствуя на рычагъ, стараются привести его въ движенія противоположныя одно другому. Очевидно, что равновѣсіе при этомъ возможно тогда, когда дѣйствіе производимое одною силою уничтожаетъ дѣйствіе другой силы. Моменты силъ, выражающіе стремленіе силъ привести рычагъ въ вращательное движеніе, называются *моментами вращенія*. Отсюда видно, что способность силы привести рычагъ въ вращательное движеніе не зависитъ только отъ величины силы, но также отъ перпендикуляра проведеннаго отъ точки вращенія до точки приложенія силы или, говоря другими словами, отъ ближайшаго разстоянія первой точки до второй.

§ 85. Разсмотримъ сперва *двуплечій* математическій рычагъ. При этомъ могутъ быть два случая: или плеча рычага равны между собою, или одно плечо длиннѣе другаго. Въ первомъ случаѣ рычагъ принимаетъ названіе *равноплечаго*, а во второмъ — *неравноплечаго*.

а) *Равноплечій рычагъ*. Его точка опоры лежитъ посрединѣ въ c .
Фиг. 146.

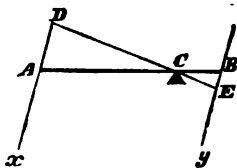
Такъ какъ колѣна bc и ca равны, то очевидно въ этомъ случаѣ невозможно меньшею силою держать въ равновѣсіи большую. Поэтому на *равноплечемъ рычагѣ* сила должна быть равна сопротивленію. Если длина каждого плеча, положимъ, равна 3-мъ футамъ, а сопротивленіе равно 6 фунтамъ, то и сила должна быть = 6 фунтамъ, для того чтобы получить для статическаго момента равныя произведенія ($6 \times 3 = 3 \times 6$).

б) *Неравноплечій рычагъ*, какъ мы сказали, есть такой, гдѣ одно плечо длиннѣе другаго. Если при этомъ случаѣ обѣ гири равны (для большей ясности силы представлены гириями), то очевидно, что рычагъ не можетъ быть въ равновѣсіи и приметъ не горизонтальное, но наклонное положеніе, обозначенное на фиг. 147 точками. Для приведенія его въ горизонтальное положеніе необходимо припомнить себѣ условія равновѣсія двухъ параллельныхъ силъ, приложенныхъ отвѣсно къ двумъ неизмѣнно соединеннымъ точкамъ. Мы знаемъ, что эти силы могутъ быть только тогда въ равновѣсіи, когда моменты ихъ равны, т. е. $P \times ac = Q \times bc$, гдѣ P и Q представляютъ силы, изъ которыхъ мы можемъ одну принять за дѣйствующую силу, а другую за сопротивленіе. Условія эти соблюдены на фиг. 148, потому что здѣсь произведенія 4×8 и 8×4 равны между собою.



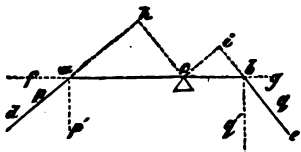
Если же на неравноплечей рычаг действуют двѣ параллельныя силы не въ перпендикулярномъ къ нему направленіи, а по направленіямъ Ax и Bu , наклоннымъ къ рычагу AB , то чтобы опредѣлить моменты силъ действующихъ на рычагъ, стоитъ только изъ точки C опустить на направленія силъ перпендикуляры CD и CE . Геометрія показываетъ намъ, что треугольники ACD и BCE подобны между собою, а слѣдовательно стороны этихъ треугольниковъ пропорциональны. Поэтому имѣемъ слѣдующую пропорцію: $CE : CD = BC : AC$, а потому $P : Q = BC : AC$, т. е. силы обратно пропорциональны соответствующимъ имъ плечамъ.

Фиг. 149.



Разсмотримъ теперь двуплечей рычагъ въ томъ случаѣ, когда сила и сопротивление действуют не параллельно одна къ другой. На рычагъ ab (Фиг. 150), котораго точка опоры находится въ e , действуют силы p и q по направленіямъ ad и be . Представимъ себѣ силу ad или p разложенною на двѣ силы, изъ которыхъ одна af действуетъ по направленію рычага ab , а другая ap' перпендикулярно къ рычагу. Точно также разложимъ и силу q на двѣ — одну bg ,

Фиг. 150.



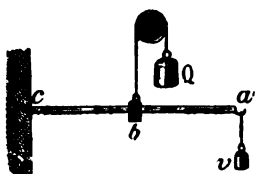
действующую по направленію рычага, и другую bq' перпендикулярную къ рычагу. Силы af и bg , нисколько не нарушая равновѣсія рычага, уничтожаются сопротивленіемъ точки опоры; слѣдовательно на рычагъ собственно будутъ действовать только двѣ силы ap' и bq' . Но мы уже знаемъ, что равновѣсіе произойдетъ тогда, когда сила q' будетъ во столько разъ больше p' , во сколько плечо eb меньше плеча ae , т. е. $q' : p' = ae : eb$.

Изъ приведеннаго нами разсужденія очевидно, что когда силы действуют косвенно на рычагъ, то часть ихъ теряется, такъ что если бы эти же самыя силы действовали на рычагъ кратчайшій, но перпендикулярно къ рычагу ab , то оказывали бы одинаковое дѣйствіе, несмотря на то, что рычагъ взятый нами былъ короче, а слѣдовательно при менѣе выгодныхъ условіяхъ. Если бы мы захотѣли опредѣлить этотъ короткій рычагъ, соответствующій рычагу ab , то стоитъ только продолжить направленіе силъ до тѣхъ поръ, пока направленія ихъ не будутъ перпендикулярны къ линіямъ соединяющимъ точку опоры съ точками приложенія силъ. Эти линіи на нашемъ чертежѣ представлены буквами cd и ce . Слѣдовательно дѣйствіе силъ p и q будетъ одно и то же, действуютъ ли онѣ на колѣнчатый рычагъ acd подъ прямыми углами, или косвенно на прямой рычагъ aeb .

Одно-
плечей
рычагъ.

§ 86. Изъ общаго разсмотрѣнія рычаговъ мы видѣли, что одноплечными рычагами называются такіе, у которыхъ сила и сопротивление приложены по одну сторону отъ точки опоры рычага. Такъ на Фиг. 151

Фиг. 151.

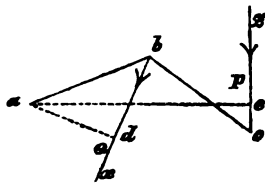


представленъ одноплечей рычагъ, точка опоры котораго находится въ c , сила v (и сила и сопротивление для большей ясности представлены гири) действуетъ въ точкѣ a , а сопротивление Q въ точкѣ b ; при чемъ сила v тянетъ рычагъ книзу, а сила Q поднимаетъ рычагъ кверху; направленія обѣихъ силъ перпендикулярны къ рычагу, а слѣдовательно параллельны между собою. Очевидно, что при равновѣсіи рычага равнодѣйствующая сила равная $v = Q$, пройдетъ чрезъ точку опоры

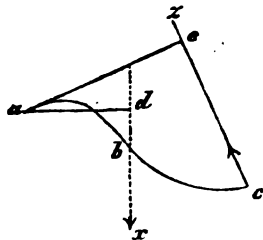
т. е. c ; а потому по теоріи параллельныхъ силъ получимъ слѣдующее равенство моментовъ силъ: $v \cdot ac = Q \cdot bc$; или $v : Q = bc : ac$. Такъ что, если ac въ два раза болѣе линіи bc , то гирю v вѣсомъ въ 5 фунтовъ мы будемъ въ состояніи уравновѣсить гирю въ 10 фунтовъ.

Если припомнимъ себѣ, какимъ образомъ находили мы моменты силъ для рычага перваго рода, когда силы дѣйствуютъ въ косвенномъ къ рычагу направленіи, то подобнымъ же образомъ найдемъ моменты силъ для рычаговъ втораго рода, имѣющихъ угловатую и изогнутую форму.

Фиг. 152.



Фиг. 153.

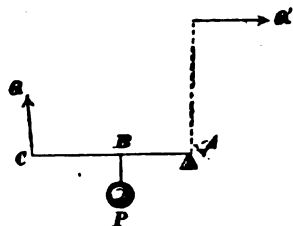


Пусть abc (фиг. 152) есть рычагъ втораго рода, точка опоры котораго находится въ a , сопротивленіе Q дѣйствуетъ на точку b по направленію bx , а сила P по направленію cx . Опустивъ перпендикуляръ ad на bd и ae на cx , получимъ для моментовъ силъ произведенія $P \times ae$ и $Q \times ad$, которые во время равновѣсія рычага должны быть равны, т. е. $P \times ae = Q \times ad$.

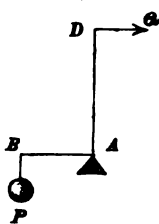
Точно такіе же условія существуютъ и для равновѣсія криволинейныхъ рычаговъ. На фиг. 153 представимъ криволинейный рычагъ abc , точка опоры котораго находится въ a , по направленію bx дѣйствуетъ внизъ одна сила, а другая вверхъ по направленію cx . Опустивъ на направленія силъ перпендикуляры ad и ae и помноживъ ихъ на соответствующія имъ силы, получимъ моменты силъ.

§ 87. Условія равновѣсія въ колѣнчатомъ рычагѣ тѣже самыя, какъ и въ предыдущихъ рычагахъ. Представимъ себѣ рычагъ

Фиг. 154.



Фиг. 155.



себѣ теперь колѣнчатый рычагъ BAD (фиг. 155), у котораго сила и сопротивленіе тѣже самыя, какъ и въ предыдущемъ случаѣ и вся разница только въ томъ, что сила Q приложена не къ конечности линіи CA , но къ конечности равной ей линіи AD . Если въ выведенномъ нами прежде равенствѣ $P \cdot AB = Q \cdot AC$, замѣнимъ величины Q и AC одинаковыми съ ними величинами Q' и AD , то получимъ, что $P \cdot AB$ будетъ равно $Q' \cdot AD$. Но какъ произведенія эти выражаютъ моменты силъ, дѣйствующихъ на колѣнчатый рычагъ, то очевидно, что при равенствѣ этихъ моментовъ колѣнчатый рычагъ будетъ находиться въ равновѣсіи.

Колѣчатый рычагъ употребляется въ томъ случаѣ, когда хотѣтъ замѣнить направленіе силы; такъ напр. дѣйствуя на рычагъ въ вертикальномъ направленіи, можемъ доставить сопротивленію движенье по горизонтальной линіи.

Условія
равновѣсія рычага при
дѣйствіи
нѣсколькихъ
силъ. § 88. Разсмотрѣвъ всѣ роды математическихъ рычаговъ, намъ еще остается сказать о равновѣсіи рычаговъ въ томъ случаѣ, когда на нихъ дѣйствуютъ не двѣ, а нѣсколько силъ. Если это рычагъ перваго рода, то положимъ, что нѣсколько силъ дѣйствуютъ по одну сторону точки опоры и нѣсколько силъ по другую сторону; на рычагѣ же втораго рода мы должны допустить, что однѣ силы дѣйствуютъ по направленію внизъ, а другія вверхъ. Но очевидно, что какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ равновѣсіе рычага требуетъ, чтобы сумма моментовъ силъ, дѣйствующихъ по направленію другъ къ другу, была равна суммѣ моментовъ противодѣйствующихъ первымъ силамъ. Подобный случай намъ встрѣтится при разсмотрѣніи физическихъ рычаговъ.

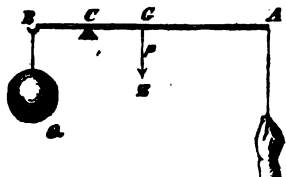
Во всѣхъ рычагахъ, какого бы рода и вида они ни были, мы постоянно видимъ, что во время равновѣсія моменты дѣйствующихъ силъ должны быть равны. Такъ, если мы означимъ силы чрезъ P и Q , а соотвѣтствующія имъ ближайшія разстоянія отъ точки опоры чрезъ a и b , то имѣемъ $P \cdot a = Q \cdot b$.

Откуда получаемъ, что $P = \frac{Q \cdot b}{a}$. Равенство это намъ показываетъ, что на

рычагахъ тѣмъ болѣе требуется напряженія силы, чѣмъ менѣе соотвѣтствующее ей плечо рычага. Поэтому въ рычагахъ втораго рода, никогда сила не можетъ быть равна сопротивленію, если онѣ не приложены въ одной точкѣ, но всегда болѣе или менѣе сопротивленія, смотря потому, ближе или далѣе противу сопротивленія отстоитъ дѣйствующая сила отъ точки опоры.

§ 89. До сихъ поръ мы разсматривали условія равновѣсія на рычагахъ математическихъ; посмотримъ теперь можно ли тѣже самыя условія примѣнить и къ *физическимъ рычагамъ*. Все различіе между тѣми и другими рычагами заключается въ томъ, что физическій рычагъ есть матеріальный пруть, слѣдовательно подверженный дѣйствию силы тяжести. Сила тяжести, какъ мы уже знаемъ, дѣйствуетъ на каждую матеріальную точку всякаго тѣла. Поэтому мы можемъ разсматривать физическій рычагъ какъ совокупность матеріальныхъ частицъ, изъ которыхъ на каждую дѣйствуетъ сила тяжести по отвѣсному направленію. Такъ какъ направленія этихъ дѣйствій тяжести на каждую частицу параллельны между собою, то мы можемъ замѣнить ихъ равнодѣйствующей, приложенной къ центру этихъ параллельныхъ силъ, который и будетъ такъ называемый центръ тяжести рычага. Поэтому, разсматривая дѣйствіе двухъ какихъ нибудь силъ на рычагъ, мы должны имѣть въ виду еще третью силу, приложенную къ центру тяжести рычага. Если послѣдняя точка совпадаетъ съ точкою опоры, то очевидно, что сила тяжести не будетъ оказывать никакого вліянія на равновѣсіе рычага. Но когда эти двѣ точки не совпадаютъ между собою, то понятно, что сила тяжести должна принимать участіе въ равновѣсіи рычага. Назовемъ силу дѣйствующую на рычагъ

Фиг. 156.



через P , а сопротивление через Q (Фиг. 156). Положимъ, что центр тяжести рычага находится въ G и что дѣйствіе силы тяжести на рычагъ равно p . Слѣдовательно во время равновѣсія мы можемъ разсматривать рычагъ этотъ какъ рычагъ математическій, къ которому приложены три силы P , B и p .

Чтобы получить моменты всѣхъ этихъ силъ, надобно провести перпендикуляры отъ точки C къ направленіямъ силъ; обозначимъ длины перпендикуляровъ черезъ a , b и c , и представимъ себѣ силу Q состоящую изъ q и q' , изъ которыхъ первая удерживается въ равновѣсіи силою P , а вторая силою p ; такъ что $P \cdot a = q \cdot b$ или $p \cdot c = q' \cdot b$, откуда $Pa + pc = (q + q')b = Q \cdot b$, т. е. сумма моментовъ силъ, дѣйствующихъ по одну сторону рычага во время равновѣсія, должна быть равна моменту силы, дѣйствующей по другую сторону рычага.

Эти условія равновѣсія никогда не должно упускать изъ виду при опредѣленіи величины силъ прилагаемыхъ къ рычагамъ. Условіями равновѣсія физическаго рычага объясняются многія явленія, кажущіяся съ перваго взгляда противорѣчащими съ общими законами равновѣсія рычаговъ. Такъ напр. почему, когда мы ничего не держимъ въ рукѣ, все таки требуется употребить извѣстное усиліе для поднятія ея? Причина этого обстоятельства очевидно заключается въ вѣсѣ руки, центр тяжести которой, какъ у всякаго одноплечаго рычага, не совпадаетъ съ точкою опоры.

Примѣры употребленія рычаговъ въ общезжитіи.

§ 90. Примѣненіе равноплечаго рычага мы видимъ на человѣкѣ (Фиг. 157) Примѣненіе рычаговъ.

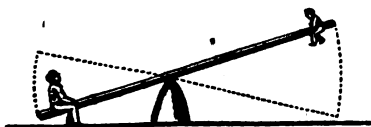
Фиг. 157.



несущемъ два ведра, привѣшанные къ концамъ коромысла, середина котораго лежитъ на плечѣ. Тоже самое представляютъ намъ вѣсы и блоки, устройство которыхъ будетъ объяснено нами ниже.

Въ общезжитіи мы встрѣчаемъ множество самыхъ разнообразныхъ примѣненій, имѣющихъ цѣлю доставить движеніе большимъ тяжестиамъ съ помощію незначительныхъ силъ. Одинъ изъ самыхъ обыкновенныхъ примѣровъ употребленія этого рычага бываетъ въ томъ случаѣ, когда два мальчика (Фиг. 158), различнаго возраста и имѣющіе различный вѣсъ, качаютъ другъ друга на доскѣ. Для этого они садятся на нее такимъ образомъ, чтобы на сторонѣ легчайшаго изъ нихъ была большая часть доски.

Фиг. 158.



Изъ числа прочихъ примѣненій неравноплечаго рычага, мы обратимъ вниманіе на слѣдующія:

Ломъ (фиг. 159), служащій для поднятія камней, состоитъ изъ прямого же-
лѣзнаго бруса, который иногда нѣсколько сплюс-
чивается на одномъ концѣ и загибается. Этотъ
Фиг. 159.

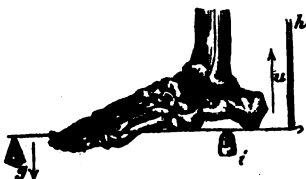


кусокъ дерева; рука человѣка, приложенная къ другому концу лома, служитъ двигающею силою.

Обыкновенныя *ножницы* и *щипцы* состоятъ изъ соединенія неравноплечихъ рычаговъ; точки опоры — стержень, на которомъ обращаются обѣ половинки ножницъ или щипцовъ. Сопротивленіе происходитъ отъ сдвигиванія или разрѣзыванія вещей, а рука, производящая давленіе на противоположные концы двухъ рычаговъ, составляетъ дѣйствующую силу. Орудія эти до того употребительны, что мы считаемъ излишнимъ помѣщать ихъ рисунки. Каждый можетъ повѣрить сказанное нами на опытѣ. Многія мельницы приводятся въ движеніе посредствомъ длиннаго горизонтальнаго рычага, къ одному концу котораго припряжены лошади для доставленія движенія другому концу, соединяющемуся съ отвѣснымъ валомъ. Посредствомъ обращенія послѣдняго приводятся въ дѣйствіе колеса всей мельницы. Кромѣ того, неравноплечій рычагъ употребляется для поднятія тяжестей съ возовъ, кораблей, а также для ихъ нагруженія.

Сюда же принадлежатъ: корабельный руль, шлагъ-баумъ и безмѣвнъ, о которомъ мы подробно будемъ говорить впоследствии. Движенія головы нашей принадлежатъ къ движеніямъ рычаговъ 1-го рода; точка опоры головы находится въ мѣстѣ соединенія затылочной кости съ позвоночнымъ столбомъ, сила заключается въ прикрѣпленномъ къ затылочной кости мускулѣ, который не позволяетъ головѣ слишкомъ наклоняться впередъ, а сопротивленіе составляетъ вѣсъ головы.

Здѣсь плечо рычага, къ которому приложена сила, короче другого плеча и потому при движеніи головы мы должны
Фиг. 160.



Фиг. 161.



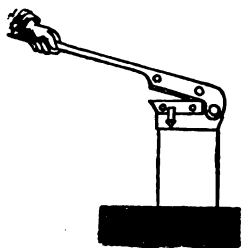
Примѣненіе колѣнчатаго рычага мы встрѣчаемъ при выдергиваніи гвоздей посредствомъ молотка (фиг. 161); гвоздь представляетъ здѣсь сопротивленіе, рука силу, а точка опоры находится въ промежуткахъ между ними.

а. Когда сопротивление действует между точкою опоры и точкою приложения силы.

Весла лодочных гребцовъ (фиг. 162) представляютъ примѣръ этого рычага, потому что при дѣйствіи ими точкою опоры служить вода, противу которой дѣйствуетъ плоская часть весла; сила въ рукахъ гребца, а сопротивление представляетъ вся подвигаемая впередъ масса судна, приложенная въ той точкѣ, гдѣ весло упирается о бортъ.



Фиг. 162.

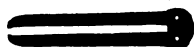


Фиг. 163.



Сюда же относится подвижной рѣзакъ (фиг. 163), прикрѣпленный однимъ концемъ къ скамейкѣ посредствомъ шарнира; солома, табакъ и прочіе предметы, назначенные для рѣзанія, помѣщаются между шарниромъ и другимъ концемъ рѣзака или рукою, за которую берется человекъ, чтобы разрѣзывать или крошить различныя тѣла.

Фиг. 164.



Орѣшныя щипчики (фиг. 164) состоятъ изъ двухъ одноплечіихъ рычаговъ, соединенныхъ шарниромъ, который представляетъ точку опоры.

Тачка (фиг. 165) есть тоже одноплечій рычагъ; лежащая въ ней тяжесть давить книзу; сила, доставляемая оглоблямъ, дѣйствуетъ вверху, а точка опоры находится на оси колеса. Хотя тачки и бываютъ различныхъ видовъ, но въ сущности устройство ихъ, основанное на рычагѣ, остается одно и тоже.

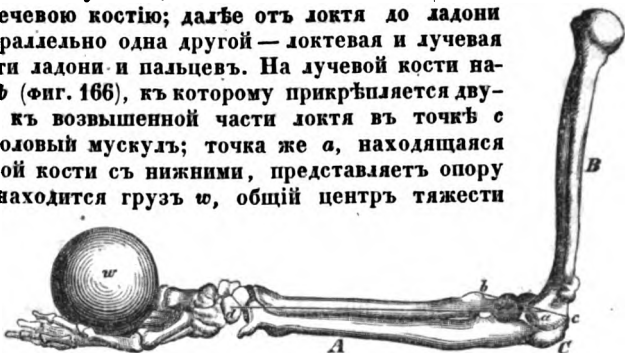
Обыкновенныя двери представляютъ также рычагъ этого рода; точка опоры ихъ находится въ томъ мѣстѣ, гдѣ двери посредствомъ петель прикрѣплены къ стѣнѣ.

б. Когда сила приложена между точкою опоры и точкою приложения сопротивленія.

Перо, карандашъ, грифель и другіе приборы, употребляемые для письма и черченія, относятся къ рычагамъ этого рода, потому что точка опоры здѣсь находится въ верхней части, сопротивленіе на другомъ концѣ при бумагѣ, а сила между этими двумя точками, въ томъ мѣстѣ, гдѣ пальцы держатъ перо, карандашъ или другую какую нибудь вещь, употребляемую для этой цѣли.

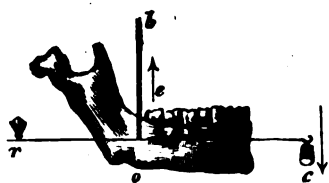
Въ природѣ весьма часто встрѣчаются рычаги, относящіеся къ этому ряду. Такъ напр. у большей части животныхъ и въ особенности у человека мы почти исключительно видимъ рычаги этого рода въ органахъ движенія. Главнѣйшимъ основаніемъ этихъ органовъ служатъ кости, производящія движенія посредствомъ сокращенія и растяженія прикрѣпленныхъ къ нимъ мышцъ. Разберемъ для примѣра человѣческую руку; для этого рассмотримъ сперва, кости входящія въ составъ руки нашей: самая верхняя

кость, сочленяющаяся съ туловищемъ и оканчивающаяся локтемъ, называется плечевой костью; далѣе отъ локтя до ладони слѣдуютъ 2 кости параллельно одна другой — локтевая и лучевая кости; потомъ — кости ладони и пальцевъ. На лучевой кости находится возвышеніе *b* (Фиг. 166), къ которому прикрѣпляется двуголовый мускулъ, а къ возвышенной части локтя въ точкѣ *c* прикрѣпляется трехголовый мускулъ; точка же *a*, находящаяся въ сочлененіи плечевой кости съ нижними, представляетъ опору рычага. На ладони находится грузъ *w*, общій центръ тяжести этого шара и костей находится положеніемъ въ точкѣ *d*. И такъ, въ точкахъ *b* и *c* приложены силы, въ *d* сопротивленіе, а точка опоры находится въ *a*, такъ что *da* представляетъ плечо, соотвѣтствующее тяжести, а *ba* и *ca* плечи, соотвѣтственные дѣйствующимъ силамъ. Все это вмѣстѣ составить два угловыхъ рычага *bad* и *cad*, въ которыхъ дѣйствіе силы будетъ происходить какъ въ рычагѣ второго рода.



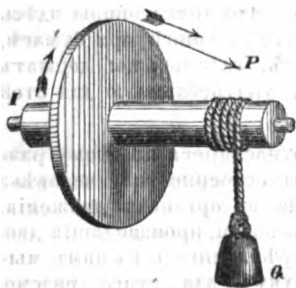
Поэтому, дѣйствуя руками, мы всегда употребляемъ силу большую сопротивленія, и отношеніе это между силой и сопротивленіемъ, измѣняется по мѣрѣ перемѣщенія положенія тяжести. Такъ напр. для поддержанія тяжести висающей близъ локтя, намъ должно употребить меньшее усиліе противу того случая, когда мы поддерживаемъ тяжесть пальцами; вотъ почему даже дѣти обыкновенно при переноскѣ тяжестей въ рукъ, такъ сказать инстинктивно, подвигаютъ ихъ ближе къ локтю.

Сюда же относится нижняя челюсть, точка опоры которой находится при соединеніи ея съ височною костью; сила приложена въ томъ мѣстѣ, гдѣ прикрѣпленъ жевательный мускулъ, а сопротивленіе представляетъ какое нибудь твердое тѣло, то кладемъ его на задніе зубы, сокращая тѣмъ самымъ длину плеча рычага, соотвѣтствующаго сопротивленію. Для большей ясности на Фиг. 167 представлена нижняя челюсть, точка опоры которой находится



въ *c*, сила дѣйствуетъ по линіи *bo* въ направленіи указанномъ стрѣлкою *e*, а въ *e* приложено сопротивленіе.

Воротъ. § 91. Воротъ состоитъ изъ цилиндра, называемаго валомъ, къ которому прикрѣплено колесо такимъ образомъ, что оси того и другаго находятся на одной линіи. На валѣ обыкновенно намотана веревка (Фиг. 168), къ которой привѣшенъ грузъ *Q*; на колесо же дѣйствуетъ сила *P* или посредствомъ веревки или посредствомъ придѣланныхъ къ нему спиць. Воротъ по положенію вала называется или горизонтальнымъ или вертикальнымъ. На предъидущей фигурѣ представленъ воротъ въ горизонтальномъ положеніи.



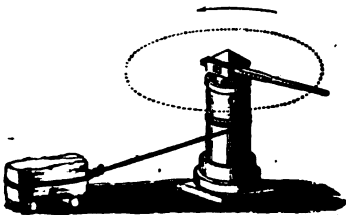
На фиг. 169 представленъ воротъ въ поперечномъ разрѣзѣ; ину-

Фиг. 169. треннй кружокъ изображаетъ разрѣзъ вала, а наружный—разрѣзъ колеса. Сила p приложена въ точкѣ d и дѣйствуетъ по направленію касательному къ колесу; а сопротивление Q приложено въ точкѣ b ; точка c представляетъ разрѣзъ оси ворота. Слѣдовательно линію bcd мы можемъ разсматривать какъ двуплечій рычагъ, точка опоры котораго находится въ c , а въ b и d приложены силы p и Q , дѣйствующія перпендикулярно къ плечамъ рычага; а потому для силъ p и Q мы получимъ на воротѣ слѣдующее отношеніе $p:Q=bc:cd$, т. е. сила относится къ сопротивленію какъ радиусъ вала къ радиусу колеса.

Очевидно, что тоже самое отношеніе мы получили бы, гдѣ бы не приложили силу на окружности колеса, такъ напр. еслибы въ точкѣ d' была приложена сила p' равная предыдущей, то мы получили бы слѣдующую пропорцію: $p':Q=bc:cd'$, но cd и cd' какъ радиусы одного и того же круга равны между собою, слѣдовательно мы получили бы тоже самое отношеніе какъ и въ предыдущемъ случаѣ.

Если бы какая нибудь сила r дѣйствовала по направленію, не касательному къ окружности, а напр. по направленію $d'h$, то для опредѣленія отношенія между силою r и тяжестію Q стоитъ только провести отъ c линію перпендикулярную къ линіи dh ; мы получимъ тогда рычагъ bcs , на которомъ отношеніе силы къ сопротивленію будетъ обусловлено слѣдующею пропорціею $r:Q=bc:cs$. Въ этомъ случаѣ выигрышъ въ силѣ очевидно менѣе выгоденъ, нежели въ предыдущемъ, когда сила дѣйствовала по направленію касательному къ окружности колеса, потому что линія cs менѣе линіи cd или cd' .

На фиг. 170 представленъ вертикальный воротъ, употребляемый обыкновенно для движенія большихъ тяжестей, которые привязываютъ къ валу. Горизонтальный же воротъ употребляется для вытаскиванія руды изъ глубокихъ рудниковъ, воды изъ колодезь, также при движеніи кораблей и во многихъ другихъ случаяхъ. Колеса водяныхъ и крылья вѣтрёныхъ мельницъ, представляютъ колеса различныхъ воротовъ.



Фиг. 170.

§ 92. Блокъ есть кружокъ, обращающійся на оси, проходящей ^{блоч.} черезъ его центръ; на окружности блока находится жолобъ, на которомъ обвита веревка. Если ось блока неподвижна, то и блокъ называется *неподвижнымъ*; если же ось, а слѣдовательно и блокъ, перемѣняетъ свое положеніе, то онъ называется *подвижнымъ*. Разсмотримъ отношеніе силы къ сопротивленію въ обоихъ случаяхъ.

Неподвижный блок. Здѣсь силы p и q (фиг. 171) дѣйствуютъ на Фиг. 171. двѣ точки a и b ; линія же acb представляетъ собою не иное что, какъ равноплечій рычагъ, точка опоры котораго находится въ c . При употребленіи неподвижнаго блока нисколько не выигрывается въ силѣ; онъ доставляетъ намъ только возможность прилагать силу въ произвольномъ направленіи соотвѣтственно какой либо определенной цѣли; какъ наприм. для доставленія воды изъ колодца.



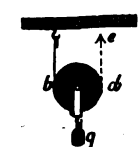
Съ большою пользою употребляется неподвижный блокъ при подниманіи Фиг. 172. тяжестей на какую либо высоту; положимъ напр., что нужно было бы поднять извѣстную тяжесть на крышу дома, то вмѣсто того, чтобы взойти на крышу и непосредственно тянуть грузъ,



гораздо удобнѣе, какъ это обыкновенно и дѣлаютъ, поднять ее посредствомъ неподвижнаго блока. Посредствомъ же неподвижнаго блока можно подниматься до извѣстной высоты и опускаться до произвольной глубины; стоитъ только къ одному концу веревки прикрѣпить ступь, сѣсть на него, а другой конецъ веревки взять въ руки (фиг. 172) и такимъ образомъ, употребляя силу большую въ сравненіи съ вѣсомъ нашего тѣла, можемъ опускаться или подниматься. Подобный способъ употребляетъ весьма часто пожарная прислуга при спусканіи съ высокихъ зданій.

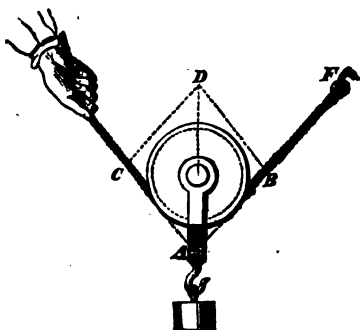
Подвижной блокъ отличается отъ неподвижнаго тѣмъ, что веревка обхватываетъ его снизу и одинъ конецъ ея укрѣпляется неподвижно, а на другой дѣйствуетъ сила; сопротивленіе же прикрѣпляется къ обоймицѣ, которая привѣшена къ оси блока c . Посмотримъ, какъ относится сила къ сопротивленію въ томъ случаѣ, когда сила дѣйствуетъ по направленію *параллельному* другому концу веревки.

На Фиг. 173 изображенъ такой подвижной блокъ; ясно, что блокъ Фиг. 173. этотъ представляетъ собою одноплечій рычагъ, точка опоры котораго находится въ b ; гири q , приложенная въ c , тянетъ его книзу, а на удвоенномъ разстояніи bc у точки d , извѣстная сила e дѣйствуетъ къверху. Такъ какъ послѣдняя сила приложена къ блоку на удвоенномъ разстояніи, то очевидно, что здѣсь сила можетъ удерживать въ равновѣсіи сопротивленіе, которое равно двойной силѣ,



т. е. если на подвижномъ блокѣ оба конца веревки параллельны, то во время равновѣсія сила равна половинѣ сопротивленія.

Фиг. 174.

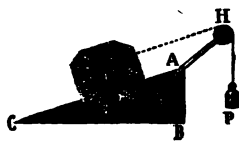


Если же концы веревки не параллельны другъ другу, то блокъ представляетъ меньшій выигрышъ въ силѣ. На фигурѣ 174 представленъ такой блокъ; въ F прикрѣпленъ одинъ конецъ веревки, а на другой дѣйствуетъ сила руки по направленію наклонному къ предыдущему концу веревки. Въ этомъ случаѣ сила должна быть больше половины сопротивленія. Продолжимъ направленіе вере-

вожъ внизъ до встрѣчи ихъ въ точкѣ A ; въ этой точкѣ проведемъ вертикальную линію, на которой отложимъ линію AD , представляющую собою величину сопротивленія поддерживаемаго блокомъ; изъ точки D проведемъ линіи CD и BD параллельно къ концамъ веревокъ; линіи AB и AC представляютъ напряженіе обоихъ концовъ веревокъ и величина силы выражается одною изъ этихъ линій; но такъ какъ напряженіе веревки вездѣ одинаково, то $AB = AC$, слѣдовательно оба конца веревки одинаково наклонены. Изъ четырёхугольника $ACDB$ видно, что AD меньше $2AC$ или Q меньше $2P$, откуда P больше половины Q ($Q/2$). Поэтому въ настоящемъ случаѣ сила должна быть больше половины сопротивленія и тѣмъ болѣе, чѣмъ далѣе концы веревокъ будутъ удалены отъ параллельнаго между собою положенія.

§ 93. Наклонная плоскость есть самая простая изъ всѣхъ машинъ; потому что она есть не что иное какъ твердая плоскость, составляющая уголъ съ горизонтальною. Такъ какъ сила тяжести стремится скатывать всякое тѣло съ этой плоскости, то чтобы удержать его отъ скатыванія, надобно употребить известную силу. Разсмотримъ теперь, какое отношеніе существуетъ во время равновѣсія на наклонной плоскости между силою и сопротивленіемъ.

Фиг. 175.

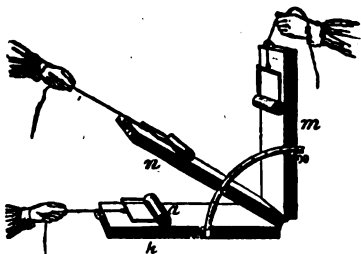


Пусть ABC (фиг. 175) представляетъ вертикальный разрѣзъ, проходящій чрезъ центръ тяжести тѣла Q , лежащаго на наклонной плоскости. AC представляетъ длину; AB — высоту; BC — основаніе, а уголъ ACB — уголъ наклоненія плоскости. Представимъ дѣйствіе силы тяжести на тѣло Q линіею DG , которая и выразитъ

сопротивленіе, потому что для преодоленія его мы должны употребить силу P . Силу эту можно разложить на двѣ силы — DE параллельную къ наклонной плоскости и DF перпендикулярную къ ней; послѣдняя сила уничтожается сопротивленіемъ плоскости, между тѣмъ какъ DE будетъ оказывать полное дѣйствіе. Поэтому чтобы тѣло Q находилось въ равновѣсіи, надобно употребить силу равную DE и дѣйствующую въ противоположномъ направленіи. Такъ какъ углы треугольника FGD равны угламъ треугольника ABC , то изъ этого слѣдуетъ, что эти два треугольника подобны одинъ другому, а слѣдовательно соответствующія стороны пропорціональны. Поэтому мы получимъ пропорцію $FG : Q = AB : AC$; но какъ сила P выражается линіею ED равною FG , то и получимъ: $P : Q = AB : AC$, т. е. сила относится къ сопротивленію такъ какъ высота наклонной плоскости къ ея длине.

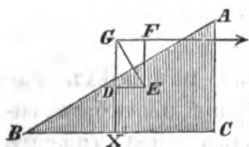
Слѣдовательно чѣмъ ниже наклонная плоскость, тѣмъ менѣе силы требуется для равновѣсія какого либо тѣла, находящагося на наклонной плоскости; такъ что когда высота равна 0, т. е. плоскость есть наклонной переходитъ въ горизонтальную (h), то и силу на-

Фиг. 176.



дѣйствуетъ параллельно къ направленію наклонной плоскости (фиг. 177). Но если сила P дѣйствуетъ параллельно не длинѣ на-

Фиг. 177.



клонной плоскости, а ея основанію, то для полученія отношенія между силою и сопротивленіемъ проведемъ изъ точки G перпендикуляръ на AB , и отъ D параллельную къ GF , а отъ точки E параллельную къ GD . Линія GE представляетъ намъ равнодѣйствующую двухъ силъ GF и GD , изъ которыхъ первая представляетъ дѣйствующую силу P , а вторая сопротивленіе Q . Такъ какъ стороны треугольника EGF перпендикулярны къ сторонамъ треугольника ABC , то изъ подобія этихъ двухъ треугольниковъ получаемъ пропорцію $GF:GD(=EF)=AC:BC$ или $P:Q=AC:BC$, т. е. сила, дѣйствующая параллельно основанію наклонной плоскости, относится къ сопротивленію такъ какъ высота наклонной плоскости къ ея основанію.

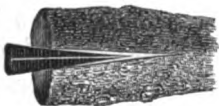
Фиг. 178.



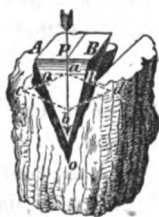
Наклонная плоскость весьма часто употребляется въ общежитіи, такъ напр. при постройкахъ вмѣсто того, чтобы поднимать различныя тяжести снизу на веревкѣ, обыкновенно втаскиваютъ ихъ навѣрхъ по наклонной плоскости. Также употребляется наклонная плоскость при подъемахъ на крутыя горы. Для поднятія на иныя горы (фиг. 178) проводятъ дорогу по нѣсколькимъ наклоннымъ плоскостямъ, лежащимъ другъ надъ другомъ.

КЛИНЪ. § 94. На фигурѣ 179 представлено бревно, въ расщелину котораго воткнутъ остроконечный кусокъ дерева. Разсматривая ближе форму послѣдняго не трудно замѣтить, что онъ состоитъ изъ двухъ наклонныхъ плоскостей приложенныхъ другъ къ другу.

Фиг. 179.



Фиг. 180.



своимъ составляютъ трехстороннюю призму, острый край которой b обыкновенно вставляется между двумя тѣлами или между частями одного и того же тѣла, для раздѣленія этихъ частей или тѣлъ. Сила, дѣйствующая на клинъ, состоитъ большею частию въ ударѣ, наносимомъ перпендикулярно къ тупому краю клина AB (фиг. 180), который называется шириною его; сдѣленіе же частицъ тѣла, распираемаго клиномъ,

представляет собою сопротивление, которое действует перпендикулярно къ краямъ клина Ao и Bo . Положимъ, что во время равновѣсія направлѣніе и величина дѣйствующей силы P выражается линіею ab . Разложимъ ее на двѣ силы ac и ad , изъ которыхъ ac уравновѣшиваетъ сопротивление съ лѣвой стороны, т. е. съ боку Ao , а ad противоѣдствуетъ сопротивленію съ правой стороны на бокъ Bo . Такъ какъ стороны треугольника abc перпендикулярны къ сторонамъ треугольника ABO , то изъ подобія треугольниковъ получаемъ пропорцію: $ab : ac = AB : Ao$ или $P : Q = AB : Ao$, т. е. сила относится къ сопротивленію какъ ширина клина къ длинѣ его боковъ. Поэтому чѣмъ при одной и той же ширинѣ клинъ длиннѣе, а слѣдовательно и тоньше, тѣмъ удобнѣе дѣйствовать имъ.

Клинъ употребляется для раскалыванія или раздѣленія твердыхъ тѣлъ, и въ этомъ случаѣ мы относимъ къ клину всѣ разрѣзывающіе инструменты, какъ то: ножи, бритвы, топоры, долота, иглы, шпaги и др., также зубцы пилы. Всѣ они исполняютъ свое назначеніе тѣмъ лучше, чѣмъ клинъ ихъ остроконечнѣе, но при этомъ должно смотрѣть, чтобы послѣднее условіе не мѣшало прочности ихъ. Мы знаемъ на опытъ, что слишкомъ острые ножи весьма часто ломаются.

Къ числу примѣненій клина должно отнести также и одно изъ главнѣйшихъ земледѣльческихъ орудій — плугъ, употребляемый для доставленія сообщенія съ воздухомъ той части земной коры, которая лежитъ на разстояніи нѣсколькихъ дюймовъ отъ поверхности послѣдней. Для этого отрѣзываютъ землю длинными ломтами (фиг. 181) и опрокидываютъ эти ломты другъ на друга, какъ показываетъ фигура 182. Для достиженія этой послѣдней цѣли обыкновенно даютъ плугу слѣдующую форму, которая, не взирая на свое разнообразіе, въ главныхъ основаніяхъ бываетъ одна и таже. На фигурѣ 183 представленъ одинъ изъ употребительныхъ плуговъ. Металлическая часть его c прорѣзываетъ борозду *отъсно*, между тѣмъ какъ другая часть его a отрѣзываетъ эту самую борозду отъ земли *горизонтально* и при движеніи своемъ впередъ поднимаетъ ее и поворачиваетъ на сторону, какъ видно на фиг. 184.

Фиг. 181 и 182.



Фиг. 183.

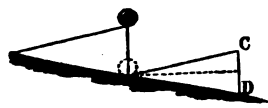


Фиг. 184.



Клинъ употребляется также для приподниманія различныхъ тяжестей. Очевидно, что при этомъ тяжести могутъ быть приподнимаемы только на ширину клина CD или до верхушки его (фиг. 185). Примѣръ полезнаго дѣйствія клина для передвиженія тяжестей, мы можемъ видѣть при поднятіи огромныхъ кораблей посредствомъ клиньевъ, подводимыхъ подъ килевую часть корабля; также когда выпрямляютъ трубы плавильныхъ печей, которыя, будучи построены на непрочномъ фундаментѣ, приходятъ въ наклонное положеніе. Средствомъ клиньевъ часто разламываютъ горныя породы при горныхъ работахъ, также въ каменоломняхъ, гдѣ часто неудобно употребить рычагъ, воротъ или другую простую машину. Въ англійскомъ

Фиг. 185.

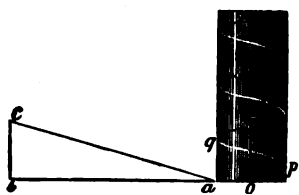


въ наклонное положеніе. Средствомъ клиньевъ часто разламываютъ горныя породы при горныхъ работахъ, также въ каменоломняхъ, гдѣ часто неудобно употребить рычагъ, воротъ или другую простую машину. Въ англійскомъ

граждѣ Дербѣ, при добываніи мельничныхъ жернововъ, употребляютъ клинья слѣдующимъ образомъ: около каменной массы, которую хотятъ отдѣлить отъ остальной массы, просверливаютъ дыры и вставляютъ въ нихъ сухіе деревянные клинья, которые притягивая влажность изъ воздуха, разбухаютъ и такимъ образомъ часть массы отдѣляется отъ цѣлой породы.

Если клинь употребляется для раздѣленія двухъ тѣлъ, то онъ производитъ на нихъ сильное давленіе. Примѣръ этого можно видѣть въ приборѣ употребляемомъ для выжиманія масла изъ сѣмянъ, которые помѣщаются для сего въ кожаный мѣшокъ, помѣщенный между двумя деревянными брусками. Въ промежуткѣ между брусками и стѣнками вбиваются клинья, которые производятъ такое сильное давленіе, что сѣмяна раздавливаются и получается масло.

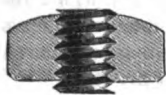
Винтъ. § 95. Развернемъ въ прямую линію кругъ, служащій основаніемъ цилиндру и возьмемъ эту прямую линію за основаніе прямоугольнаго треугольника abc ; представляющаго собою наклонную плоскость (фиг. 186). Если треугольникъ этотъ обвить вокругъ цилиндра такимъ образомъ, чтобы ab совпало съ основаніемъ цилиндра, то линія ac образуетъ на поверхности его постепенно восходящую кривую линію $opqr$, послѣдняя точка которой r будетъ лежать отвѣсно надъ начальною точкою o .



Линія эта, продолженная на томъ же основаніи вокругъ цилиндра, называется *винтовою линіею*. На приложенной фигурѣ винтовая линія обозначена съ задней стороны цилиндра бѣлою, а на передней черною чертою. Разстояніе отъ o до r именуется *высотой винтового хода*. Примѣромъ винта можетъ служить намъ спиральная лѣстница.

Основываясь на сказанномъ нами мы можемъ разсматривать каждую винтовую линію какъ наклонную плоскость, высота которой равна высотѣ винтового хода, а основаніе равно окружности винта.

Для употребленія винта въ общепитіи дѣлаютъ на поверхности его выпуклую наръзку (фиг. 187) по направленію наклонной плоскости; наръзка эта входитъ въ соотвѣтственные углубленія, вырѣзанныя внутри другаго тѣла, называемаго *гайкою*. Поэтому гайка состоитъ также изъ наклонной плоскости вырѣзанной



внутри цилиндра.

Соединеніе винта съ гайкою бываетъ двухъ родовъ или неподвижна, а винтъ приводится въ движеніе, какъ напр. въ прессахъ, или винтъ неподвиженъ, а гайка подвижная; такого рода винты мы встрѣчаемъ въ экипажахъ при завинчиваніи колесъ.

Разсмотримъ отношеніе между силой и сопротивленіемъ при равновѣсіи винта. Для большей простоты разсужденія предположимъ, что гайка заключаетъ въ себѣ только одинъ винтовой ходъ или, говоря другими словами, одинъ оборотъ наклонной плоскости. Хотя наклонная плоскость въ настоящемъ случаѣ загнута, но это нисколько

ко не измѣнять дѣйствія ея. Мы видѣли, что для удержанія въ равновѣсїи на наклонной плоскости какой либо тяжести, должно употребить силу меньшую въ сравненїи съ тяжестью, потому что часть тяжести уравнивается самымъ сопротивленіемъ плоскости. Точно также и для равновѣсія винта должно употребить силу меньшую противу сопротивленія. Обращая винтъ въ неподвижной гайкѣ, мы можемъ поднимать его вверхъ. Слѣдовательно если бы къ нижнему концу винта была привѣшена какая нибудь тяжесть, то очевидно, что вмѣстѣ съ обращеніемъ винта мы могли бы поднимать и самую тяжесть; и при каждомъ оборотѣ винта привѣшенная къ нему тяжесть поднимается на высоту одного винтового нарѣзка или на высоту наклонной плоскости, отъ обращенія которой произошла винтовая линія, потому что при каждомъ оборотѣ винта мы исключаемъ одну наклонную плоскость. Тяжесть, дѣйствующая по направленію винтовой оси, передаетъ это давленіе на всѣ точки окружности винтовой линїи и отсюда передается гайки. Поэтому какую бы не взяли точку на винтовой линїи на всякой изъ нихъ мы можемъ разсматривать сопротивленіе какъ тяжесть, дѣйствующую на наклонной плоскости, а вращательную силу винта можно разсматривать какъ силу, дѣйствующую параллельно основанію наклонной плоскости.

Ближайшее же отношеніе между силой и сопротивленіемъ выводится слѣдующимъ образомъ: такъ какъ сила здѣсь дѣйствуетъ параллельно основанію наклонной плоскости, а мы знаемъ, что въ этомъ случаѣ сила относится къ сопротивленію какъ высота къ основанію наклонной плоскости, и такъ какъ при винтѣ высота винтового хода соотвѣтствуетъ высотѣ наклонной плоскости, а окружность основанію ея, то очевидно, что для равновѣсія винта *сила должна относиться къ сопротивленію какъ высота винтового хода къ окружности винта.*

Такъ напр. если высота винтового хода въ 10 разъ меньше окружности винта, то для поддержанія въ равновѣсїи гири, привѣшанной къ концу винта, необходимо употребить силу, равную одной десятой части гири. Ясно, что отъ малѣйшаго увеличенія силы тяжесть будетъ подниматься вверхъ.

Слѣдовательно чѣмъ мельче нарѣзки винта (т. е. чѣмъ меньше высота винтового хода) и чѣмъ больше окружность винта (т. е. чѣмъ толще винтъ), тѣмъ легче производить извѣстную работу посредствомъ винта.

Значитъ, сила поднимающая по винтовой линїи какую либо тяжесть, должна быть тѣмъ меньше, чѣмъ меньше самая величина винтового хода или, говоря другими словами, чѣмъ положе винтовая линія.

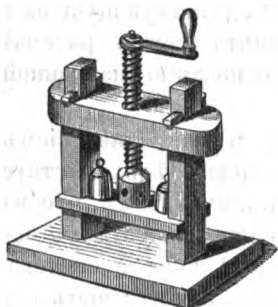
Винтовые ходы или нарѣзки дѣлаются или четвероугольные (плоскіе) или треугольные (острые). Металлическіе винты, употребляемые для винчиванія въ дерево, дѣлаются съ острыми нарѣзками для того, чтобы могли сами для себя обрадовать въ деревѣ гайку. Винты съ плоскими нарѣзками употребляются для выдерживанія большихъ

давленій. Винтовая наръзка можетъ обвивать цилиндръ по двумъ направленіямъ или съ лѣвой стороны въ правую, или съ правой стороны въ лѣвую. Первое направленіе называютъ въ механикѣ *dextrorsum*, а второе *sinistrorsum*. Чтобы указать на направленіе движенія, производимаго винтомъ или гайкою, употребляютъ слѣдующее правило: если гайка неподвижна, то замѣчаютъ, движется ли винтъ по одному или по противоположному направленію съ направленіемъ указываемымъ его названіемъ. Если же гайка подвижна, а винтъ неподвиженъ, то, вращая его вокругъ оси, сообщаютъ гайкѣ движеніе въ направленіи противоположномъ тому, какое бы принялъ самый винтъ.

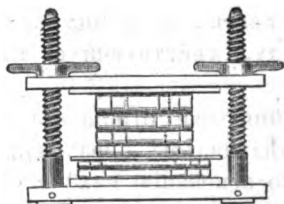
Употребленіе винта весьма обширно; онъ употребляется:

а) Для поднятія и для сжиманія различныхъ тѣлъ. На фиг. 188 представленъ прессъ. Гири, положенныя на среднюю доску его, могутъ быть подняты вверхъ отъ обращенія винта по направленію стрѣлки ↻.

Фиг. 188.



Фиг. 189.



Точно также, обращая винтъ въ противоположную сторону, мы можемъ произвести усиленное давленіе на тѣла, находящіяся между двумя нижними досками. Того же самаго достигаютъ при помощи пресса, употребляемаго обыкновенно переплетчиками (фиг. 189), гдѣ вмѣсто одного сдѣлано два винта.

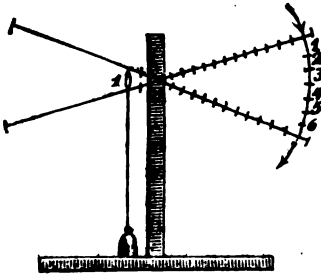
б) Для укрѣпленія и соединенія различныхъ частей, при чемъ главную роль играетъ треніе. На фигурахъ 190 и 191 изображены винты, связывающіе отдѣльныя части различныхъ тѣлъ; примѣры тому мы видимъ въ экипажахъ, въ замкахъ и въ другихъ подобныхъ тѣлахъ.



Отноше-
ніе меж-
ду вы-
сшимъ
и низ-
шимъ
уров-
немъ
дви-
женія.

§ 96. Разсматривая простыя машины, законы ихъ равновѣсія и примѣненіе къ практической жизни, мы видѣли, что цѣль всѣхъ ихъ есть приведеніе въ движеніе различныхъ тѣлъ наивыгоднѣйшимъ для насъ образомъ, или такъ чтобы посредствомъ небольшой силы приводить въ движеніе большія массы, конечно со скоростію меньше той, съ которою движется сама сила; или на оборотъ, дѣйствуя большою силою на малую массу, приводить послѣднюю въ быстрое движеніе. Пояснимъ сказанное нами нѣсколькими примѣрами.

Положимъ, мы имѣемъ равноплечій рычагъ, представленный на Фиг. 192.



поднялась отъ стола на 1 дюймъ, то должны были бы гирию на правомъ плечѣ опустить на 6 дюймовъ.

Выведемъ тоже самое не посредствомъ опыта, а посредствомъ строгого доказательства. Возмемъ для сего одноплечій рычагъ (Фиг. 193), въ точкѣ с котораго приложена сила P , уравновѣшивающая сопротивленіе Q , дѣйствующее на точку d въ сторону противоположную направленію силы. Понятно, что отъ малѣйшаго увеличенія силы P тотчасъ произойдетъ нарушеніе равновѣсія рычага, который вслѣдствіе того придетъ въ движеніе. При этомъ движеніи точки приложенія силы и сопротивленія (c и b) опишутъ означенныя на чертежѣ дуги ce и db .



Изъ геометріи извѣстно, что дуги относятся между собою какъ радиусы ихъ. Слѣдовательно въ настоящемъ случаѣ будемъ имѣть, что дуга ce относится къ дугѣ db , какъ линія ac относится къ линіи ab , т. е. во сколько разъ линія ac болѣе ab , во столько же разъ дуга ce будетъ болѣе дуги db . Изъ выведенныхъ же нами условій равновѣсія рычага извѣстно, что сила P , помноженная на соотвѣтствующее плечо, равна сопротивленію помноженному на другое плечо $P \cdot ac = Q \cdot ab$. Равенство это, основываясь на главныхъ свойствахъ пропорцій, мы можемъ представить въ видѣ слѣдующей пропорціи: $Q : P = ac : ab$. Изъ этихъ двухъ пропорцій $ce : db = ac : ab$ и $Q : P = ac : ab$, очевидно можно составить новое отношеніе между силами и дугами, т. е. $Q : P = ce : db$ или $Q \cdot db = P \cdot ce$. Последнее равенство показываетъ намъ, что произведеніе изъ силы на пройденный ею путь равно произведенію изъ сопротивленія на путь описанный точкою его приложенія. Произведенія эти называются *механическими моментами*, въ отличіе отъ моментовъ статическихкихъ, состоящихъ, какъ мы уже знаемъ, изъ произведеній силъ на соотвѣтственные имъ плечи рычага.

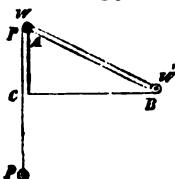
Изъ выведеннаго нами легко понять, что хотя посредствомъ небольшой силы и можно поднимать значительныя тяжести, удлиняя плечо рычага соотвѣтствующее силѣ, но въ сущности мы отъ того нисколько не выигрываемъ, потому что точка приложенія силы должна будетъ описывать большій путь для поднятія сопротивленія на весьма малую высоту. Это приводитъ насъ къ тому закону, что *всякій выигрышъ въ силѣ влечетъ за собою соотвѣтственную потерю во времени*, или, говоря другими словами, *выигрышъ въ силѣ обратно пропорціоналенъ выигрышу въ скорости*.

Весьма важно знаніе этого закона въ практическомъ отношеніи. Такъ напр., располагая значительнымъ запасомъ силы мы можемъ выигрывать во времени; точно также при достаточномъ времени мы можемъ достигать тѣхъ же результатовъ посредствомъ малой силы.

Примѣненіе этого закона мы встрѣчаемъ при движеніи различныхъ частей нашего тѣла. Такъ напр. мы сказали въ § 90, что расположеніе частей, отъ которыхъ зависитъ движеніе головы, требуетъ употребленія силы большей въ сравненіи съ сопротивленіемъ; но вмѣстѣ съ тѣмъ подобное устройство частей головы доставляетъ намъ выигрышъ въ скорости движенія.

При движеніи ворота, мы знаемъ, что чѣмъ болѣе колесо на валѣ, тѣмъ выгоднѣе можемъ употребить силу, т. е. посредствомъ небольшой силы можемъ приводить въ движеніе большія массы, но вмѣстѣ съ тѣмъ движеніе происходитъ весьма медленно: въ то время, когда колесо повернется на цѣлую окружность, грузъ повысится только на окружность вала, на которомъ намотана его веревка. Если напр. радіусъ колеса = 18 дюймамъ, а радіусъ вала = 3 дюймамъ; то употребляя силу въ 1 фунтъ, мы будемъ въ состояніи удержать въ равновѣсіи 6 фунтовъ, за то, когда точка приложенія силы описываетъ на окружности колеса пространство въ 18 дюймовъ, точка приложенія сопротивленія опишетъ только 3 дюйма, на которые слѣдовательно и передвинется тяжесть.

Покажемъ еще, какимъ образомъ выигрышъ въ силѣ всегда сопровождается потерей во времени на наклонной плоскости. На фиг. 194 представлена наклонная плоскость AB ; тяжесть W , которую мы хотимъ поднять на высоту наклонной плоскости, находится при основаніи ея въ точкѣ B . Сила P дѣйствуетъ по направленію длины плоскости. Мы уже знаемъ, что въ этомъ случаѣ вовсе нѣтъ нужды употреблять силу равную сопротивленію, потому что дѣйствіе послѣдней отчасти уничтожается самою наклонною плоскостію. Положимъ, что мы дѣйствуемъ на грузъ W посредствомъ веревки (перекинутой черезъ подвижный блокъ), къ которой приложена сила P ; такъ что когда сила P будетъ дѣйствовать по отвѣсному направленію, въ тоже самое время грузъ W будетъ подниматься по направленію длины наклонной плоскости. Извѣстно, что если длина наклонной плоскости вдвое больше ея высоты, то и сила можетъ быть употреблена вдвое меньшая въ сравненіи съ сопротивленіемъ, и очевидно, что когда сила P пройдетъ пространство въ одинъ футъ, то и грузъ передвинется на 1 футъ по длинѣ плоскости; такъ что если высота наклонной плоскости равна положимъ 10 футамъ, а длина 20, то въ томъ случаѣ, когда сила P отъ точки A дойдетъ до низшей точки плоскости C , то тяжесть также передвинется на 10 футовъ, что составляетъ только половину длины плоскости, т. е. когда сила пройдетъ всю высоту плоскости, то грузъ, на который она дѣйствуетъ, повысится только на половину высоты. Такъ что и здѣсь, какъ и на всякой другой машинѣ, выигрышъ въ силѣ непремѣнно влечетъ соразмѣрную потерю во времени. Поэтому то для того, чтобы легче было ввозить какія либо тяжести на извѣстную высоту (при вѣздѣ на мосты и т. п.), то устраиваютъ отлогіе вѣзды; но ясно, что чѣмъ положе такой вѣздъ, тѣмъ онъ долженъ быть длиннѣе. Если вѣздъ на каждые 20 футовъ длины возвышается только на одинъ футъ, то нужно проѣхать 20 футовъ, чтобы поднять повозку на 1 футъ высоты.



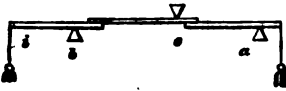
Фиг. 194.

II. Сложныя машины.

Сложными или составными машинами называются такія, которые составлены из соединенія простых машинъ.

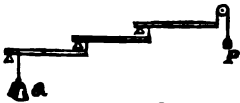
§ 97. Составной рычагъ состоитъ изъ соединенія нѣсколькихъ неравноплечныхъ рычаговъ, которые дѣйствуютъ другъ на друга. Ихъ можно употреблять съ большою пользою, когда хотятъ посредствомъ небольшой силы привести въ движеніе большія массы и при томъ не желаютъ употребить слишкомъ длинныхъ рычаговъ. Фигура 195 представляетъ составной рычагъ, состоящій изъ трехъ неравноплечныхъ рычаговъ перваго рода. Чтобы яснѣе себѣ представить выгоду употребленія подобныхъ рычаговъ возьмемъ какой нибудь примѣръ. Положимъ, что всѣ три рычага равны между собою и что каждое большое плечо равно 8, а каждое короткое 2 дюймамъ. Слѣдовательно на первомъ рычагѣ 1 фунтъ будетъ удерживать въ равновѣсїи 4 фунта, потому что моменты, дѣйствующихъ тутъ силъ, будутъ равны ($8 \times 1 = 4 \times 2$). Слѣдовательно на второй рычагъ будетъ дѣйствовать сила въ 4 фунта, которая можетъ уравновѣсить силу равную 16 фунтамъ. Последняя, дѣйствуя на длинное плечо третьяго рычага, будетъ уравнивать на другомъ плечѣ силу въ 64 фунта. Отсюда видно, что сила въ 1 фунтъ, дѣйствуя на первый рычагъ, удерживается въ равновѣсїи на третьемъ рычагѣ гири въ 64 фунта.

Фиг. 195.

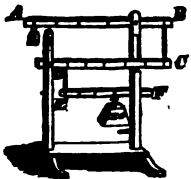


То же самое отношеніе получили бы мы, если бы рычаги были устроены нѣсколько иначе, какъ показано на фиг. 196. Точно такимъ же образомъ можно опредѣлить отношеніе силы къ сопротивленію въ системѣ рычаговъ, отдѣльныя части которой состоятъ изъ рычаговъ различнаго рода. Фигура 197 представляетъ намъ составной рычагъ, состоящій изъ рычага AB перваго рода и двухъ рычаговъ DC и EF втораго рода. Положимъ длина AB равна 5 футамъ, такъ что сила при A въ 1 фунтъ можетъ удерживать въ равновѣсїи при B 5 фунтовъ. Такъ какъ этотъ рычагъ находится въ соединеніи со вторымъ рычагомъ CD , то очевидно, что при C будетъ дѣйствовать сила въ 5 фунтовъ и если CD имѣетъ въ длину 6 футовъ, то эта сила въ 5 фунтовъ въ состояніи будетъ удерживать на противоположномъ концѣ D тяжесть въ 30 фунтовъ ($5 \times 6 = 30$). Эти 30 фунтовъ дѣйствуя на точку E , удерживаютъ въ свою очередь въ равновѣсїи при F 120 фунтовъ, если длина рычага EF равна 4 футамъ ($4 \times 30 = 120$).

Фиг. 196.

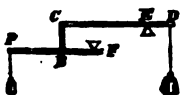


Фиг. 197.



Подобное соединеніе рычаговъ употребляется при устройствѣ мостовыхъ вѣсовъ, описаніе которыхъ будетъ нами помѣщено въ статьѣ о тяжести.

Иногда соединяютъ рычагъ перваго рода съ рычагомъ втораго рода, какъ показано на фигурѣ 198, посредствомъ твердаго шеста. Разсмотримъ сперва Фиг. 198.



Часть I.

какая должна быть приложена сила къ концу C двуплечаго рычага CD для того, чтобы держать въ равновѣсїи сопротивленіе Q . Изъ условія равновѣсія двуплечаго рычага извѣстно, что сила эта должна быть во столько разъ менше Q , во сколько плечо CE болѣе плеча ED . Найденная нами часть силы очевидно будетъ дѣйствовать на одноплечій рычагъ PF

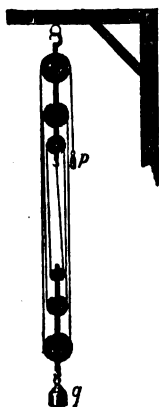
въ точкѣ *B*, неизмѣнно соединенной съ точкою *C*. Если мы примемъ эту послѣднюю силу за сопротивление для рычага *PF*, то величину силы, могущей уравнивать это сопротивление не трудно вывести изъ условій одноплечаго рычага. И въ самомъ дѣлѣ искомая сила *P* будетъ во столько разъ меньше сопротивленія, дѣйствующаго на точку *B*, во сколько разъ разстояніе *BP* будетъ болѣе *BF*. Понятно, что найденная величина силы *P* будетъ въ состояніи уравнивать и самое сопротивление *Q*.

Составные рычаги этого рода употребляются весьма часто для поднятія экипажей, съ которыхъ надобно снять колеса.

Бло-
вая ма-
шина.

§ 98. Соединеніе нѣсколькихъ блоковъ между собою для усиленнаго дѣйствія называется *системою блоковъ* или *блоковою машиною*. Системы блоковъ бываютъ двухъ главнѣйшихъ родовъ, смотря потому, дѣйствуетъ ли на блоки одна или нѣсколько отдѣльныхъ веревокъ.

Фигура 199 изображаетъ систему блоковъ 1-го рода; такое устройство бло-
Фиг. 199. ковъ называется *полиспастомъ*. Представленный нами поли-



спастъ состоитъ изъ *трехъ* неподвижныхъ и трехъ подвижныхъ блоковъ, соединенныхъ между собою одною веревкою, которая прикрѣплена къ третьему верхнему блоку. Самый верхній блокъ обыкновенно привѣшивается посредствомъ крючка къ неподвижной перекладинѣ, а къ самому нижнему блоку привѣшивается тяжесть *q*. Къ свободному концу веревки прикладывается сила, замѣненная на нашемъ чертежѣ гирею *p*, которая должна держать въ равновѣсіи тяжесть *q*. Тяжесть эта дѣйствуетъ на веревку, которая раздѣлена блоками на шесть другъ другу параллельныхъ частей. Если тяжесть *q* поднимется на одинъ футъ, то очевидно, что на столько же сократится длина каждой изъ шести частей веревки, обгибающей блоки. Слѣдовательно конецъ веревки, на который дѣйствуетъ сила *p* пройдетъ въ тоже самое время шесть футовъ. Примѣняя къ этому доказанное нами правило, что всякій выигрышъ въ скорости обратно пропорціоналенъ выигрышу въ силѣ (§ 96), не трудно убѣдиться въ томъ, что для равновѣсія полиспаста гиря *p* должна составлять одну шестую часть вѣса гири *q*. Если послѣдняя гиря равна шести фунтамъ, то для удержанія въ равновѣсіи достаточно приложить къ свободному концу веревки силу въ 1 фунтъ. Понятно, что послѣ уравниванія тяжести, малѣйшій перевѣсъ въ силѣ можетъ поднять тяжесть вверхъ.

Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что для равновѣсія полиспаста *сила должна относиться къ сопротивленію какъ единица къ числу частей веревки или къ удвоенному числу паръ блоковъ*. На этомъ основаніи должно бы предполагать, что съ увеличеніемъ числа блоковъ, мы можемъ приобрѣтать постоянный выигрышъ въ силѣ. Однакоже увеличеніе числа блоковъ за извѣстнымъ предѣломъ (около 10 паръ) не доставляетъ уже ожидаемой выгоды, съ одной стороны потому, что съ каждою новою парю уменьшается путь проходимый тяжестью, а съ другой — возрастаетъ треніе и сопротивление, представляемое жесткостью веревокъ.

Если въ описанномъ нами полиспастѣ находится значительное число блоковъ, то очевидно, что послѣдніе, занимая большое пространство въ длину, будутъ препятствовать поднятію тяжести на достаточную высоту. Для устраненія этого неудобства въ особенности на корабляхъ, гдѣ сбереженіе мѣста составляетъ важное условіе, даютъ полиспасту устройство представленное на фиг. 200, при которомъ блоки находятся не одни надъ другими, а другъ возлѣ

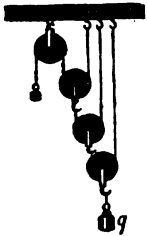
друга, такъ что три блока находятся вверху, а три внизу (фиг. 200). Понятно, Фиг. 200. что полиспасть этого рода, заключаая одинаковое число блоковъ съ предыдущимъ, будетъ представлять одинаковую съ нимъ выгоду относительно величины силы, потребной для удержанія въ равновѣсіи извѣстной тяжести. Но оба эти полиспада представляютъ то неудобство, что части веревки дѣйствуютъ въ нихъ въ наклонномъ положеніи къ блокамъ, чрезъ что кромѣ увеличенія тренія потребно и большее напряженіе силы, часть которой, какъ мы уже знаемъ, теряется при наклонномъ дѣйствіи веревки на блокъ (§ 92).



Обстоятельства эти заставляют иногда предпочитать этой системе блоков такую систему, в которой вместо одной действует несколько веревок.

На послѣдней системѣ блоковъ самая сила выигрывается болѣе нежели предыдущемъ случаѣ.

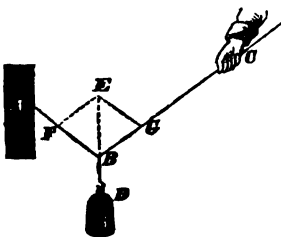
Положимъ, что мы имѣемъ одинъ неподвижный и три подвижныхъ блока (фиг. 201); представимъ себѣ, что на неподвижный блокъ дѣйствуетъ сила въ 4 фунта. Такъ какъ на подвижномъ блокѣ обѣ силы должны быть равны, то поэтому и на первый подвижной блокъ будетъ дѣйствовать сила равная 4-мъ фунтамъ. Изъ условій равновѣсія подвижнаго блока (§ 92) слѣдуетъ, что сила эта можетъ уравнивать на немъ въ два раза большую силу (8 фунтовъ). Эта сила въ 8 фунтовъ, дѣйствуя точно также на 3-й блокъ, можетъ уравнивать на немъ силу въ 16 фунтовъ, которая въ свою очередь будетъ въ состояніи на третьемъ подвижномъ блокѣ удержать въ равновѣсіи 32 фунта. Это показываетъ намъ, что при трехъ подвижныхъ блокахъ подобнаго устройства можно силою въ одинъ фунтъ уравновѣсить 32 фунта.



§99. Соединение воротовъ даетъ также сложную машину; ихъ соединяють та- Система
кимъ образомъ, что валъ перваго ворота приводится въ движеніе колесомъ втораго, воро-
валъ втораго колеса колесомъ третьяго, и т. д.; на окружности же послѣдняго тость.
вала привѣшивается тяжесть. Соединеніе это производится или посредствомъ
шнуровъ, ремней, которые входятъ въ желоба, проведенные на окружности
колось воротовъ, или чаще окружности колесъ воротовъ усажены зубцами,
посредствомъ которыхъ они зацѣпляютъ за валы, снабженные углубленіями
соотвѣствующими этимъ зубцамъ. Углубленія и зубцы приравливаются та-
кимъ образомъ, чтобы при постепенномъ задвиганіи ихъ другъ за друга, со-
хранялась равномерность движенія самыхъ воротовъ. Колесо съ наръзанными
на окружности его зубцами называется *зубчатымъ*.

§ 100. При описаніи блока и ворота мы рассматривали веревки как части не-
мѣющія вліянія на равновѣсіе силъ, дѣйствующихъ въ этихъ машинахъ. Вере-
Теперь мы покажемъ условія равновѣсія силъ, приложенныхъ собственно къ зочная
веревкамъ. Одинъ изъ обыкновенныхъ случаевъ, употребленія веревки какъ машина.
машины представленъ на фигурѣ 202, гдѣ на веревку дѣйствуютъ три силы:

Phi. 202.

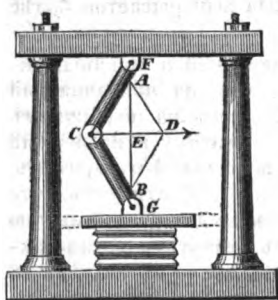


сопротивленіе неподвижнаго предмета A , къ которому она прикрѣплена однимъ концемъ, тяжесть гири D и C усиліе руки. При состояніи равновѣсія веревки одна изъ силъ всегда бываетъ равна и противоположна равнодѣйствующей двухъ прочихъ. Такъ напр. представимъ себѣ, что направленіе дѣйствія гири D продолжено кверху и что на этомъ продолженіи отложена часть BE , выражающее напряженіе D . Если изъ точки E провести параллельныя двѣмъ къ направленію двухъ остальныхъ силъ, находящихся въ равновѣсіи съ D , то части FB и BG

выразить намъ напряженіе ихъ. При этомъ должно замѣтить, что сила Q будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе углы оставляютъ между собою одѣи и тѣже силы BF и BG , дѣйствующія на веревку; поэтому посредствомъ незначительной силы можно съ помощью веревокъ удерживать въ равновѣсїи большія тяжести.

Подобное употребленіе веревокъ мы встрѣчаемъ весьма часто въ общежитіи: каждая натянутая съ обоихъ концовъ веревка, на которую вѣшаютъ бѣлье, составляетъ веревочную машину, при чемъ сопротивленія точекъ прикрѣпленія представляютъ силы P и R , а привѣшенная тяжесть — сопротивленіе Q .

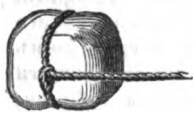
Золотыя цѣпи, носимыя на шеѣ, лошадиныя уздечки и тому подобные приборы составляютъ также видоизмѣненія веревочной машины. Сюда же относится и колѣнчатый прессъ (фиг. 203), въ которомъ съ помощью небольшой силы, можно дѣйствовать на значительныя сопротивленія.



Онъ состоитъ изъ двухъ плотныхъ шестовъ AC и BC , образующихъ у точки C подвижное соединеніе. Одинъ изъ шестовъ AC опирается въ A на неподвижное сопротивленіе, между тѣмъ какъ другой BC давить прикрѣпленную къ нему доскою G на прессуемое тѣло. Приборъ этотъ устриваютъ такимъ образомъ, чтобы уголъ ACB былъ довольно великъ. Слѣдовательно достаточно дѣйствовать по направленію CD незначительною силою для того, чтобы обнаруживать большое давленіе на сжимаемое тѣло.

Другой примѣръ подобнаго дѣйствія силы представляетъ намъ веревка при связываніи товарныхъ тюковъ (фиг. 204). И въ самомъ дѣлѣ, если веревку, снабженную петлей на одномъ концѣ, обвить вокругъ тюка и продѣвъ другой конецъ чрезъ петлю, стянуть крѣпко веревку, то при новомъ обвитіи по направленію перпендикулярному къ прежнему, мы можемъ произвести при незначительномъ усилии дальнѣйшее сдавливаніе тюка. Подобное же представляютъ намъ струны музыкальных инструментовъ.

Фиг. 204.



Такъ напр. невзирая на натянутость струнъ гитары или арфы, мы въ состояніи выводить ихъ изъ состоянія равновѣсія легкимъ усиліемъ пальца, именно потому что уголъ, образуемый струною у точки прикрѣпленія, весьма значителенъ.

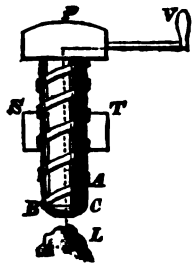
Весьма часто употребляютъ цѣлую систему, соединенныхъ между собою, веревочныхъ машинъ. Такую систему представляетъ намъ каждая сѣть, состоящая изъ бичевокъ. Систему веревочныхъ машинъ употребляютъ также при постройкѣ небольшихъ мостовъ.

Слож-
ныя вин-
товые
машины.

§ 101. Изъ сложныхъ винтовыхъ машинъ самая простѣйшая есть соединеніе винта съ рычагомъ.

При разсмотрѣніи отношенія силъ на винтѣ мы видѣли, что чѣмъ толще становится винтъ, тѣмъ съ болѣею выгодною можно его употреблять. Но очевидно, что выведенныя нами условія только математически справедливы, на самомъ же дѣлѣ выигрышъ практическій всегда менѣе выводимаго по теоріи. Такъ напр. въ настоящемъ случаѣ, увеличивая толщину винта, мы тѣмъ самымъ увеличиваемъ его массу, а слѣдовательно и вѣсъ, кромѣ того вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается и трущаяся поверхность; поэтому вмѣсто того, чтобы утолщать винтъ, несравненно выгоднѣе придѣлывать къ верхней части винта рычагъ.

Положимъ, что горизонтальному давленію на винтъ можетъ противодействовать сила K , приложенная въ точкѣ v (фиг. 205); PQ — ось, на которой вращается винтъ; L — сопротивленіе, которое въ нашемъ примѣрѣ изображено извѣстнымъ грузомъ, который хотимъ поднять посредствомъ винта до какой нибудь высоты. Мы видѣли, что сопротивленіе будетъ дѣйствовать не всюю своею массою, а только частію ея; означимъ ее черезъ M . Слѣдовательно моментъ сопротивленія выразится произведеніемъ $M \cdot r$, гдѣ r представляетъ радіусъ винта, т. е. половину линіи BC , а моментъ дѣйствующей силы выражается произведеніемъ $K \cdot R$, гдѣ R означаетъ длину рычага PV . Во время же равновѣсія эти два произведенія должны быть равны, т. е. $M \cdot r = K \cdot R$, или, выражая



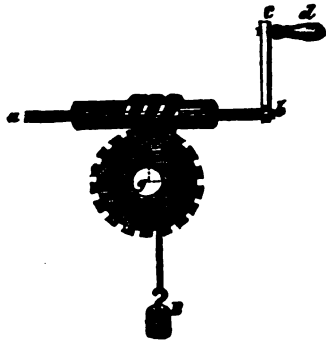
тоже самое пропорціею, получить $K : M = r : R$. Слѣдовательно на винтъ соединенномъ съ рычагомъ или, говоря другими словами, на винтъ съ рукояткою сила относится къ сопротивленію какъ радіусъ винта къ радіусу рукоятки.

Такъ напр. если винтъ такого устройства, что тяжесть L удерживается въ равновѣсіи силою въ 10 разъ меньшею, т. е. $\frac{1}{10}$ ея, то при употребленіи рычага, который въ 20 разъ длиннѣе винтового радіуса, достаточно будетъ употребить силу $\frac{1}{200} \cdot \frac{1}{10} L$ или $\frac{L}{2000}$, т. е. силою въ одинъ фунтъ на такомъ винтѣ можно уравновѣсить пятипудовую тяжесть.

Для приведенія винта въ движеніе, рычагъ придѣлывается или прилагается къ головкѣ его различнымъ образомъ; такъ напр. иногда онъ продѣвается чрезъ отверстіе сдѣланное поперегъ винта; въ другихъ случаяхъ придѣлываютъ многоугольную головку для того, чтобы удобнѣе его приводить въ движеніе посредствомъ такъ называемаго винтового ключа, что можно видѣть въ оканнажныхъ винтахъ.

Большую пользу приносятъ употребленіе такъ называемаго *безконечнаго шлица*. Названіе это присвоено ему потому, что онъ можетъ вращаться непрерывно на одномъ и томъ же мѣстѣ, не производя подобно обыкновенному винту собственного поступательнаго движенія и кромѣ того съ вращеніемъ

Фиг. 206.



безконечнаго винта, проводится въ движеніе соединенное съ нимъ зубчатое колесо (фиг. 206). Покажемъ на частномъ примѣрѣ выгоду употребленія подобнаго рода винтовъ. Положимъ, что окружность, описываемая точкою c , въ пятьдесятъ разъ болѣе высоты винтового хода, то очевидно, что на зубчатое колесо будетъ дѣйствовать сила въ 50 разъ большая противу силы дѣйствующей на рычагъ acb . Если при этомъ радіусъ зубчатого колеса de въ 10 разъ больше радіуса оси gf , на которой намота веревка, поддерживающая тяжесть B , то сила въ 1 фунтъ, приложенная въ точкѣ c , будетъ въ состояніи уравновѣшивать на оси зубчатого колеса силу въ 500 фунтовъ.

Покажемъ теперь примѣненія винта, играющаго важную роль въ приборахъ, употребляемыхъ для измѣренія малыхъ продолженій и для раздѣленія мѣръ на малѣйшія части.

Если сообщить вращательное движеніе винту, то очевидно, что каждая точка поверхности нарезки будетъ двигаться вдоль вырѣзовъ гайки, описывая при этомъ винтовую линію. При этомъ понятно, что при неподвижной гайкѣ оконечность винта будетъ подвигаться по направленію прямой линіи и при томъ такъ, что если винтъ сдѣлаетъ на оси полный оборотъ, то оконечность его подвинется на цѣлую высоту винтового хода. Точно также при совершеннѣмъ поворотѣ каждой точкой винта и оконечность его подвинется на пол-

высоты винтового хода. Одним словомъ, оконечность винта будетъ всегда подвигаться на часть винтового хода, равную углу или лучше сказать той части окружности, на которую повернулся винтъ. Поэтому если мы имѣемъ такой механизмъ, который позволитъ намъ измѣрять въ точности величину обращенія винта, то очевидно, что мы въ состояніи будемъ выражать величину линейнаго перемѣщенія оконечности винта въ частяхъ винтового хода.

Точно также, если во время обращенія винта на оси, гайка движется по направленію послѣдней, то поступательное движеніе гайки будетъ пропорціонально угловому движенію самого винта.

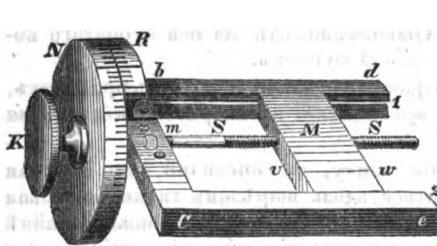
На этихъ началахъ основано устройство *сферометра, микрометрическаго винта и дѣлительной машины*.

Сферометръ, представленный на фиг. 207, состоитъ изъ металлическаго треножника *HIKL* съ гайкою, въ которую входитъ винтъ *AB* съ мелкими нарезками. На винтъ насаженъ горизонтальный кружокъ *CDE*, раздѣленный на извѣстное число мелкихъ частей, а къ одной изъ ножекъ треножника укрѣплена отвѣсная линейка *FG*, прикасающаяся такимъ образомъ къ краю круга *CDE*, чтобы послѣдній могъ производить свободное обращеніе на оси. Каждое изъ дѣлений линейки соотвѣтствуетъ высотѣ винтового хода. При этомъ условіи понятно, что если винтъ съ кругомъ сдѣлаетъ полный оборотъ, то кругъ передвинется на одно дѣленіе по длинѣ линейки *FG*.

Если же послѣ полного оборота мы подведемъ къ линейкѣ *FG* слѣдующее дѣленіе круга, то очевидно, что винтъ подвинется по длинѣ линейки на часть ея дѣленія, соотвѣтствующую передвинутной части круга. Если при этомъ кругъ раздѣленъ напр. на 300 частей, то винтъ подвинется по линейкѣ на $\frac{1}{300}$ часть одного дѣленія ея.

При употребленіи этого прибора для измѣренія небольшихъ протяженій, какъ напр. толстоты тонкихъ пластинокъ, ставятъ треножникъ на шлифованное плоское стекло такимъ образомъ, чтобы приборъ не шатался. Потомъ опускаютъ винтъ *AB* до тѣхъ поръ, пока точка *B* не коснется стеклянной плоскости и замѣчаютъ тогда какому дѣленію на линейкѣ соотвѣтствуетъ положеніе круга *CDE* и къ какому дѣленію его прикоснется линейка. Желая измѣрить какой нибудь предметъ, поднимаютъ винтъ на столько, чтобы измѣряемый предметъ могъ подойти подъ конецъ его *B*. Тогда по числу пройденныхъ кругомъ дѣлений линейки считаютъ число оборотовъ и замѣчаютъ сверхъ того, сколько послѣ полныхъ оборотовъ отошло частей круга отъ вертикальной линейки.

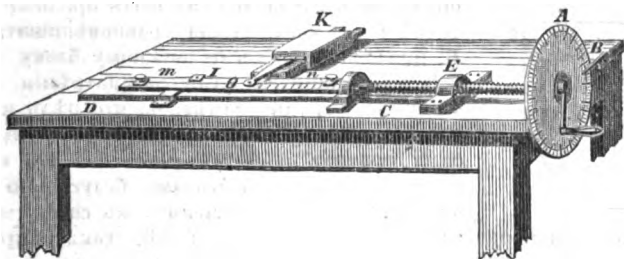
Теперь опишемъ устройство другаго прибора употребляемаго для той же цѣли. Устройство это, представленное на фиг. 208, носитъ обыкновенно названіе *микрометрическаго винта*.



Сквозь переднюю часть рамки *bc* проходитъ винтъ *S*, которому утолщеніе *m* не позволяетъ производить поступательнаго движенія. Винтъ этотъ проходитъ чрезъ гайку *M*, которая можетъ производить движеніе въ пазахъ рамки. На выходящемъ за раму концѣ винта находится кругъ *N* съ ручкою *K*. Понятно, что при обращеніи ручки гайка *M* произведетъ поступательное движеніе на столько ходовъ, сколько полныхъ оборотовъ сдѣлаетъ винтъ. Если при этомъ въ одной линіи заключается 10 винтовыхъ ходовъ, то очевидно, что при полномъ оборотѣ круга гайка подвинется на $\frac{1}{10}$ часть линіи. Если при этомъ кругъ раз-

дѣленъ на 100 частей, то при поворотѣ круга на одно дѣленіе гайка подвинется на $\frac{1}{1000}$ часть линіи. Чтобы опредѣлить еще въ болѣе дробныхъ частяхъ линіи передвиженіе гайки, придѣлываютъ къ кругу дугообразный новіусъ и если послѣдній измѣряетъ десятые части каждаго дѣленія круга, то можно измѣрять передвиженіе гайки даже до $\frac{1}{10000}$ части линіи. Желая измѣрить микрометрическимъ винтомъ линейное протяженіе, подвигаютъ одинъ какой нибудь край гайки (напр. обращенный къ головкѣ винта) къ началу протяженія и потомъ вращаютъ винтъ до тѣхъ поръ, пока тотъ же самый край гайки не достигнетъ до противоположнаго конца измѣряемаго протяженія.

Винтъ съ мелкими нарѣзками употребляется также въ другомъ приборѣ, именно въ *дѣлительной машинѣ*. Фиг. 209 представляетъ дѣлительную машину, Фиг. 209.



существенную часть которой составляетъ винтъ съ возможно правильными мелкими нарѣзками. Винтъ находится между двумя подушками, прикрѣпленными къ столу; на концѣ винта находится кругъ съ дѣленіями, а передъ кругомъ шпилька *B*, указывающая на дѣленія круга. Гайка *E*, въ которую входитъ винтъ, прикрѣплена къ желѣзной линейкѣ *CD*, лежащей параллельно съ осью винта; на линейкѣ *CD* лежитъ другая линейка, которую желаютъ раздѣлить на части. Наконецъ на столѣ лежатъ два небольшіе бруска изъ желтой мѣди, покрытые коробкою *K*, въ которой находится рѣзецъ *O*, обозначающій дѣленія.

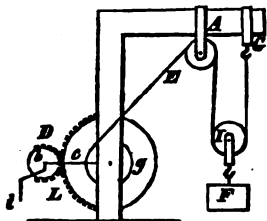
Дѣлительная машина можетъ служить въ двухъ случаяхъ: или для раздѣленія линейки на части извѣстной длины, или для раздѣленія линейки на извѣстное число дѣленій равной длины. Положимъ высота винтового хода равна $\frac{1}{4}$ линіи и намъ нужно назначить дѣленія черезъ каждую $\frac{1}{50}$ часть линіи, то для этого должно кругъ поворачивать на 72° и послѣ каждаго поворота прижимать рѣзецъ. Такъ какъ при полномъ поворотѣ круга, т. е. при поворотѣ на 360° , линейка подвигается на высоту одного винтового хода, т. е. на $\frac{1}{4}$ линіи, то при поворотѣ круга на $\frac{1}{5}$ долю окружности ($72^\circ = \frac{360^\circ}{5}$) линейка подвинется на $\frac{1}{5}$ часть винтового хода, т. е. на $\frac{1}{50}$ одной линіи.

Возьмемъ второй случай. Положимъ намъ нужно раздѣлить линейку на 15 равныхъ частей; для этого ставятъ одинъ конецъ линейки *m* подъ рѣзецъ (если дѣленія обозначаютъ на бумагѣ, то вмѣсто рѣзца вставляется карандашъ) и кругъ поворачиваютъ до тѣхъ поръ, пока не придетъ на это самое мѣсто конецъ *n*; тогда замѣчаютъ сколько оборотовъ совершить кругъ; положимъ, что для этого его должно повернуть 5 разъ и еще на 90° , слѣдовательно всего на 1890° . Теперь, чтобы раздѣлить длину линейки, соответствующую 1890° , на 15 частей, то надобно чрезъ каждые 126° ($\frac{1890^\circ}{15} = 126^\circ$) означать дѣленіе.

Основываясь на показанныхъ нами условіяхъ равновѣсія между силой и сопротивленіемъ, въ нѣкоторыхъ сложныхъ машинахъ не трудно найти отношеніе силы къ сопротивленію и во всякой сложной машинѣ. Такъ какъ вся-

кая сложная машина образуется изъ соединенія простыхъ машинъ, то стоитъ только рассмотреть условіе равновѣсія на каждой изъ составляющихъ ея простыхъ машинъ. Для этого надобно найти какой величины должна быть приложена сила къ той простой машинѣ, на которую дѣйствуетъ непосредственно данное сопротивление. Найденную силу должно принять за сопротивление для другой простой машины, непосредственно соединяющейся съ первой. Определить величину силы, уравнивающей это сопротивление на второй машинѣ, переходить точно также къ третьей, четвертой, и т. д. до самой послѣдней машины, къ которой непосредственно прилагается дѣйствующая сила.

На фиг. 210 представленъ *кранъ*, состоящій изъ соединенія рычага, ворота, блоковъ и зубчатого колеса. Примѣняя сдѣланное нами разсужденіе къ этой машинѣ, легко опредѣлить какая должна быть приложена сила въ точкѣ *t* для того, чтобы уравнивать тяжесть *F*, приложенную къ подвижному блоку *I*.



Изъ сдѣланнаго нами разсмотрѣнія сложныхъ машинъ не трудно замѣтить, что цѣль ихъ заключается собственно въ увеличеніи выигрыша въ силѣ противу простыхъ машинъ. Но не должно увлекаться этими выгодами безусловно, потому что при всякомъ выигрышѣ въ силѣ, мы всегда теряемъ въ скорости производимаго ею движенія (§ 96), такъ напр. если бы мы увеличивали выигрышъ до безконечности, то очевидно, что въ томъ же самомъ отношеніи уменьшалась бы скорость производимаго ею движенія и при безконечно большомъ выигрышѣ въ силѣ, мы получили бы безконечно малую скорость. Произведеніе же изъ силы на пространство, проходимое точкою приложенія силы, должно служить мѣрою работы этой силы, которая остается одною и тою же, если мы будемъ во столько разъ одинъ членъ произведенія увеличивать, во сколько другой будемъ уменьшать.

Чтобы болѣе убѣдиться въ справедливости этого вывода, мы приведемъ слѣдующій примѣръ:

Говоря объ выигрышѣ въ силѣ при увеличеніи соответствующаго ей плеча рычага, мы привели извѣстное изрѣченіе Архимеда: «дайте мнѣ рычагъ и точку опоры: и я подниму земной шаръ». Примѣняя къ этому выраженію совершенно справедливому въ математическомъ смыслѣ показанное нами отношеніе между выигрышемъ въ силѣ и потерей въ скорости, мы приходимъ къ слѣдующему заключенію: если бы въ самомъ дѣлѣ человекъ могъ дѣйствовать на землю рычагомъ, то длина большаго плеча послѣдняго, какъ показываетъ вычисленіе, должна быть въ 1000 разъ болѣе разстоянія отъ насъ ближайшей неподвижной звѣзды, для того, чтобы употребляя постоянное усиліе, равное четырѣмъ пудамъ, можно было поднять землю на высоту пылинки. Длина другаго плеча предполагается равною полуаршинѣ.

Механическіе движители, приводы и уравнители.

Цѣль § 102. Передача движенія служитъ къ невыгоднѣйшему направленію дѣйствія различныхъ силъ. Въ машинахъ различаютъ три главные части; первая, гдѣ сила приложена, называется *пріемникомъ*; вторая, называемая *исполнительнымъ механизмомъ*, гдѣ противоѣдствуетъ сопротивленію; наконецъ часть передающая движеніе отъ пріемника къ исполнительному механизму и назы-

ваемая *приводомъ движешя*. У простыхъ машинъ, напр. у ножницъ, назначенныхъ для рѣзанія желѣза, эти три части состоятъ по большой части изъ одного куска и лежатъ недалеко другъ отъ друга. Въ сложныхъ же машинахъ части эти болѣе отличаются между собою и потому требуютъ отдѣльнаго разсмотрѣнiя.

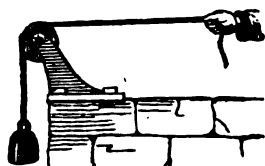
Что касается до устройства приемниковъ, то части эти зависятъ отъ природы дѣйствующихъ на нихъ силъ. Силы эти раздѣляются на движители *живые* и *неживые*. Къ первымъ относятся — сила мускуловъ и всѣ части тѣла человѣка и животныхъ, употребляемыхъ нами для движешя, какъ-то: лошади, быки и др. Къ неживымъ движителямъ принадлежатъ: паденiе воды, сила вѣтра, сила тяжести, теплоты, электричества, и др.

Мы дадимъ понятiе здѣсь только о механической работѣ живыхъ движителей, остальные же движители и основанные на нихъ приемники будутъ разсмотрѣны нами при изученiи основныхъ законовъ этихъ движителей.

Сила мышцъ человѣка и животныхъ была первою силою, изъ которой начала извлекать пользу промышленность. Мы разсмотримъ предварительно силу лошади, которая употребляется преимущественно для перевозки тяжестей и для дѣйствiя вѣсомъ собственного своего тѣла.

Чтобы опредѣлить силу, которую можетъ доставить намъ лошадь для перевозки различныхъ тяжестей припрягаютъ ее къ прибору, представленному на фиг. 211. Всѣ гири, поднимаемой при этомъ лошадью, очевидно выразятъ намъ силу ея. Опытъ показываетъ, что съ увеличенiемъ скорости движешя вѣсъ гири, поднимаемой лошадью, будетъ постоянно уменьшаться. Лошадь средней силы при различныхъ скоростяхъ поднимаетъ слѣдующiя тяжести:

Фиг. 211.



при 2 футахъ скорости	160 фунтовъ.	
— 3 —	— 120 —	
— 4 —	— 90 —	
— 5 —	— 62 —	
— 6 —	— 40 —	
— 7 —	— 23 —	

Ясно, что работы, производимыя при этомъ будутъ $2 \times 160 = 320$ футофунтовъ, $3 \times 120 = 360$ ф., $4 \times 90 = 360$ ф., $5 \times 62 = 310$ ф., $6 \times 40 = 240$ ф. и $7 \times 23 = 161$ ф. (*). Изъ этихъ чиселъ не трудно замѣтить, что самое выгодное употребленiе лошади для перевозки извѣстнаго груза бываетъ въ томъ случаѣ, когда она движется со скоростью отъ 3 до 4 футовъ въ секунду, т. е. идетъ шагомъ, какъ это бываетъ дѣйствительно при перевозкѣ различныхъ тяжестей. Величина же тяжести, которою можно обременять при этомъ условiи лошадь, очевидно будетъ зависѣть какъ отъ покатости дороги, такъ и отъ качества ея. При усилии, необходимомъ для удовлетворенiя приведенныхъ выше условiй при перевозкѣ тяжестей, вообще лошадь можетъ работать около 8 часовъ въ сутки. Скорость движешя лошадей бываетъ весьма различна и зависитъ преимущественно отъ сложенiя ихъ. За среднюю мѣру скорости можно принять въ секунду 3 фута при движешя обыкновеннымъ шагомъ; 5 футовъ ускореннымъ шагомъ, отъ 7 до 10 футовъ — рысью и отъ 16 до 18 — галопомъ, которымъ, какъ извѣстно, лошади не могутъ проходить долго безъ утомленiя.

Въ машинахъ приемникомъ тянущей силы лошадей служитъ обыкновенно отвѣсный воротъ, къ которому припрягаютъ лошадей. При этомъ должно замѣтить, что около половины работы поглощается здѣсь на побѣжденiе тренiя, обнаруживаемаго на оси воротъ.

(*) Мы выразили здѣсь работу въ футофунтахъ для избѣжанiя дробей, потому что за единицу работы у насъ принимается пудофутъ.

Если грузъ положимъ на спинну лошади, то работа ея при каждомъ шагѣ заключается въ поднятіи вверхъ какъ собственного вѣса, такъ и вѣса груза, которые послѣ каждого усилія лошади снова опускаются книзу. Конечно, что измѣреніе такой работы мы можемъ подвести подъ общее опредѣленіе количества работы, но обыкновенно при этомъ способѣ употребленія силы лошади ограничиваются только показаніемъ вѣса груза и пространства проходимого имъ. Этотъ способъ употребленія лошадиной силы можетъ быть употребленъ съ выгодою только на труднопроходимыхъ дорогахъ, въ особенности въ горныхъ странахъ. На хорошихъ дорогахъ таже самая лошадь, привязанная къ повозкѣ, можетъ тянуть гораздо большій грузъ.

Что же касается до движенія, получаемого отъ дѣйствія тяжести самой лошади на плоскость вращающуюся вокругъ своей оси, наклоненной къ горизонту на 5 или 10 градусовъ, то этотъ способъ не представляетъ большихъ выгодъ въ практическомъ отношеніи.

Хотя сила человѣка, употребляемая для движенія и обходится дороже другихъ движителей, но она имѣетъ предъ ними то преимущество, что можетъ быть прилагается къ машинамъ самымъ различнымъ образомъ. Сверхъ того, человѣкъ кромѣ доставленія собственной силы, можетъ въ тоже время имѣть и наблюденіе за машиной. Силу человѣка вообще можно выразить слѣдующими числами:

при 1 футѣ скорости	45 фунт.,	работа	$1 \times 45 = 45$	ф.ф.
— 2 — — —	28 — — —	—	$2 \times 28 = 56$	ф.ф.
— 3 — — —	18 — — —	—	$3 \times 18 = 54$	ф.ф.
— 4 — — —	7 — — —	—	$4 \times 7 = 28$	ф.ф.

Изъ этого слѣдуетъ, что наибыводившее употребленіе силы человѣка соответствуетъ поднятію 25 фунтовъ со скоростію 2 футовъ въ секунду. Наибольшая работа, доставляемая человѣкомъ, равна около седьмой части наибольшей работы лошади. На этомъ основаніи обыкновенно говорятъ, что работа одной лошади равна работѣ 7 человѣкъ.

Сила человѣка можетъ быть употреблена на рычагѣ, на блокѣ и на другихъ простыхъ машинахъ. При переносѣ тяжестей рассчитываютъ на силу человѣка обыкновенно до 80 фунтовъ со скоростію $3\frac{1}{2}$ футовъ въ секунду; работу эту можетъ производить человѣкъ около 7 часовъ въ день. Но наибольшее количество работы можетъ поставить человѣкъ, не увеличивая значительно своей усталости, тяжестью своего тѣла. Это количество, какъ показываютъ опыты, въ 7 разъ болѣе работы землекопа и почти въ $\frac{1}{2}$ болѣе работы производимой при вращеніи рукоятки. Поэтому наибольшую работу можетъ произвести человѣкъ въ тѣхъ приборахъ, въ которыхъ пройденный внизъ вѣсъ его тѣла безъ ноши совершаетъ дѣйствіе равное подъему какой нибудь тяжести на одинаковую высоту. Подобнаго рода приборы употребляютъ дѣйствительно при земляныхъ работахъ.

Главнѣйшее достоинство хорошихъ движителей заключается вообще въ непрерывности и равномерности движенія доставляемого ими, хотя и есть случаи, когда отъ движителя требуется, чтобы онъ дѣйствовалъ только ударами, какъ напр. при растираніи различныхъ породъ руды — *толчеями*.

Не входя здѣсь въ ближайшее изслѣдованіе силы доставляемой другими движителями, какъ-то: вѣтромъ, водою и парами, мы считаемъ полезнымъ сдѣлать нѣсколько общихъ замѣчаній на счетъ выбора движителей.

Сила животныхъ до настоящаго времени употребляется еще съ пользою для передвиженія различныхъ тяжестей; въ машинахъ же по причинѣ значительной стоимости этого движителя онъ мало по малу оставляется.

Сила ветра по причинѣ ея измѣняемости и малой зависимости отъ нашего произвола, не можетъ представлять для насъ большаго значенія.

Сила воды въ нѣстахъ обильныхъ рѣками и каналами, представляетъ большую важность, по малой стоимости своей, сравнительно съ расходами упо-

требляемыми на нее, Но въѣсть съ тѣмъ она представляетъ и нѣкоторыя невыгоды, къ числу которыхъ относится замерзаніе воды зимою, уменьшеніе ея во время лѣтней засухи и др. Всѣ эти обстоятельства производятъ временную остановку въ работѣ.

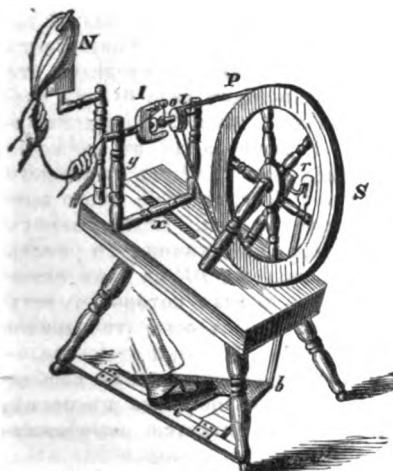
Сила пара, несомнѣнно послѣднимъ неудобствами, представляетъ огромныя выгоды при техническихъ производствахъ, въ особенности въ мѣстахъ, имѣющихъ недостатокъ въ текучей водѣ. Но въ свою очередь она требуетъ постоянного употребленія горячаго матеріала, имѣющаго въ нѣкихъ мѣстахъ значительную цѣнность, и кромѣ того при дѣйствіи пара необходимо извѣстное число опытныхъ рабочихъ для ухода за самою машиною. Но указанныя нами недостатки значительно вскупаются выгодами, представляемыми этимъ двигателемъ, который по всей справедливости можетъ быть названъ душою промышленности.

Описавъ условія, на которыхъ основано употребленіе различныхъ приемниковъ, намъ слѣдуетъ перейти къ разсмотрѣнію исполнительныхъ механизмовъ. Но какъ устройство ихъ зависить отъ самой цѣли частныхъ производствъ, для которыхъ они употребляются, то ближайшее разсмотрѣніе ихъ не принадлежитъ общей механикѣ, а каждому частному производству, напр. прядильному, токарному и др.

Мы займемся теперь описаніемъ *приводовъ* движенія, между которыми разсмотримъ передаточные или трансмиссіонные валы, безконечный ремень и различные зубчатые приборы.

Прежде нежели мы займемся описаніемъ различныхъ машинъ, служащихъ для передачи движенія, разсмотримъ одинъ изъ самыхъ употребительнѣйшихъ въ обществѣ приборовъ, на которомъ ясно можно видѣть цѣль различнаго рода приводовъ. Мы говоримъ о *самопрядкѣ* (фиг. 212). Часть ея, производя-

Фиг. 212.



дѣющая работу, т. е. веретено съ катушкою, должна быть установлена на такой высотѣ, чтобы прядильница могла удобно работать и при томъ такимъ образомъ, чтобы она нѣсколько скручивала и въ тоже время наматывала нить. Такъ какъ при этомъ руки прядильницы заняты, то она не иначе можетъ приводить машину въ движеніе какъ ногами. Для этого употребляется одноплечій рычагъ (cb), при чемъ хотя часть силы теряется, но за то получается движеніе другого конца доски съ значительною скоростію. Но доска при этомъ производитъ движеніе только вверхъ и внизъ, между тѣмъ какъ намъ нужно вращательное движеніе веретена; поэтому необходимо измѣнить поступательное движеніе въ вращательное. Съ этою цѣлію прикрѣпляютъ къ доскѣ шестъ, который соединенъ другимъ концемъ съ рукояткою (r), производящею круговое движеніе; но рукоятка не прямо соединена съ веретеномъ, потому что въ такомъ случаѣ вращательное движеніе веретена было бы довольно медленно, а кромѣ того неравномѣрно вслѣдствіе того, что нога производитъ только нажиманіе доски внизъ, но не поднимаетъ ее вверхъ. Поэтому рукоятка соединяется съ колесомъ S, имѣющимъ значительный вѣсъ; колесо это получивъ однажды движеніе, сохраняетъ его довольно долгое время равномернымъ. Такимъ образомъ колесо въ нашемъ приборѣ служитъ не для измѣненія движенія, но для уравниванія или *регуляція* его. Полученное равномерное движеніе надобно передать къ части машины (I), производящей работу;

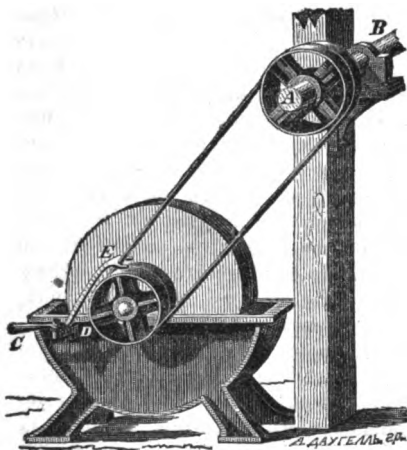
передача эта производится посредством шнура *P*, который идетъ къ веретену и въ то время, когда колесо одинъ разъ повернется, послѣдній заставляетъ веретено повернуться нѣсколько разъ. Этотъ простой приборъ показываетъ намъ, что машины, служащія для передачи движенія, имѣютъ троякую цѣль и потому могутъ быть раздѣлены на слѣдующіе отдѣлы: *A*. Приборы для передачи движенія. — *B*. Приборы, служащія для измѣненія движенія. — *C*. Приборы для регуливанія движенія.

A Приборы, служащія для передачи движенія.

Если зайдемъ въ механическую прядильню или въ механическую мастерскую, то по обѣ стороны отъ входа, во всю длину комнаты, увидимъ ряды машинъ въ полной дѣятельности, между тѣмъ не видимъ машины, къ которой движущая сила была бы непосредственно приложена. Но взглянувъ на потолокъ комнаты, увидимъ движущій валъ, проходящій иногда и въ слѣдующую комнату, гдѣ посредствомъ его передается движеніе различнымъ частямъ машины. Этимъ передаточнымъ валомъ отдѣльныя машины приводятся въ соединеніе; самъ же валъ получаетъ движеніе или посредствомъ водянаго колеса, или посредствомъ водяныхъ паровъ.

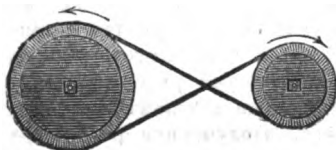
Безконечный ремень употребляется въ томъ случаѣ, когда нужно передать движеніе съ одного вала на другой ему параллельный, находящійся отъ перваго на извѣстномъ разстояніи, какъ напр. отъ вышеописаннаго вала къ прочимъ машинамъ. Для этой цѣли въ извѣстныхъ мѣстахъ укрѣпляются *валѣк*, называемые *барабанами* и обрабатываемые вмѣстѣ съ валомъ; на валѣкахъ натянуть ремень или шнуръ, называемый *безконечнымъ*. Если такой ремень натя-

Фиг. 213.



нуть на окружность вала и валѣка такимъ образомъ, что треніе не позволяетъ ему скользить по нимъ, то очевидно, что вмѣстѣ съ вращеніемъ вала будетъ вращаться и валѣкъ. Фиг. 213 представляетъ валъ *AB*, приводящій въ движеніе валѣкъ *E*, насаженный на ось точильнаго камня, который вслѣдствіе этого вращается также на оси. Если желаютъ прекратить вращеніе камня, то ремень сдвигается рычагомъ *DE* на такъ называемый *свободный валъ*, который имѣетъ слабое соединеніе съ осью точильнаго камня. Очевидно, что при этомъ положеніи ремня обращается только свободный валъ, а камень остается въ покоѣ. Дѣйствіе это называется *освобожденіемъ*.

Безконечный ремень бываетъ или *открытый* или *перекрещивающійся* (Фиг. 214), что можно видѣть на обыкновенной самопрялкѣ, также на центробѣжной машинѣ. При употребленіи перекрещивающагося ремня, колеса должны вращаться въ противоположныя стороны и ремень идетъ отъ верхней части одного колеса къ верхней части другаго.



Въ отношеніи дѣйствія безконечнаго ремня должно замѣтить, что одна половина его, на-

ываемая *возбуждающею* стороною, всегда бывает сильнѣе натянута противу другой, потому что при этомъ только условіи можетъ происходить обращеніе валовъ.

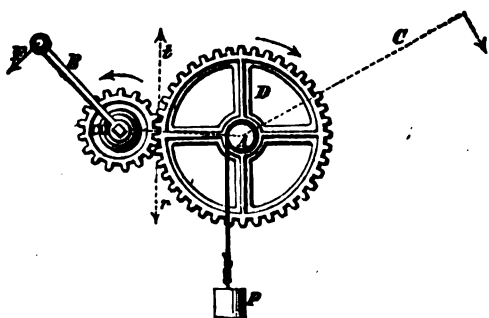
Если два колеса *A* и *B*, по которымъ обходитъ безконечный ремень, одинаковаго діаметра и *A* приходитъ въ вращательное движеніе, то *B* получаетъ ту же скорость какъ и *A*, потому что при этомъ условіи всѣ точки каждаго колеса будутъ въ одно и то же время проходить одинаковый путь, описывая полный оборотъ вокругъ оси колесъ. Если же большее колесо приводитъ во вращеніе меньшее, котораго радіусъ въ два раза менѣе предыдущаго, то окружность втораго колеса будетъ въ два раза менѣе противу перваго, потому что окружности относятся между собою какъ радіусы. При этомъ условіи каждая точка окружности меньшаго колеса очевидно успѣетъ описать кругъ два раза въ то время, когда каждая точка окружности перваго колеса сдѣлаетъ только одинъ полный оборотъ. Слѣдовательно меньшее колесо сдѣлаетъ на оси два оборота въ то время, когда въ два раза большее противу него сдѣлаетъ только одинъ оборотъ. Примѣръ этотъ показываетъ намъ, что при употребленіи безконечнаго ремня можно достигать до произвольнаго числа оборотовъ, уменьшеніемъ діаметра одного изъ колесъ. Но при этомъ есть предѣлъ за которымъ уменьшеніе колеса не доставляетъ ожидаемыхъ результатовъ. Если радіусы колесъ будутъ весьма различны между собою, то ремень можетъ захватывать только весьма незначительную часть малаго колеса, такъ что между ними не будетъ существовать надлежащаго зацѣпленія и вслѣдствіе того остановится или ремень или колесо.

Желая получить значительное число оборотовъ, употребляютъ вмѣсто одного нѣсколько безконечныхъ ремней, находящихся между собою въ связи. Такъ напр. если отъ какой нибудь оси *A*, совершающей 10 оборотовъ въ секунду, желаютъ передать движеніе къ другой оси *B*, такимъ образомъ, чтобы послѣдняя дѣлала до 200 оборотовъ въ секунду, то отъ первой оси передаютъ движеніе къ вспомогательной оси *C*, радіусъ которой въ 4 раза болѣе радіуса оси *A*. Понятно, что колесо *C* при этихъ условіяхъ будетъ дѣлать до 40 оборотовъ въ секунду. На эту ось насаживаютъ колесо, соединяющееся безконечнымъ ремнемъ съ осью *B*. Если радіусы этихъ послѣднихъ относятся между собою какъ 5 къ 1, то ось *B* будетъ вращаться 300 разъ въ секунду. Напряженіе, которое необходимо доставить ремню для предупрежденія скользящаго движенія его, дѣйствуетъ въ видѣ давленія на оси колесъ и производитъ тамъ треніе, преодоленіе котораго поглощаетъ часть работы двигающей силы. Такъ какъ при этомъ для сильнаго натягиванія и ремни должны быть достаточной крѣпости, то обыкновенно натягиваніе ихъ никогда не должно быть болѣе того, сколько, это необходимо для устраненія скользящаго движенія ремней.

Зубчатые колеса составляютъ различные зубчатые приборы, передающіе движеніе съ одного вала на другой ближайшій параллельный къ первому или наклонный.

Къ зубчатымъ колесамъ можно отнести все сказанное нами при безконечномъ ремнѣ, т. е. что колеса одинаковаго діаметра переносятъ движеніе безъ измѣненія скорости съ одного вала на другой; если же одно колесо больше, то другое получаетъ силу вращенія во столько разъ большую, во сколько число зубцовъ перваго превышаетъ число зубцовъ на второмъ, потому что число зубцовъ находится въ зависимости отъ окружностей обоихъ колесъ, а окружности зависятъ отъ величины радіусовъ. Другое колесо можетъ вращать третье, а то четвертое, и т. д.; если величина колесъ при этомъ будетъ постепенно уменьшаться, то въ томъ же отношеніи будетъ увеличиваться скорость вращенія колесъ и смотря по надобности скорость эта можетъ достигнуть огромной величины.

Замѣтимъ теперь, что если на валъ маленькаго колеса *C* дѣйствуетъ сила *F* посредствомъ рукоятки *B* (фиг. 215) и діаметръ малаго колеса *C* составляетъ $\frac{1}{4}$ или $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{4}$ часть діаметра большаго колеса *D*, то сила *F* будетъ оказывать тоже самое дѣйствіе, какъ будто бы она была приложена прямо къ валу *A* большаго колеса *D* посредствомъ рычага въ 3, 4, 5 или *n* разъ длиннѣйшаго. Такъ какъ употребленіе длинныхъ рычаговъ не всегда бываетъ удобно, то замѣняютъ ихъ соединеніемъ цѣлой системы зубчатыхъ колесъ, изъ которыхъ меньшее, непосредственно приво-

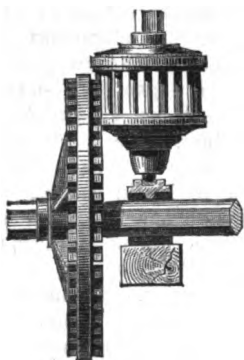


димое въ движеніе, называется *побуждающимъ*.

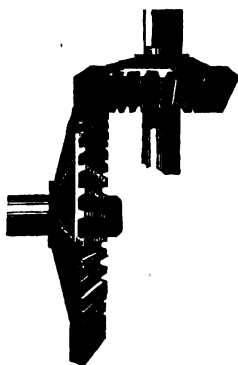
Но выгода употребленія большаго числа колесъ ограничивается треніемъ, которое очевидно возрастаетъ съ увеличеніемъ числа ихъ.

Конусообразныя или *шарообразныя* зубчатые колеса передаютъ движеніе изъ горизонтальнаго направленія въ вертикальное и на оборотъ (фиг. 216); дѣйствіе же ихъ обусловливается тѣми основаніями, которыя были выведены нами для обыкновенныхъ зубчатыхъ колесъ.

Фиг. 216.



Фиг. 217.



Замѣтимъ здѣсь, что если сцѣпляются два неравные зубчатые колеса (фиг. 217), то большее изъ нихъ называется собственно *зубчатымъ*, а меньшее *шестернею*.

В. Преобразованіе движеній.

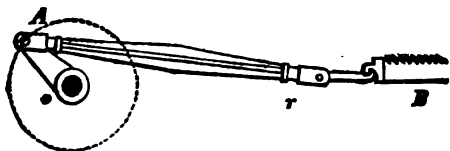
Описавъ главнѣйшіе приводы, употребляемые для выгоднѣйшей передачи движенія отъ пріемника къ исполнительному механизму, намъ остается только показать какимъ образомъ *посредствомъ приводовъ преобразовывается* движеніе сообщаемое пріемнику. Положимъ, что желая устроить пильный заводъ, мы можемъ воспользоваться силою текущей воды для приведенія въ движеніе пилы. Чтобы принять работу воды обыкновенно устриваютъ вертикальное колесо съ лопатами; падающая на лопаты вода доставляетъ колесу вращательное движеніе. Пила же для дѣйствія своего требуетъ прямолинейнаго дви-

женія взадъ и впередъ. Поэтому необходимо устроить такой приводъ, посредствомъ котораго можно бы было преобразовать вращательное движеніе колеса въ прямолинейное движеніе пилы взадъ и впередъ.

Понятно, что при этомъ задача должна состоять въ томъ, чтобы преобразование движенія совершалось наимыгоднѣйшимъ образомъ для исполнительнаго механизма.

Это преобразование движенія можетъ быть совершаемо самыми разнообразными способами, изъ которыхъ мы укажемъ только на нѣкоторые.

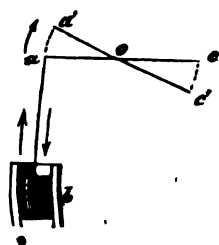
Для преобразования непрерывнаго круговаго движенія въ непрерывное прямолинейное, употребляютъ на пильныхъ заводахъ шатунъ съ рукояткою, представленный на фиг. 218, которая объясняетъ наглядно самый способъ преобразования круговаго движенія колеса *A* въ прямолинейное движеніе пилы *B*.



Понятно, что тотъ же самый шатунъ съ рукояткою можетъ служить и для обратнаго преобразования движенія изъ непрерывнаго прямолинейнаго въ непрерывное круговое.

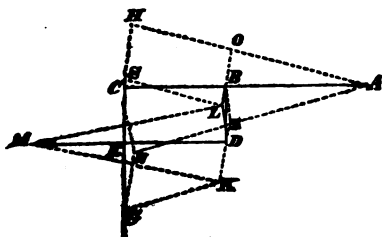
Но весьма часто встрѣчается необходимость преобразовать попеременное прямолинейное движеніе въ попеременное круговое. Такъ напр. если къ двигающемуся взадъ и впередъ отвѣсному шесту *ab* (фиг. 219), прикрѣпить горизонтальный шестъ *ac*, то чтобы доставить послѣднему возможность двигаться взадъ и впередъ вокругъ точки *o*, какъ на оси необходимо, чтобы оконечность его *a* могла двигаться по дугѣ *aa'*. Понятно, что этого нельзя достигнуть въ томъ случаѣ, когда оконечности шестовъ соединены между собою неизмѣнно, потому что конецъ шеста *ab*, двигающагося только взадъ и впередъ по прямой линіи, не можетъ двигаться по дугѣ. Для произведенія соответствующаго этому случаю преобразования движенія, употребляютъ преимущественно приборъ, извѣстный подъ названіемъ параллелограма Уата.

Фиг. 219.



На фиг. 220 представлено очертаніе этого прибора. На вѣншей оконечности, вращающагося около точки *A*, шеста *CA*, прикрѣпляютъ два стержня *CE* и *BD*, соединенные между собою внизу поперечнымъ стержнемъ *ED*. Всѣ эти стержни, свободно вращающіеся на шарнирахъ около точекъ своего соединенія *C*, *B*, *D* и *E*, образуютъ подвижной параллелограмъ *CBDE*. Съ концемъ этого параллелограма *E* соединенъ точно также отвѣсный стержень, движущійся попеременно внизъ и вверхъ. Если верхній конецъ стержня будетъ уклоняться немного то вправо, то влево отъ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку *c* при горизонтальномъ положеніи коромысла *CA*, то ясно, что при подобномъ движеніи оконечности шеста должно измѣняться и положеніе соединеннаго съ нимъ параллелограма относительно *CBDE* коромысла *CA*. Такимъ образомъ при наибольшемъ поднятіи шеста параллелограмъ приметъ

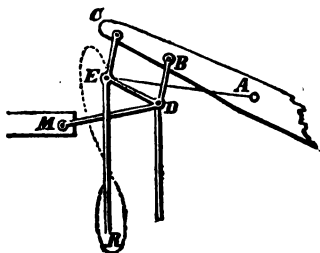
Фиг. 220.



шей чрезъ точку *c* при горизонтальномъ положеніи коромысла *CA*, то ясно, что при подобномъ движеніи оконечности шеста должно измѣняться и положеніе соединеннаго съ нимъ параллелограма относительно *CBDE* коромысла *CA*. Такимъ образомъ при наибольшемъ поднятіи шеста параллелограмъ приметъ

положеніе $HCLO$, а при наибольшемъ опусканіи $NGKZ$. При этомъ очевидно точка D должна будетъ проходить послѣдовательно чрезъ точки K , D , L , а для подобнаго движенія необходимо, чтобы точка D управлялась рычагомъ, обращающимся неподвижно около точки M , положеніе которой соответствуетъ центру дуги, проходящей чрезъ эти три точки K , D и L .

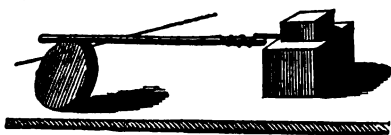
На фиг. 221 представленъ параллелограмъ Уата $CEDB$ и показана точками кривая линія, которую стремится описать конецъ его E при различныхъ положеніяхъ параллелограмма. Эта кривая линія, имѣющая видъ цифры 8, очень мало удаляется отъ вертикальной линіи CA въ предѣлахъ движенія коромысла, такъ что стержень производитъ достаточно вертикальное движеніе при попеременномъ поднятіи и опусканіи своемъ.



При описаніи фабричной паровой машины мы будемъ имѣть случай видѣть примѣненіе этого прибора.

Для преобразованія непрерывнаго круговаго движенія въ попеременное, употребляется такъ называемый *эксцентрическій кружокъ*. Устройство его основано на слѣдующемъ: возьмемъ деревянный достаточной толщины кружокъ (фиг. 222) и проткнемъ сквозь него желѣзный пруть, такъ чтобы онъ не проходилъ сквозь центръ кружка; потомъ возьмемъ линейку и къ одному концу ея привяжемъ веревку, другой конецъ веревки укрѣпимъ между двумя брусками; линейку положимъ на обводъ кружка. Если станемъ вращать кружокъ около желѣзнаго прута, то линейка придетъ въ попеременное движеніе то вверхъ, то внизъ, т. е. она будетъ то приближаться, то удаляться отъ желѣзнаго прута. Иногда эксцентрическому кружку даютъ сердцевидную форму. Примѣненіе эксцентрическаго кружка можно видѣть при управленіи паровыми машинами; сердцевидный же употребляется въ прядильной машинѣ, гдѣ катушка движется взадъ и впередъ, чтобы нить равномерно наматывалась во всѣхъ мѣстахъ.

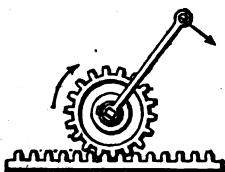
Фиг. 222.



Укажемъ еще на нѣсколько примѣровъ преобразованія движенія, производимаго зубчатыми колесами.

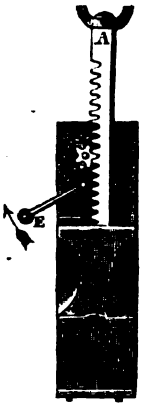
Весьма часто соединяютъ зубчатое колесо съ желѣзною полосою, снабженною также зубцами (фиг. 223), такъ что когда мы посредствомъ рукоятки станемъ приводить колесо въ вращательное движеніе, то полоса будетъ двигаться по направленію своей длины въ сторону противоположную указанію проведенныхъ на чертежѣ стрѣлокъ. Понятно, что въ этомъ случаѣ зубчатая полоса представляетъ сопротивленіе, которое распространяется равномерно по всѣмъ зубцамъ вращающагося колеса. Примѣняя къ законамъ равновѣсія ворота дѣйствіе этого прибора мы найдемъ, что сила будетъ относиться на немъ къ сопротивленію такъ, какъ радіусъ колеса относится къ радіусу окружности, описываемой рукояткою. Слѣдовательно, чѣмъ длиннѣе рукоятка относительно поперечника колеса, тѣмъ выгоднѣе употреблять этотъ приборъ.

Фиг. 223.



мы найдемъ, что сила будетъ относиться на немъ къ сопротивленію такъ, какъ радіусъ колеса относится къ радіусу окружности, описываемой рукояткою. Слѣдовательно, чѣмъ длиннѣе рукоятка относительно поперечника колеса, тѣмъ выгоднѣе употреблять этотъ приборъ.

Подобное преобразование движеній мы встрѣчаемъ въ машинѣ (Фиг. 224), служащей для подниманія на небольшую высоту очень тяжелыхъ тѣлъ. Устройство этой машины, обыкновенно называемой *домкратомъ*, слѣдующее:

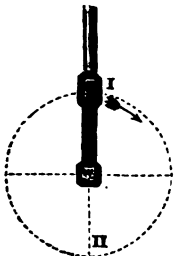


Зубчатая полоса *A* сцепляется съ зубчатымъ колесомъ *C*, называемымъ шестернею. На оси шестерни прикрѣплено зубчатое колесо *B*, которое поворачивается вмѣстѣ съ шестернею *C* и задѣваетъ за зубцы другого зубчатого колеса, лежащаго подъ колесомъ *B*. Къ оси нижняго зубчатого колеса прикрѣплена рукоятка *E*. Чтобы поднять зубчатую полосу *A* кверху, а вмѣстѣ съ тѣмъ и тѣло, которое опирается на верхушку ея, поворачиваютъ рукоятку по направленію показанному стрѣлкою; при этомъ нижнее зубчатое колесо будетъ поворачиваться въ ту же самую сторону и заставитъ обращаться колесо *B*, а вмѣстѣ съ тѣмъ и шестерню *C*, которая въ свою очередь будетъ заставлять подниматься вверху самую полосу. Зная законы равновѣсія силъ въ воротахъ, не трудно найти и въ этой машинѣ отношеніе между силою и сопротивленіемъ.

С. Машины, служащія для уравненія или регулированія движенія.

Опытъ показываетъ намъ, что ни въ одной машинѣ не существуетъ одинаковаго отношенія между силою и сопротивленіемъ во все продолженіе дѣйствія силы. Измѣненіе этого отношенія въ разные моменты движенія, происходящее отъ различныхъ обстоятельствъ, влечетъ за собою неравномѣрность движенія машинъ. Такъ напр., если мы преобразовываемъ попережнѣнное поступательное движеніе въ непрерывное круговое и если при этомъ сила дѣйствуетъ сверху на шатунъ, то когда послѣдній находится на прямой линіи съ рукояткою (Фиг. 225), то онъ не сообщаетъ послѣдней никакого движенія, но

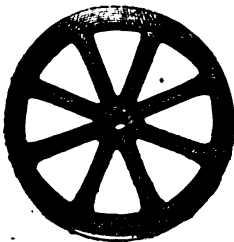
Фиг. 225.



только тянетъ кверху и потому увеличиваетъ только треніе оси. Точка *I*, въ которой сила не оказываетъ никакого дѣйствія, называется *мертвою точкою* круговаго движенія. Потомъ рукоятка идетъ вправо съ постоянно возрастающею скоростью до тѣхъ поръ, пока не придетъ въ горизонтальное положеніе, за тѣмъ скорость ее уменьшается и когда снова приметъ вертикальное положеніе въ точкѣ *II*, то сила не будетъ ей сообщать движенія, но будетъ производить одно только давленіе. Точка *II* называется *второю мертвою точкою*. При возвратномъ движеніи рукоятки до половины пути скорость увеличивается; во второй половинѣ пути уменьшается и такимъ образомъ снова доходитъ до первой мертвой точки. Ясно, что при такомъ устройствѣ, движеніе по окружности будетъ совершаться то скорѣе, то медленнѣе.

Для устраненія этого

Фиг. 226.



Часть I.

неудобства при значительныхъ работахъ употребляютъ большое тяжелое чугунное колесо (Фиг. 226), приводимое въ вращательное движеніе самою машиною. Колесо это называется *маховымъ*. Если сила мгновенно увеличивается, то это увеличеніе силъ простирается и на маховое колесо, и потому не будетъ такъ чувствительно для всей машины; если же, на оборотъ, движущая сила уменьшится и даже совершенно прекратится, то дѣйствіе машины чрезъ это тотчасъ же не измѣнится, потому что по законамъ инерціи колесо нѣкоторое, хотя короткое, время будетъ сохранять прибрѣтенную скорость и передать ее прочимъ

частямъ машины, которыя повтому не будутъ прекращать движенія во время остановки непосредственнаго дѣйствія на нихъ двигающей силы. На этомъ основаніи сравниваютъ маховое колесо съ резервуаромъ, приобретающимъ постоянный запасъ работы, которая и составляетъ живую силу рычага.

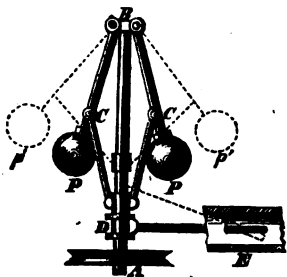
Это постоянное накопленіе запаса работы въ маховомъ колесѣ, не можетъ впрочемъ служить поводомъ къ увеличенію силы машины, съ которою соединено колесо, потому что тяжесть колеса имѣетъ вліяніе на увеличеніе тренія, обнаруживаемаго осью его. Сверхъ того по причинѣ значительнаго объема и приобретенной скорости оно претерпѣваетъ сопротивленіе воздуха, которое также производитъ потерю въ движущей силѣ. Хотя потеря эта и не позволяетъ рассчитывать на увеличеніе движущей силы машины, но относительно самого уравненія движенія она не представляетъ значительнаго сопротивленія.

Маховое колесо употребляется въ валъной машинѣ, въ машинахъ чеканящихъ монету, въ карманныхъ часахъ и др.

Но кромѣ приборовъ для уравниванія движенія необходимо имѣть также и такіе приборы, которые могли бы показывать самую степень неравномѣрности движенія во все продолженіе дѣйствія машины. Такъ напр. при сильномъ нагрѣваніи котла паровой машины, можетъ отъ различныхъ причинъ быстро образоваться значительное количество паровъ, чрезъ что конечно ускорится производимое ими дѣйствіе въ самой машинѣ, а въ иныхъ случаяхъ можетъ даже произойти самый разрывъ пароваго котла. Поэтому при сильномъ ускореніи движенія или должно уменьшить нагрѣваніе котла или выпустить излишнее количество пара.

Неравномѣрность движенія машины, служащая признакомъ измѣняющагося дѣйствія самой машины, можетъ быть обнаружена посредствомъ такъ называемаго *центробѣжнаго маятника*, который такъ соединенъ съ машиною, что при измѣненіи скорости движенія самъ управляетъ дѣйствіемъ пара. Этотъ маятникъ, иначе называемый *регуляторомъ*, состоитъ изъ вертикальной оси *AB* (фиг. 227),

Фиг. 227.



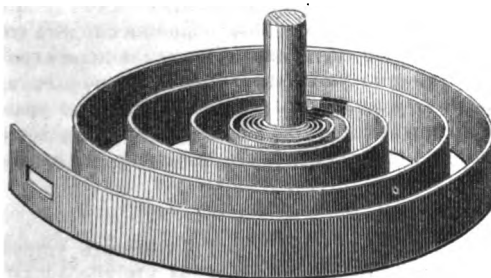
къ которой прикрѣплены вращающіеся на шарнирахъ два стержня съ тяжелыми шарами *P* и *P'* на концахъ. Ось *AB*, посредствомъ придѣланнаго къ ней колеса, соединяется съ двигающимися частями машины и приходитъ чрезъ то въ вращательное движеніе съ извѣстною скоростью, соотвѣтствующею скорости самой машины. Если скорость движенія машины увеличится, то вмѣстѣ съ тѣмъ увеличится и скорость вращенія регулятора, и потому увеличится центробѣжная сила шаровъ *P*, которые очевидно будутъ описывать при вращеніи оси круговое движеніе. Съ увеличеніемъ центробѣжной силы, шары будутъ стремиться къ удаленію отъ оси, и вслѣдствіе того подниматься вверхъ. Вмѣстѣ съ поднятіемъ шаровъ будетъ подниматься соединенное съ ними кольцо *D*, обхватывающее ось *AB*. Кольцо *D* поднимаетъ рычагъ *DE*, посредствомъ котораго открывается клапанъ котла и лишнее количество пара выходитъ вонъ. При подобномъ устройствѣ упругость паровъ въ паровой машинѣ не будетъ переходить за извѣстный предѣлъ, а слѣдовательно ходъ машины не можетъ увеличиваться болѣе этого предѣла.

Разсмотримъ отдѣльно важнѣйшіе механическіе двигатели, приводы и уравнители, подробное разсмотрѣніе которыхъ составляетъ собственно предметъ механики; мы считаемъ полезнымъ показать взаимное отношеніе ихъ при устройствѣ одной изъ употребительнѣйшихъ сложныхъ машинъ — карманныхъ часовъ.

Мы не имеем никакого другого средства для точнѣйшаго измѣренія времени кромѣ движенія. Самый простой и древнѣйшій способъ опредѣленія времени состоялъ въ наблюденіи надъ теченіемъ небесныхъ тѣлъ. Очевидно, что такой способъ не всегда возможенъ; поэтому обратились къ искусственнымъ Фиг. 228 пособиямъ, для чего выбраны были вода и песокъ. Такимъ образомъ въ самыя отдаленныя времена мы встрѣчаемъ водяные и песочные часы (Фиг. 228), которые состоятъ въ томъ, что вода или песокъ переливается или пересыпается изъ одного сосуда въ другой; понятно, что нельзя ожидать отъ такихъ часовъ равномерности хода, потому что первыя частицы жидкости, вслѣдствіе давленія верхнихъ слоевъ, будутъ выходить съ большею скоростію нежели послѣдующія.

Если мы приведем какое нибудь тѣло въ совершенно однообразное движеніе, такъ чтобы оно въ равныя времена проходило бы равныя пространства, то это движеніе можетъ доставить намъ средство къ измѣренію времени. Съ этою цѣлью при устройствѣ карманныхъ часовъ, пользуются движеніемъ доставляемымъ упругостію стальной машины. Если бы движеніе это было равномернo, то очевидно, что вся задача состояла бы въ томъ, чтобы обна-

Физ. 230.



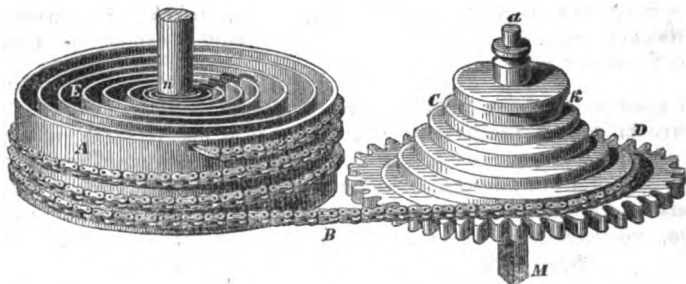
ружить наиболѣе нагляднымъ образомъ движеніе совершаемое пружиною въ равныя времена. Въ этомъ случаѣ стояло бы только взять закаленную стальную полоску свернутую въ спираль (фиг. 229 и 230), въѣшній конецъ которой прикрѣпить къ неподвижной точкѣ, а внутренній къ вращающейся оси. Если вращеніемъ оси натянуть обвивающую ее пружину и потомъ предоставить послѣднюю самой себѣ, то очевидно, что сила упругости будетъ заставлять пружину принимать первоначальное ея положеніе. Въслѣдствіе того она начнетъ раздвѣиваться въ противоположную сторону и будетъ доставлять вращеніе соединенной съ нею оси по одному направленію съ собственнымъ движеніемъ.

Но какъ при развертываніи пружины, движеніе оси въ малые промежутки времени совершенно ускользало бы отъ глаза, то для обнаруженія этого движенія, можно было бы прикрѣпить къ оси подъ прямымъ угломъ стрѣлки, наружный конецъ которой двигался бы по кругу съ равными дѣленіями. При такомъ устройствѣ движеніе стрѣлки могло бы доставлять намъ средство къ измѣренію времени только при двухъ условіяхъ. Во первыхъ, еслибы развертываніе пружины отъ самаго начала и до конца происходило бы *равномерно*, потому что только въ этомъ случаѣ конецъ стрѣлки могъ бы проходить по кругу съ дѣленіями равнаго пространства въ равныя времена, и во вторыхъ, развертываніе пружины не должно совершаться слишкомъ быстро, потому что тогда мы не были бы въ состояніи оцѣнивать движеній оси, соответствующихъ малымъ промежуткамъ времени.

Что касается до первого условія, то опытъ показываетъ намъ, что развѣртываніе сильно натянутой пружины не происходитъ равномѣрно, но въ началѣ оно совершается весьма быстро, а потомъ сильно ослабѣваетъ. Понятно, что стрѣлка получила бы при этомъ весьма неоднобразное вращательное движеніе.

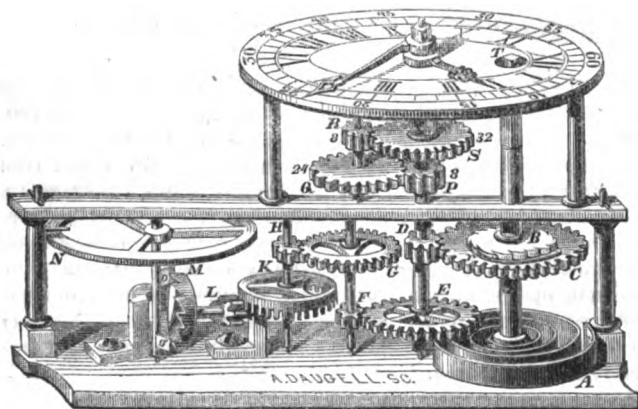
Чтобы устранить это неудобство и вмѣстѣ съ тѣмъ замедлить развѣртываніе пружины, придумывали различные механизмы.

Прежде всего старались уравнить движеніе пружины устройствомъ *улиткообразнаго колеса D* (фиг. 231). посредствомъ часоваго ключика приводится во
Фиг. 231.



вращенію конусообразное колесо *D*, верхняя часть котораго имѣетъ улиткообразные обходы *C*. Колесо это цѣпочкою *B* соединяется съ барабаномъ *A*, на который наматывается и укрѣпляется цѣпочка. Одинъ конецъ пружины *E* прикрѣпленъ ко внутренней сторонѣ барабана, а другой удерживается неподвижнымъ штифтомъ *n*. Въ то время, когда мы заводимъ часы, то цѣпочка сходитъ съ барабана и наматывается на обходы улитки; барабанъ при этомъ, вращаясь нѣсколько разъ, натягиваетъ пружину, которая сдѣлавшись свободною снова развѣртывается и приводитъ барабанъ въ движеніе противоположное первоначальному. При этомъ движеніи барабанъ посредствомъ цѣпочки передаетъ движеніе улиткообразному колесу *D*, отъ зубцевъ котораго приходитъ въ движеніе и остальная масса колесъ. Тотчасъ послѣ заведенія часовъ, т. е. когда пружина натянута самымъ сильнымъ образомъ, она дѣйствуетъ посредствомъ цѣпочки на верхній обходъ (*k*) улитки, имѣющей самый малый диаметръ. По мѣрѣ дальнѣйшаго развѣртыванія пружины, цѣпочка сходитъ все съ большихъ и большихъ обходовъ, такъ что постоянно уменьшающаяся сила упругости пружины дѣйствуетъ на постоянно увеличивающееся плечо рычага; чрезъ что мы получаемъ уравниеніе хода часовъ. Но для совершеннаго уравниенія хода часовъ недостаточно еще описаннаго устройства; оно даже вовсе не употребляется у часовъ, приспособленныхъ къ наиболѣе точному измѣренію времени.

Фиг. 232.



Сущность устройства употребляемаго въ настоящее время какъ для уравниенія, такъ и для замедленія развѣртыванія пружины въ карманныхъ часахъ, представлена на Фиг. 232, гдѣ для большей ясности нѣкоторыя части показаны въ увеличенномъ и растянутомъ видѣ.

Прежде описанія самаго устройства должно замѣтить, что изображенныя на фигурѣ колеса *P*, *Q*, *R* и *S* представляютъ систему зубчатыхъ колесъ, приводящую въ движеніе стрѣлки, а вмѣстѣ съ тѣмъ и прочія части хода.

Посредствомъ штифта *T* натягивается пружина *A* или, какъ говорятъ, часы заводятся; отъ чего упругость пружины приводитъ въ обращеніе въ противоположную сторону какъ собственную ось, такъ и прикрѣпленное къ ней колесо *C*, называемое *нижнимъ колесомъ*.

Колесо *C* за дѣваетъ за шестерню *D* и тѣмъ приводитъ въ движеніе систему колесъ, назначенныхъ для движенія стрѣлокъ. Упругость пружины и устройство колесъ должны быть таковы, чтобы малое колесо *P*, называемое *минутнымъ колесомъ*, въ продолженіи часа обращалось одинъ разъ. На концѣ этой оси прикрѣплена минутная стрѣлка, которая въ продолженіе одного часа совершаетъ по кругу одинъ, а слѣдовательно въ продолженіи 12 часовъ должна сдѣлать 12 обходовъ. Извѣстно, что часовая стрѣлка въ теченіи 12 часовъ должна пройти только одинъ обходъ. Это достигается слѣдующимъ образомъ: ось часовой стрѣлки имѣетъ внутри выемку на подобіе внутренности трубки; этой выемкой она надѣвается на ось минутной стрѣлки. Къ оси часовой стрѣлки прикрѣплено зубчатое колесо *s*. Посредствомъ нѣсколькихъ зубчатыхъ колесъ *двѣнадцатиразовое* обращеніе колеса *P* переходитъ въ одиночное обращеніе часоваго колеса *s*. Для этой цѣли минутное колесо, снабженное восемью зубцами, за дѣваетъ за колесо *Q*, имѣющее 24 зубца; и ось послѣдняго вмѣстѣ съ укрѣпленною шестернею *R* производитъ 3 оборота въ продолженіе 12 часовъ. У шестерни *R* 8 зубцевъ, за дѣвающихъ за 32 зубца *часоваго колеса S*, которое слѣдовательно обращается только *одинъ* разъ, тогда какъ *R* дѣлаетъ 4 оборота, а минутное колесо — 12.

Разсматривая далѣе механизмъ часовъ, увидимъ, что среднее колесо *E* распространяетъ движеніе на шестерню *F*, на *промежуточное* колесо *G* и *коронное* колесо *K*, которое передаетъ далѣе движеніе посредствомъ шестерни *L* на колесо *M* съ восходящими зубцами. Передъ колесомъ *M* мы видимъ перпендикулярную къ нему ось, вверху которой находится небольшое маховое колесо *N*, извѣстное у часовыхъ мастеровъ подъ названіемъ *баланса*. На этой оси при дѣланы двѣ пластинки или крылья *o* и *o'*, разстояніе между которыми равно діаметру колеса *M*. Крылья эти перпендикулярны другъ къ другу по своему положенію къ оси. Послѣднія части съ колесомъ *M* образуютъ *часовой ходъ*.

Если зубецъ верхней части колеса *M* за дѣваетъ верхнее крыло *o*, то послѣднее получаетъ ударъ назадъ. Тотчасъ послѣ того встрѣчаетъ нижнее крыло *o'* нижній зубецъ колеса *M*; такъ что, вообще, пока вращается колесо *M*, крылья *o* и *o'* получаютъ удары то впередъ, то назадъ. А какъ съ осью соединенъ балансъ, то очевидно, что послѣдній отъ каждаго толчка приходитъ къ движенію на четверть окружности то назадъ и впередъ. Такое движеніе баланса называется *колебаніемъ*. Поэтому когда каждое крыло встрѣчается съ зубцемъ колеса *M*, то послѣднее получаетъ отъ баланса толчекъ назадъ, потому что балансъ по инерціи стремится къ сохраненію сообщеннаго ему движенія. Слѣдовательно попеременные движенія баланса назадъ и впередъ производятъ равномерныя задерживанія въ движеніи колеса *M*, которое отъ того получаетъ стремленіе къ совершенію правильнаго вращенія.

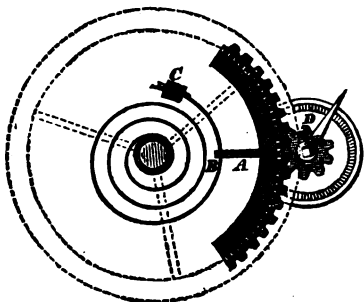
Понятно, что вращеніе колеса *M* можетъ быть совершенно правильно только въ томъ случаѣ, когда попеременные колебанія баланса назадъ и впередъ совершаются одновременно. Но этого однако на самомъ дѣлѣ не бываетъ, потому что пружина, производящая первоначально колебанія баланса и постоянно поддерживающая эти колебанія, сама движется неравномерно, такъ что неравномерность движущей силы распространяется и на балансъ. Поэтому, чтобы доставить равномерность балансу, прикрѣпляютъ къ нему на подобіе волоса тонкую спиральную пружину, называемую *волоскомъ*. Если легкимъ толчкомъ сообщить движеніе балансу, то при этомъ свернется стальной воло-

сокъ, который вслѣдствіе своей упругости начнетъ потомъ развѣртываться и будетъ стремиться привести балансъ въ его первоначальное положеніе, отъ чего балансъ произведетъ движеніе противоположное тому, которое сообщено толчкомъ. Во время этого движенія взадъ и впередъ крылья *о* и *о'* произведутъ два, слѣдующія другъ за другомъ, удара объ зубцы колеса *М*. Удары эти поддерживаютъ движенія баланса, которые уравниваются сами упругостію волоска и въ тоже время служатъ причиною правильнаго движенія колеса *М*.

Изъ сдѣланнаго нами описанія не трудно замѣтить, что часы управляются колебаніями баланса; поэтому колебанія эти должны совершаться сами *въ продолженіе опредѣленнаго времени*. Часы будутъ идти впередъ, если эти колебанія слѣдуютъ быстро другъ за другомъ; въ противномъ случаѣ они отстаютъ. И потому надобно прискакать средство для сообщенія требуемой продолжительности колебаніямъ баланса. Этого можно достигнуть удлиненіемъ или укорачиваніемъ *спирали* по произволу, потому что упругость спирали увеличивается съ укорачиваніемъ и уменьшается съ увеличеніемъ длины ея.

Такое устройство называется *поправкою* (correction). Стальная спираль (Фиг. 233),

Фиг. 233.



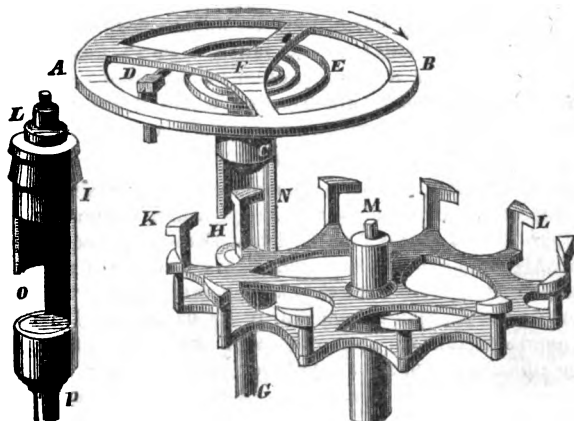
проходитъ при *В* чрезъ прорѣзъ рычага *А*, который соединенъ съ зубчатою дугою круга. Вслѣдствіе такого устройства упругость спирали дѣйствуетъ только съ точки *В*. Если теперь стрѣлка *Д* приходитъ въ движеніе въ ту или другую сторону, то отъ задѣванія шестерни недействующая часть спирали *ВС* укорачивается или удлиняется и такимъ образомъ колебаніямъ доставляется требуемая продолжительность.

Но описанные нами часы по причинѣ перпендикулярности стоячаго колеса *М* къ остальному ходу должны имѣть достаточную толщину. Этотъ недостатокъ плоскости не позволяетъ носить ихъ удобно въ

карманѣ, а потому въ новѣйшее время всѣ усилія механиковъ стремились къ тому, чтобы замѣнить причину этого неудобства другимъ устройствомъ.

Задача очевидно заключалась въ томъ, чтобы придумать такое сообщеніе баланса съ стоячимъ колесомъ *М*, которое позволяло бы дать послѣднему горизонтальное положеніе. Это сообщеніе достигается при помощи такъ называемаго *цилиндрическаго задерживанія*, придуманнаго французскимъ механикомъ *Брегетомъ*. Такъ какъ подобное соединеніе встрѣчается во всѣхъ плоскихъ карманныхъ часахъ, то мы считаемъ нелишнимъ привести здѣсь его описаніе. Фиг. 234.

Фиг. 235.



Мы уже знаемъ, что стоячее колесо *М* (Фиг. 234) приводится во вращеніе упругостію часовой пружины при посредствѣ системы зубчатыхъ колесъ. Брегетъ расположилъ это колесо *КЛМ* (Фиг. 235) горизонтально, такъ чтобы вращеніе его совершалось при помощи зубчатыхъ колесъ на вертикальной оси *МО*. На горизонтальномъ колесѣ онъ укрѣпилъ двѣнадцать особен-

нытъ образомъ закривленныхъ зубцовъ. Крючками этихъ зубцовъ колесо *KLM* дотрогивается до горизонтальнаго баланса, вращающагося възгъ него также на вертикальной оси, приводимой въ движеніе подобно колесу *KLM* общею системою зубчатыхъ колесъ. Стволъ оси баланса состоитъ въ верхней части изъ полая стального цилиндра, имѣющаго при *CH* особенной формы вырѣзку, форма которой показана на фиг. 234. Часть цилиндра, расположенная надъ выемкою играетъ самую важную роль. Вслѣдствіе колебаній баланса цилиндръ *NH* можетъ вращаться около оси *G* то въ одну, то въ другую сторону. При положеніи цилиндра, представленномъ на фиг. 235, сплошная часть цилиндра, противоположная выемкѣ, задерживаетъ посредствомъ зубца *N* восходящее колесо.

Въ историческомъ отношеніи должно замѣтить, что часовая система колесъ въ древности вовсе была неизвѣстна и достовѣрно нельзя указать ни на изобрѣтателя, ни на самое время изобрѣтенія ихъ. Обыкновенно приписываютъ изобрѣтеніе карманныхъ часовъ Нюрнбергскому уроженцу Петру Геле въ 1560 году.

Требуемая же точность въ ходѣ часовъ достигнута была знаменитымъ голландскимъ физикомъ Гюйгенсомъ 1657 г.

Въ заключеніе механической статьи мы скажемъ здѣсь о способѣ измѣренія работы двигателей.

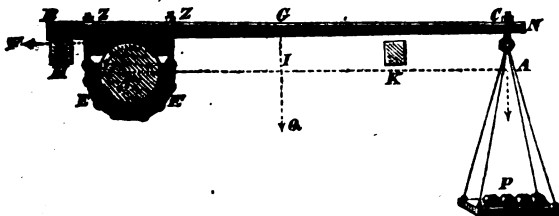
Работа различныхъ двигателей, какъ напр. водяныхъ колесъ, паровыхъ машинъ и др., заключается въ доставленіи вращенія *валу*, отъ котораго, какъ мы уже говорили, сообщается движеніе различнымъ *приводамъ*, передающимъ это движеніе каждому орудію, назначенному для производства извѣстнаго рода работы.

Для опредѣленія полезной работы производимой машиною, обыкновенно освобождаютъ валъ отъ всѣхъ приводовъ и вообще отъ всего того, что составляетъ сопротивленіе его движенію. Потомъ противопоставляютъ этому валу такое искусственное сопротивленіе, которое легко было бы опредѣлить. Давая этому сопротивленію различныя величины можно привести машину въ такое положеніе, при которомъ она будетъ совершать обыкновенное свое движеніе, сообщаемое ей силою двигателя; слѣдовательно когда машина находится въ обыкновенномъ своемъ отношеніи къ двигателю. Ясно, что измѣряя работу, обнаруживаемую машиной для уничтоженія противопоставляемаго ей сопротивленія, мы получимъ работу, которую производитъ машина при обыкновенномъ своемъ дѣйствіи на приводы.

Для опредѣленія искусственнаго сопротивленія употребляютъ *динамометрическій нажимъ*, называемый также по имени изобрѣтателя *нажимомъ Прони*.

На фиг. 236 *A* представляетъ разрѣзъ горизонтальнаго вала машины, на который надѣваютъ нажимъ. Рычагъ *BC* снабженъ деревяннымъ приставомъ *D*

Фиг. 236.



съ выемкой снизу, позволяющей ему обхватывать валъ. Металлическая цѣпь *EE* обложена со внутренней стороны деревянными брусками, обхватывающими нижнюю часть вала. Съ помощью винтовыхъ гаекъ *Z* и *Z* какъ доска *D*, такъ и бруски цѣпи прижимаются плотно къ валу. Къ концу рычага *C* привязывается небольшая помость для накладыванія гирь. Упоры *H* и *K* располага-

ются такъ, чтобы рычагъ обращался въ ту или другую сторону вокругъ вала и не слишкомъ бы уклонялся отъ горизонтальнаго своего положенія.

Положимъ, что валу A сообщено движеніе посредствомъ двигательной машины, силу которой мы хотимъ измѣрять и что при этомъ какъ деревянный выступъ D , такъ и самая цѣпь плотно прижаты къ поверхности вала. Обхватенный этими обоймицами, валъ будетъ стремиться приводить рычагъ BC по направленію собственнаго своего движенія и рычагъ дѣйствительно описывалъ бы кругъ, если бы не встрѣчалъ сопротивленія со стороны упора H , который удерживаетъ его въ неподвижномъ положеніи. Понятно, что при этомъ условіи все дѣйствіе вала будетъ ограничиваться однимъ вращеніемъ въ обхватывающихъ его обоймицахъ. Трѣніе, происходящее вслѣдствіе этого вращенія очевидно будетъ составлять сопротивленіе дѣйствующее на валъ и стремящееся къ уничтоженію его движенія. Ясно, что прикрѣпляя или ослабляя гайки Z и Z мы можемъ доставить машинѣ то самое движеніе, которымъ обладаетъ она при работѣ сообщенныхъ съ нею приводовъ; тогда работа сопротивленія развиваемаго трѣніемъ обоймицъ о поверхности вала можетъ быть принята за мѣру той работы, которую въ состояніи произвести машина. Остается только измѣрить эту работу.

Съ этою цѣлю на доску G кладутъ столько гирь, чтобы рычагъ BC сохранялъ горизонтальное положеніе не прикасаясь ни къ упору H , ни къ упору K . Тогда рычагъ будетъ удерживаться въ равновѣсіи двумя силами — силою тяжести и силою трѣнія вала въ точкахъ его прикосновенія съ обоймицами. Для большей простоты вывода оставимъ безъ вниманія вѣсъ всего нажима вмѣстѣ съ доскою G и назовемъ чрезъ P вѣсъ положенныхъ на доску гирь. Точно также допустимъ, что вмѣсто нѣсколькихъ силъ развиваемыхъ трѣніемъ нажима существуетъ только одна сила Q , дѣйствующая по касательной къ окружности вала. А какъ нажимъ можетъ обращаться только вокругъ вала, то для равновѣсія нажима необходимо, чтобы силы P и Q были обратно пропорціональны разстояніямъ точекъ приложенія ихъ отъ оси или, что все равно, обратно пропорціональны окружностямъ круговъ, описанныхъ радіусами, равными этимъ разстояніямъ. Слѣдовательно произведеніе силы Q обнаруживаемой трѣніемъ на окружность вала будетъ равно произведенію силы P на окружность, описанную радіусомъ равнымъ разстоянію оси вала отъ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку C , въ которой привѣшена доска G . Первое произведеніе есть ни что иное какъ работа производимая трѣніемъ Q при полномъ оборотѣ вала; слѣдовательно второе произведеніе, которое легко уже вычислить, можетъ служить мѣрою работы трѣнія. Стоить помножить это второе произведеніе на число оборотовъ вала въ продолженіе какого нибудь опредѣленнаго времени, напр. часа, и тогда получимъ полное количество работы, производимое машиною въ этотъ промежутокъ времени.

Ясно, что тотъ же результатъ получится и въ томъ случаѣ, когда вмѣсто одной силы, обнаруживаемой при трѣніи нажима, примемъ нѣсколько силъ, приложенныхъ въ различныхъ точкахъ прикосновенія его къ поверхности вала. Что касается до вѣса нажима и доски G , то съ помощію динамометра легко опредѣлить силу, которую должно приложить къ точкѣ C по направленію обратному къ дѣйствію тяжести для того, чтобы поддержать нажимъ въ томъ случаѣ, когда гайки будутъ ослаблены и на доскѣ G не будутъ находиться гири. Понятно, что полученную такимъ образомъ силу должно приложить къ вѣсу гирь, положенныхъ на доску и потомъ уже производить вычисления, о которыхъ мы уже говорили. Такимъ образомъ когда нажимъ будетъ надѣтъ на валъ, когда будутъ завинчены гайки Z и Z и потомъ на доску G положится столько гирь, чтобы машина дѣйствовала такъ какъ при обыкновенныхъ обстоятельствахъ и чтобы при этомъ рычагъ BC оставался въ горизонтальномъ положеніи, то полная работа машины производимая въ теченіи часа получится слѣдующимъ образомъ: считаютъ вѣсъ гирь, положенныхъ на доску, къ этому вѣсу придаютъ вѣсъ самаго нажима и доски; потомъ сумму всей этой тяжести умножаютъ на окружность круга, описаннаго радіусомъ

равнымъ горизонтальному разстоянію отъ оси вала до перпендикуляра, проходящаго чрезъ точку, къ которой привѣшена доска; наконецъ это произведение помножается на число оборотовъ вала, совершенныхъ въ часть времени. Вычисляя въ единицахъ вѣса сумму гирь, положенныхъ на доску и тотъ вѣсъ, который придастся къ нему, и опредѣляя въ единицахъ длины величину окружности, входящую множителемъ въ первое произведение, мы получимъ въ окончательномъ результатѣ часовую работу машины, выраженную въ пудофутахъ.

ПРИТЯЖЕНИЕ НА РАЗСТОЯНІИ.

Тяжесть.

§ 103. Всякое тѣло на землѣ, какъ мы уже говорили, оказываетъ ^{Тяжесть.} известное давленіе на тѣ препятствія, которыя не позволяютъ ему падать книзу. Устранивъ эти препятствія мы можемъ легко замѣтить, что предоставленное самому себѣ тѣло дѣйствительно упадетъ книзу. Причину обонхъ этихъ явленій — давленія и паденія, называютъ *тяжестію*.

Если раздѣлить тѣло на двѣ или на три части, то точно также найдемъ, что каждая изъ нихъ будетъ падать къ землѣ и какъ бы далеко не простиралось подобное дѣленіе, даже до самаго предѣла, котораго только можно достигнуть физически, всегда самыя малѣйшія частички будутъ падать книзу, если только мы устранимъ препятствія могущія имѣть вліяніе на ихъ паденіе, такъ напр. если будемъ производить паденіе чрезвычайно малыхъ частичекъ въ пространство, изъ котораго извлеченъ воздухъ.

Это показываетъ намъ, что тяжесть не составляетъ свойства цѣлаго тѣла, какъ массы болѣе или менѣе значительнаго протяженія, но есть качество принадлежащее каждой матеріальной частицѣ какъ бы мала она не была.

Самое поверхностное наблюденіе приведеннаго нами явленія приводитъ къ предположенію, что тяжесть должна заключаться собственно въ притяженіи между землею и частицами тѣлъ, отдѣленныхъ отъ ней. Но чтобы доставить этому предположенію большую достовѣрность, намъ должно доказать посредствомъ опыта, что тѣла находящіяся на известномъ разстояніи между собою могутъ взаимно притягиваться другъ другомъ.

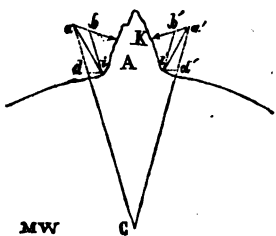
§ 104. Если существуетъ дѣйствительно притяженіе между частями матеріи, то мы имѣемъ ожидать, что всѣ большія массы, какъ ^{Опытъ падъ} ^{дѣйстви-} ^{ельнъ тя-} ^{жести.} напр. горы, должны оказывать замѣтное притяженіе на тѣла окру-

жающія ихъ, что очевидно противорѣчитъ опыту. Противорѣчіе это мы можемъ объяснить себѣ только въ томъ случаѣ, когда примемъ во вниманіе незначительность массы самыхъ высокихъ горъ сравнительно со всею массою земли, на которой онѣ находятся. Понятно, что обыкновенныя горы не могутъ притягивать къ себѣ тѣла, которыя въ тоже время притягиваются всею массою земли. Все дѣйствіе горъ въ этомъ случаѣ можетъ заключаться только въ большемъ или меньшемъ измѣненіи того направленія, которыя тѣла принимаютъ обыкновенно при паденіи своемъ. Если же горы могутъ дѣйствительно производить эти измѣненія, то это въ свою очередь можетъ служить доказательствомъ въ существованіи притяженія между частицами матерій, находящимися на извѣстномъ разстояніи между собою.

Бугеру первому пришло на мысль доказать справедливость этого предположенія посредствомъ притяженія горъ. Мы уже говорили, что нить съ привѣшенною гирею вытягивается постоянно въ направленіи перпендикулярномъ къ поверхности стоячихъ водъ. Если горы обладаютъ способностію притягивать къ себѣ тѣла, то очевидно, что онѣ должны отклонять отвѣсъ отъ перпендикулярнаго направленія.

И въ самомъ дѣлѣ на гирю отвѣса (фиг. 237) должно дѣйствовать

Фиг. 237.



двѣ силы: одна — притяженіе земли, а другая — притяженіе горы. Покоряясь обоюдному дѣйствію этихъ двухъ силъ, отвѣсъ очевидно займетъ то направленіе, въ которомъ проходитъ равнодѣйствующая ихъ. Но какимъ образомъ убѣдиться въ существованіи этого отклоненія? Причина, измѣняющая направленіе отвѣса, должна также измѣнить и поверхность спокойныхъ водъ, къ которой мы относимъ направленіе нити и поэтому мы не въ состояніи бы судить надлежащимъ образомъ ни объ одномъ изъ этихъ измѣненій. Это заставило Бугера искать постоянной точки между звѣздами. Онъ производилъ свой опытъ на скатѣ Шимборазо, одной изъ величайшихъ горъ земли, и нашелъ, что нить съ отвѣсомъ отклонилась отъ отвѣснаго положенія на уголъ отъ 7 до 8 секундъ. Чтобы удостовѣриться въ справедливости полученнаго Бугеромъ результата, ученые повѣряли его опыты въ различныхъ мѣстахъ земли. Одинъ изъ самыхъ точныхъ опытовъ былъ произведенъ въ Шотландіи Маскелиномъ, въ 1772 году, у подошвы Шегальенскихъ горъ, гдѣ онъ нашелъ отклоненіе въ 53 секунды. Опыты Маскелина были подтверждены въ 1824 году Карлини, который достигъ почти одинаковыхъ результатовъ на вершинѣ Монъ-Сениса.

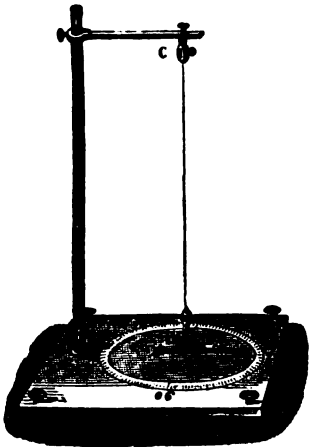
Хотя опыты эти и убѣждаютъ достаточно въ существованіи притяженія между частицами матерій, но чтобы изслѣдовать законы этого притяженія, необходимо было произвести обнаруженіе его *независимо отъ дѣйствія тяжести*. Для выполненія этой цѣли из-

вѣстный англійскій физикъ Кавендишъ употребилъ приборъ, главнѣйшее основаніе котораго заключается въ слѣдующемъ.

Представимъ себѣ легкій горизонтальный рычагъ изъ дерева, на оконечности котораго находятся небольшіе металлическіе шарикъ. Если повѣсить этотъ рычагъ на металлической нити, то очевидно, что сдѣлание частицъ, поддерживающее рычагъ отъ паденія, будетъ уравновѣшивать дѣйствіе притяженія земли на массу рычага при всѣхъ возможныхъ положеніяхъ его во время вращенія на точкѣ привѣса. Понятно, что для приведенія такого рычага въ движеніе по горизонтальному направленію должна быть употреблена сила, могущая побѣдить только то сопротивленіе, съ которымъ частицы нити противятся скручиванію. Если при этомъ сила дѣйствуетъ на одинъ конецъ рычага, длина котораго значительно превосходитъ радіусъ нити, на концѣ которой дѣйствуетъ сопротивленіе, то, основываясь на законахъ рычага, мы можемъ вывести заключеніе, что сила, въ этомъ случаѣ, находится въ выгоднѣйшемъ отношеніи къ сопротивленію.

Чтобы доставить по возможности выгодное отношеніе силъ, пользуются слѣдующимъ свойствомъ упругости, обнаруживающейся

Фиг. 238.



при скручиваніи нитей. Если утвердить тонкую металлическую нить цилиндрической формы (фиг. 238) на одномъ изъ ея оснований и потомъ сообщить вращательное движеніе частицамъ, составляющимъ другое основаніе нити, имѣющей по всей длинѣ одинаковый діаметръ, то очевидно, что всѣ частицы ея выйдутъ изъ своего состоянія равновѣсія и будутъ вращать ее по винтообразной линіи вокругъ оси, частицы которой одни останутся неподвижными. Вслѣдствіе свойства упругости, частицы снова придутъ въ первоначальное положеніе, если только вращеніе не перейдетъ извѣстнаго предѣла.

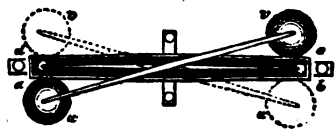
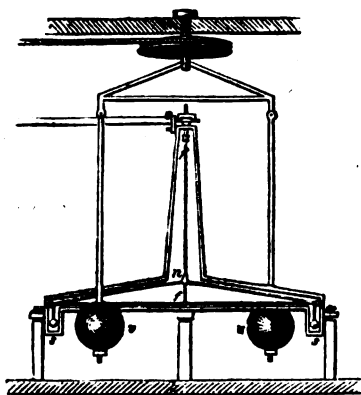
Уголъ описываемый въ этомъ случаѣ частицами, расположенными на радіусахъ основанія, къ которому была приложена сила, называется *угломъ скручиванія*. Опытъ показываетъ, что углы скручиванія прямо пропорціональны длинамъ нитей и обратно пропорціональны четвертой степени ихъ діаметровъ, въ томъ случаѣ, когда одна и таже сила прилагается къ нитямъ одинаковаго вещества, но различныхъ длинъ и діаметровъ. Слѣдовательно съ помощію небольшихъ силъ можно получать значительные углы вращенія, если только заставлятъ силы дѣйствовать на весьма длинныя и весьма тонкія нити. Положимъ теперь, что возлѣ небольшого шарика рычага находится большой свинцовый шаръ. Понятно, что большій шаръ въ этомъ положеніи можетъ оказывать притяженіе на меньшій шаръ только по горизонтальному направленію. И въ самомъ дѣлѣ мы уви-

дний, что меньшій шаръ будетъ стремиться приблизиться къ большому и начнетъ скручивать нить, на которой повѣшенъ рычагъ; вслѣдствіе чего послѣдній оставитъ первоначальное положеніе и сдѣлавши нѣсколько колебаній вокругъ новаго своего положенія, приметъ его наконецъ окончательно. Сила скручиванія, приведшая нить въ это новое положеніе, очевидно будетъ равна притягательной силѣ шаровъ. Понятно, что мы получимъ удвоенное дѣйствіе, если вмѣсто одного большаго свинцоваго шара употребимъ два, чего мы можемъ легко достигнуть, помѣстивъ по одному шару на каждомъ концѣ рычага съ двухъ противоположныхъ сторонъ. Чтобы устранить отъ этого прибора вліяніе движеній воздуха, могущихъ производить измѣненіе въ его положеніи, а слѣдовательно и исказить полученные результаты, Кавендишъ помѣстилъ приборъ въ большой стеклянный ящикъ. Для предохраненія же его отъ потрясеній и отъ нагрѣванія воздуха, могущаго произойти во время приближенія къ рычагу, англійскій физикъ придумалъ этому прибору такое устройство, чтобы можно было наблюдать взаимное дѣйствіе шариковъ посредствомъ зрительной трубы изъ другой комнаты. Съ этою же цѣлію онъ устроилъ механизмъ, который позволялъ изъ другой комнаты приводить въ движеніе оба большія шара.

Приборъ Кавендиша представленъ на фиг. 239 и 240, изъ кото-

Фиг. 239.

Фиг. 240.



рыхъ первая изображаетъ его сбоку, а вторая сверху. На послѣдней фигурѣ видѣнъ ящикъ *abcd*, въ которомъ повѣшенъ рычагъ съ двумя небольшими шариками *ss*. Фигура же 239 показываетъ, что рычагъ этотъ виситъ на нити *ff* и что небольшіе шарики *ss* висятъ также на тонкихъ нитяхъ, которыя пройдя сквозь концы рычага соединяются противу середины его съ вертикальною нитію *ff*. Оба большіе шара *m* и *n* повѣшены на желѣзныхъ прутьяхъ, которые посредствомъ блока и шнура могутъ быть обращаемы вокругъ вертикальной нити *ff* какъ вокругъ оси. Бесконечный шнуръ обхватываетъ блокъ въ другой комнатѣ, въ которой помѣщается наблюдатель.

§ 105. Такимъ образомъ дѣйствіе тяжести или стремленіе тѣлъ <sup>нару-
шій
видъ
земли.</sup> приближаться къ землѣ, мы можемъ объяснить себѣ доказаннымъ выше предположеніемъ, что всѣ матеріальныя частицы земли оказываютъ притяженіе на частицы каждаго отдѣльнаго отъ ней тѣла. Понятно, что законы этого притяженія должны зависѣть отъ группировки частицъ, составляющихъ массу земли или, говоря другими словами, отъ самой формы земли.

Земля наша есть отдѣльное тѣло свободно движущееся въ пространствѣ. По причинѣ огромности протяженія занимаемаго ею, мы можемъ убѣдиться въ справедливости этой истины только съ помощью фактовъ, выведенныхъ нами изъ многочисленныхъ наблюдений, изъ которыхъ мы укажемъ только на нѣкоторые; такъ напр. множество мореплаваній, совершенныхъ по всѣмъ направленіямъ земли, доказываетъ намъ самымъ положительнымъ образомъ, что нигдѣ небесный сводъ не опирается на земную поверхность, какъ это кажется съ перваго взгляда. Точно также, обращая вниманіе на небо въ звѣздную ночь, мы можемъ легко замѣтить, что весь небесный сводъ кажется намъ обращающимся вокругъ умственной линіи, называемой осью свѣта и проходящей чрезъ двѣ точки неба, именуемыя полюсами, изъ которыхъ одинъ, видимый въ нашихъ странахъ, занять полярной звѣздой. Полюсъ этотъ кажется постоянно неподвижнымъ, между тѣмъ какъ остальные звѣзды описываютъ вокругъ оси свѣта круговыя пути, величина которыхъ постоянно увеличивается по мѣрѣ удаленія звѣздъ отъ полюса. Звѣзды, ближайшія къ полярной звѣздѣ, бывають постоянно видимы нами во все время кажущагося ихъ движенія, потому что онѣ описываютъ круги, заключающіеся въ видимой нами части неба. Но другія, болѣе удаленныя отъ полюса звѣзды, скрываются за предѣлы того пространства, которое представляется видимымъ глазу наблюдателя и которое обыкновенно называется *видимымъ горизонтомъ*. Спустя известное время мы можемъ замѣтить, что звѣзды, скрывшіяся на западной сторонѣ горизонта, начинаютъ снова показываться съ восточной стороны его, для того, чтобы снова продолжать обычное круговое, замѣченное нами, движеніе ихъ. Ясно, что эти самыя звѣзды, во время скрытія своего, продолжаютъ круговыя пути въ невидимой нами части неба, что очевидно возможно только въ томъ только случаѣ, когда земля есть тѣло, движущееся отдѣльно въ пространствѣ, подобно лунѣ и другимъ небеснымъ тѣламъ.

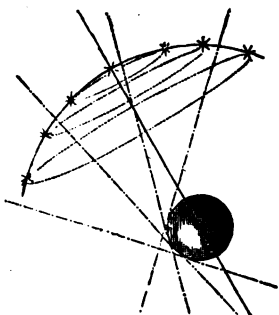
Что же касается до формы земли, то многочисленныя наблюденія удостовѣряють насъ въ шарообразности ея вида. Въ этомъ мы можемъ убѣдиться изъ шарообразнаго вида морей, омывающихъ, какъ известно, большую часть ея поверхности. Наблюдая за удаляющимся отъ берега кораблемъ, мы найдемъ, что прежде всего будутъ исчезать отъ нашего взгляда нижнія части его, потомъ среднія и наконецъ верхнія, чего конечно мы бы не были вправѣ ожидать, если бы земля имѣла плоскую поверхность. Явленіе это убѣждаетъ насъ въ круглости земли тѣмъ болѣе, что оно совершается однообразно на

всѣхъ мѣстахъ ея поверхности и по всѣмъ направленіямъ. Но шарообразность вида земли наиболѣе явствуетъ изъ кругосвѣтныхъ мореплаваній и преимущественно изъ затмѣній луны.

Въ 1519 году одинъ изъ кораблей, отправившихся изъ Севиллы подъ предводительствомъ Магелана, возвратился 8 Сентября къ тому же порту послѣ продолжительнаго плаванія, во время котораго онъ постоянно направлялся къ западу. Фактъ этотъ, повторенный впоследствии значительнымъ числомъ другихъ мореплаваній, показываетъ, что земля имѣетъ шарообразный видъ отъ востока къ западу. Расположеніе материковъ и суровость климата, постоянно господствующая у полюсовъ, не позволяли до настоящаго времени сдѣлать подобнаго путешествія вокругъ земли по направленію съ сѣвера на югъ и доказать непосредственно путешествіями круглоту земли по всѣмъ направленіямъ. Но явленія, представляемые небеснымъ сводомъ, во время приближенія къ сѣверу и къ югу, достаточно убѣждаютъ насъ, что земля имѣетъ шарообразную форму и по этому направленію.

Приближаясь отъ какого нибудь мѣста экватора къ сѣверу, мы можемъ замѣтить, что пути звѣздъ, расположенныхъ въ этой части неба, поднимаются постепенно надъ горизонтомъ (Фиг. 241), между

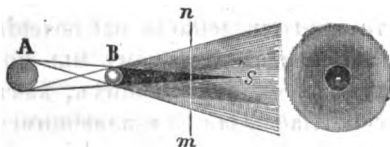
Фиг. 241.



тѣмъ какъ звѣзды, пути которыхъ направляются къ югу, постепенно опускаются и исчезаютъ. Подобныя явленія представляютъ намъ звѣзды во время постояннаго приближенія нашего отъ экватора къ югу. Слѣдовательно во время путешествія нашего къ сѣверу и къ югу, мы можемъ замѣтить постоянное склоненіе горизонта, а это очевидно можетъ произойти только въ томъ случаѣ, когда земля по направленію полюсовъ имѣетъ шарообразную форму.

Но изъ всѣхъ небесныхъ явленій явственнѣе прочихъ убѣждаютъ насъ въ шарообразности земли лунныя затмѣнія. И въ самомъ дѣлѣ земля, какъ всякое темное тѣло, во время постояннаго освѣщенія ея солнцемъ должна отбрасывать позади себя темную тѣнь, форма которой очевидно должна зависѣть отъ самой формы земли. Если земля имѣетъ сферическій видъ, то пространство находящееся въ тѣни

Фиг. 242.



пространство должно представлять собою конусъ съ круговымъ основаніемъ. Поэтому когда луна, принадлежащая также къ темнымъ тѣламъ, попадаетъ въ это пространство, то мы должны видѣть на ней свѣтлую круговую кайму: что дѣйствительно было неоднократно замѣчаемо при всѣхъ положеніяхъ земли.

Однако земля, не взирая на шарообразную форму, не принадлежитъ къ совершенно сферическимъ тѣламъ: точныя измѣренія показали,

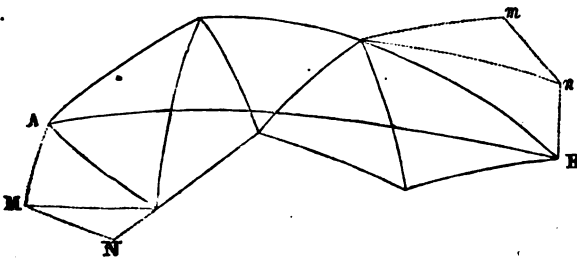
что она съужена у полюсовъ, т. е. у точекъ, чрезъ которыя проходитъ ось кажущагося вращенія міра, или линія, вокругъ которой совершается дѣйствительно суточное вращеніе земли, служащее, какъ извѣстно, причиной кажущагося вращенія небеснаго свода.

Самое ближайшее разстояніе между двумя какими либо точками на земной поверхности, есть очевидно дуга большаго круга соединяющаго ихъ. Извѣстно, что каждая дуга измѣряется градусами, служащими также мѣрою для угла, образуемаго пересѣченіемъ двухъ линій, проведенныхъ въ отвѣсномъ направленіи къ оконечности дуги. Поэтому *дугою градуса* называютъ такую дугу большаго круга, которая по пересѣченіи отвѣсныхъ линій, проведенныхъ къ оконечностямъ ея, даетъ уголъ равный градусу; если бы земля была совершенно сферическое тѣло, то измѣреніе ея величины приводилось бы къ измѣренію дуги градуса; зная эту величину намъ стоило бы только помножить ее на 360 для полученія длины большаго круга, откуда уже легко вычислить радіусъ послѣдняго.

Уголъ, образуемый отвѣсными линіями, проведенными къ двумъ оконечностямъ дуги, получается легко въ томъ случаѣ, когда дуги принадлежатъ меридіану, или большому кругу, проходящему чрезъ полюсы, потому что этотъ уголъ есть ничто иное, какъ разница между широтами двухъ крайнихъ точекъ дуги. Слѣдовательно при измѣреніи должно опредѣлять величину дуги градуса меридіана. Подобное измѣреніе было въ дѣйствительности произведено въ Пенсильваніи, въ Соединенныхъ Штатахъ, въ 1768 году; въ плоской странѣ вблизи отъ моря провели дугу меридіана и измѣрили длину ея посредствомъ линеекъ, прикладываемыхъ послѣдовательно другъ къ другу.

Но какъ прямое измѣреніе весьма затруднительно по причинѣ неровностей, встрѣчаемыхъ на земной поверхности, то прибѣгаютъ къ помощи триангуляціи. — Положимъ, что *AB* (фиг.

Фиг. 243.



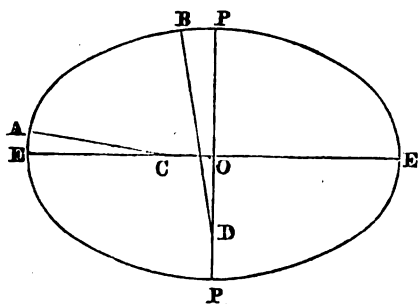
243) есть дуга меридіана, которую желаютъ измѣрить; для этого образуется сѣтъ треугольниковъ, вершины которыхъ составляютъ какіе нибудь возвышенные пункты, какъ напримѣръ башни и пр.

Непосредственно измѣряютъ только одну базу или основаніе *MN*, которое связываютъ съ сѣткою. Послѣ того измѣряютъ особеннымъ оптическимъ снарядомъ, о которомъ мы будемъ говорить впослѣдствіи, всѣ углы образуемые этими треугольниками. Зная величину угловъ и величину основанія можно при помощи математическихъ вычисленій найти длину сторонъ этихъ треугольниковъ и частей дуги меридіана, заключающихся въ каждомъ изъ треугольниковъ. Взявши сумму всѣхъ частей получаютъ цѣлую дугу *AB*. Подобныя

измѣренія были выполнены для дугъ различныхъ широтъ. Результаты этихъ измѣреній показали, что дуга одного и того же градуса неодинакова для всѣхъ мѣстъ земли и что она увеличивается по мѣрѣ приближенія отъ экватора къ полюсамъ.

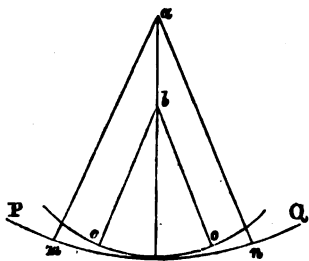
Эта неравность между дугами одного градуса показываетъ, что земля не имѣетъ совершенно сферической формы, а какъ эти дуги болѣе у полюса, чѣмъ у экватора, то и заключаютъ, что земля сжата у полюсовъ и выпукла подъ экваторомъ. И въ самомъ дѣлѣ, если земля не есть совершенный шаръ, то отвѣсныя линіи проведенныя къ каждой точкѣ ея не могутъ пересѣкаться между собою въ центрѣ земли. Положимъ, что EA и PB (фиг. 244), двѣ дуги

Фиг. 244.



одного градуса, одна близъ экватора, а другая близъ полюса, и что C есть точка пересѣченія отвѣсныхъ, проведенныхъ къ оконечностямъ первой, а D точка пересѣченія отвѣсныхъ, проведенныхъ къ оконечностямъ второй дуги. Если изъ точки C какъ изъ центра, радіусомъ CA провести дугу круга, то дуга эта будетъ совпадать приблизительно съ дугою меридіана EA , точно также какъ и дуга, описаннаго изъ точки D радіусомъ DP даетъ дугу, приблизительно совпадающую со второю дугою меридіана PB . Поэтому двѣ дуги EA и PB могутъ быть разсматриваемы какъ двѣ дуги одного градуса въ двухъ кругахъ, описанныхъ изъ точекъ C и D . Но мы знаемъ, что въ кругѣ дуга градуса или 360-я

Фиг. 245.



часть окружности бываетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ значительнѣе радіусъ круга. Если же дуга PB болѣе EA , то и радіусъ DP долженъ быть болѣе CE . Съ другой стороны кривизна дуги (фиг. 245) уменьшается по мѣрѣ увеличенія радіуса круга; чѣмъ болѣе радіусъ, тѣмъ менѣе бываетъ чувствительна выпуклость; слѣдовательно выпуклость менѣе у полюсовъ, нежели у экватора, или, говоря другими словами, земля сжата у полюсовъ и выпукла подъ экваторомъ, т. е. она имѣетъ овальную форму на подобіе фиг. 244.

Представимъ себѣ, что эллипсъ или овальная кривая PEP (фиг. 244), обращается вокругъ меньшей оси PP ; при обращеніи она опишетъ тѣло называемое *эллипсоидомъ*, къ которому мы относимъ нашу землю. Для опредѣленія величины этого тѣла должно знать величину двухъ его діаметровъ: діаметръ полюсовъ PP и діаметръ экватора EE . Обѣ эти линіи могутъ быть опредѣлены посредствомъ двухъ дугъ, изъ которыхъ одна взята у полюса, а другая у экватора.

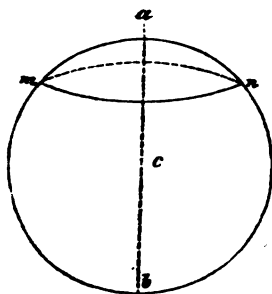
Изъ полученныхъ на этомъ основаніи результатовъ касательно длины обоихъ діаметровъ нашли, что сжатіе или отношеніе разности двухъ діаметровъ къ діаметру экватора, приблизительно равно $\frac{1}{300}$ части радіуса.

Такъ напр. изъ вычисленій найдено, что радіусъ экватора = 859,4367 географ. миль, а половина земной оси = 856,5637 географ. миль, изъ которыхъ каждая, какъ извѣстно, равна 7 русскимъ верстамъ; слѣдовательно разница равна 2,8 географ. милямъ. Величина эта весьма незначительна сравнительно съ приведенными нами числами, и потому сжатіе земли не можетъ имѣть замѣтнаго вліянія на шарообразность ея формы, точно также какъ и въ томъ случаѣ, когда бы имѣли футоваго радіуса шаръ, котораго ось была бы полъ линіей короче діаметра экватора. Мы не считаемъ необходимымъ говорить здѣсь о неровностяхъ, представляемыхъ на поверхности земли горами, потому что самыя высочайшія изъ нихъ, по незначительности своей величины, сравнительно съ величиною всего земнаго шара, не могутъ имѣть вліянія на измѣненіе шарообразнаго вида земли, подобно тому, какъ неровности на апельсинѣ не могутъ измѣнять общей фигуры его.

§ 106. Изъ объясненнаго нами выше слѣдуетъ, что причина тя- Образъ дѣй-
жести тѣла или стремленія ихъ къ паденію, заключается въ притя- ствія тя-
женіи каждой частицы тѣла всѣми матеріальными частицами земна- жести.
го шара. Величина и направленіе равнодѣйствующей этихъ притяженій, очевидно дастъ величину и направленіе силы, съ которою притягиваемое землею тѣло движется или падаетъ на нее.

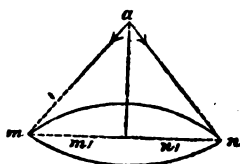
Для этого опредѣленія мы должны прежде рассмотреть самый простѣйшій случай опредѣленія равнодѣйствующей притяженій всѣхъ частицъ земнаго шара на одну матеріальную точку. Рѣшеніе этого вопроса будетъ значительно облегчено, если принять землю за правильный шаръ. Такъ какъ отклоненіе земли отъ шаровой формы весьма незначительно, то поэтому полученные нами результаты не могутъ значительно разниться отъ истинныхъ, что дѣйствительно и можно вывести изъ математическихъ вычисленій, при которыхъ обращается вниманіе на сплюснутость земли.

Если притягиваемую точку *a* (фиг. 246) соединимъ прямою *асв* съ центромъ земли *c* и раздѣлимъ мысленно весь земной шаръ на безконечное множество круговъ, безконечно близко лежащихъ другъ къ другу и перпендикулярныхъ подобно *ти* къ линіи *ab*, тогда можно разсматривать притяженіе, оказываемое массою земли на точку, какъ результатъ притяженія всѣхъ этихъ круговъ. Притягиваемая точка *a* лежитъ въ вертикальномъ направленіи прямо противу центра каждаго изъ этихъ круговъ. Начнемъ съ опредѣленія притяженія одного изъ нихъ. Легко



Фиг. 246.

Фиг. 247.



видѣть, что равнодѣйствующая притяженія всѣхъ его точекъ должна проходить чрезъ центръ круга. И въ самомъ дѣлѣ, возьмемъ точки m и n (Фиг. 247), равно отстоящія отъ центра этого круга; нѣтъ никакой причины допустить, чтобы онѣ могли оказывать различное притяженіе на точку a . Если же онѣ дѣйствуютъ одинаково, то равнодѣйствующая ихъ совокупнаго притяженія, должна раздѣлить пополамъ уголъ man , т. е. должна пройти чрезъ центръ круга. Ясно, что тоже самое можно сказать о точкахъ m' , n' и др. Такъ какъ каждый изъ круговъ, на которые мы раздѣлили умственно землю, притягиваетъ точку a къ своему центру и слѣдовательно сообщаетъ ей движеніе по направленію ac (Фиг. 246), то вслѣдствіе дѣйствія всѣхъ земныхъ круговъ, точка a должна будетъ двигаться по направленію ac , т. е. къ центру земли. Что здѣсь сказано къ одному положенію точки a , то очевидно относится и ко всякому другому положенію ея. Поэтому гдѣ бы мы не взяли надъ поверхностію земли точку, вездѣ отъ совокупнаго дѣйствія частицъ земнаго шара, она будетъ стремиться производить движеніе по направленію къ центру его, и если нѣтъ никакого препятствія, то точка будетъ дѣйствительно двигаться въ этомъ направленіи, которое есть истинное направленіе паденія тѣла.

Изъ выведеннаго нами слѣдуетъ, что *совокупное дѣйствіе всей массы земнаго шара на каждую матеріальную точку, находящуюся внѣ шара, мы можемъ представить себѣ соединеннымъ въ центръ его точно также, какъ бы вся масса его была сосредоточена въ центръ.*

Поэтому, если два шара оказываютъ взаимное притяженіе другъ на друга, то мы должны принять, что совокупная масса каждого изъ нихъ сосредоточена въ центрѣ его.

§ 107. Какъ притяженіе есть общее свойство матеріи, очевидно, что каждая матеріальная точка должна обладать одинаковой притягательной силой съ прочими точками. *Слѣдовательно притягательная сила каждого матеріальнаго тѣла находится въ прямой зависимости отъ его массы.* Поэтому, если два тѣла различной массы оказываютъ взаимное притяженіе между собою, то они приближаются другъ къ другу со скоростями обратно пропорціональными ихъ массамъ, т. е. во сколько разъ масса одного тѣла менѣе массы другого, во столько разъ и приближеніе его совершается скорѣе относительно приближенія перваго тѣла.

Сравнивая огромность массы земнаго шара съ массою всѣхъ находящихся на ея поверхности тѣлъ, мы можемъ безъ чувствительной погрѣшности, притяженіе оказываемое ими на массу земнаго шара, принять за бесконечно малое. Вотъ на какомъ основаніи обыкновенно говорятъ, что всѣ тѣла, находящіяся на поверхности земли, притягиваются ею; при чемъ, для яснаго представленія тя-

жести, никогда не должно упускать из виду истиннаго значенія этого выраженія.

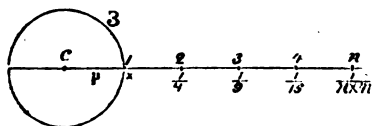
Выведенная нами зависимость притяженія отъ массы, весьма важна въ томъ отношеніи, что зная притягательную силу какого нибудь тѣла, мы можемъ вычислить его массу и наоборотъ.

Но при этомъ должно имѣть въ виду и разстояніе, на которомъ совершается дѣйствіе притяженія. Говоря объ общемъ дѣйствіи всѣхъ силъ природы, мы уже имѣли случай замѣтить, что *дѣйствіе ихъ обратно пропорціонально квадратамъ разстояній между тѣлами, на которыя дѣйствуютъ силы и источники ихъ дѣйствія.*

Мы уже знаемъ, что источникъ дѣйствія притягательной силы всякаго шара находится въ центрѣ его, гдѣ мы можемъ представить себѣ сосредоточенною всю массу шара. Представимъ себѣ мысленно, въ различныхъ разстояніяхъ вокругъ этого центра, нѣсколько концентрическихъ шаровыхъ поверхностей: ясно, что на каждую изъ нихъ будетъ дѣйствовать *совокупная* сила притяженія. Такъ какъ шаровыя поверхности эти имѣютъ различную величину на различныхъ разстояніяхъ, то очевидно, что одна и таже сила должна распространяться и раздѣляться на различной величины поверхности и естественно должна дѣйствовать на каждый отдѣльный пунктъ тѣмъ слабѣе, чѣмъ болѣе этихъ пунктовъ заключается въ поверхности. Изъ геометріи же намъ извѣстно, что различныя шаровыя поверхности относятся между собою какъ квадраты ихъ радіусовъ, слѣдовательно и дѣйствіе силы на каждую поверхность находится въ томъ же самомъ отношеніи. Одинаковой величины силы распределяются при удвоенномъ, утроенномъ, учетверенномъ разстояніяхъ на учетверенную, ушестеренную и въ шестидцать разъ большую поверхности, или, говоря другими словами, одна и таже сила дѣйствуетъ на каждый отдѣльный пунктъ этихъ поверхностей только съ $\frac{1}{4}$ и $\frac{1}{9}$ или $\frac{1}{16}$ своего напряженія.

На этомъ основаніи (фиг. 248), если мы примемъ за единицу разстояніе земной поверхности отъ центра ея, гдѣ предполагается средоточіе ея массы или средоточіе притяженія,

Фиг. 248.



то на удвоенномъ разстояніи всякое тѣло будетъ притягиваться вчетверо слабѣе, нежели въ томъ случаѣ, когда

бы оно находилось у самой поверхности земли; на утроенномъ разстояніи оно будетъ въ 9 разъ слабѣе, на учетверенномъ, въ 16 разъ и т. д. Однимъ словомъ уменьшеніе притяженія выражается квадратомъ разстоянія притягиваемаго тѣла отъ центра земли. Такъ какъ луна отстоитъ отъ земли почти въ 60 разъ далѣе разстоянія центра земли отъ ея поверхности, то и тяжесть земли дѣйствуетъ на луну въ 60×60 или 3600 разъ слабѣе противу того, когда бы луна находилась у самой поверхности земли.

Справедливость обоихъ этихъ законовъ — зависимости притяженія отъ массы и разстоянія, — выведенныхъ англійскимъ математикомъ и естественнымъ опытнымъ Ньютономъ, можетъ быть подтверждена на опытѣ посредствомъ описаннаго нами прибора Кавендиша. Говоря объ этомъ приборѣ мы показали, что притягательная сила шаровъ равна силѣ, которая скручиваетъ нить и приводитъ рычагъ въ окончательное положеніе равновѣсія. Если измѣнять разстоянія между шарами, то, согласно тому, будетъ измѣняться уголъ скручиванія нити: и въ самомъ дѣлѣ онъ слѣдуетъ въ 4 раза большимъ, когда разстояніе уменьшится въ 2 раза, въ 9 разъ большимъ для разстоянія въ 3 раза меньшаго. Однимъ словомъ, онъ будетъ измѣняться обратно пропорціонально квадратамъ разстояній. Но какъ притягательная сила шаровъ равна силѣ скручиванія, въ различныхъ состояніяхъ равновѣсія рычага и какъ сила скручиванія всегда измѣняется угломъ скручиванія, то очевидно, что и притягательная сила должна быть также обратно пропорціональна квадратамъ разстояній. точно также можно доказать посредствомъ этого прибора, что притягательная сила пропорціональна массамъ тѣлъ.

Вслѣдствіе зависимости притяженія отъ разстоянія очевидно, что скорость, съ которою всякое тѣло, притягиваемое землею, приближается къ центру ея, должна быть различна для точекъ различно удаленныхъ надъ землею поверхностію. Поэтому, при совершенно точныхъ изслѣдованіяхъ и измѣреніяхъ, мы должны въ строгомъ смыслѣ смотрѣть на скорость паденія тѣлъ какъ на величину, зависящую отъ возвышенія падающаго тѣла надъ поверхностію земли. Но, если мы производимъ паденіе тѣлъ съ высотъ, возвышеніе которыхъ надъ землею поверхностію *весьма незначительно*, сравнительно съ длиною земнаго радіуса, то очевидно, что самыя различія въ скоростяхъ паденія, мы можемъ оставлять безъ вниманія при всѣхъ подобныхъ наблюденіяхъ.

Изъ этого слѣдуетъ, что при обыкновенныхъ опытахъ, производимыхъ нами на землѣ надъ паденіемъ тѣлъ, мы можемъ принимать притяженіе земли за силу постоянную.

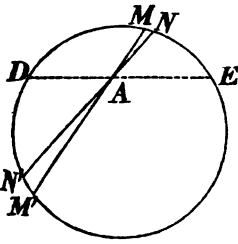
И въ самомъ дѣлѣ допустимъ, что g есть напряженіе притяженія какой либо точки поверхности земнаго шара, радіусъ котораго равенъ r и что g' есть напряженіе притяженія для какой нибудь точки, возвышающейся надъ поверхностію земли на n метровъ, т. е. для точки удаленной отъ центра на $n+r$ метровъ. На основаніи предыдущаго, мы будемъ имѣть $g': g = r^2: (r+n)^2$. Если положимъ, что радіусъ земнаго шара равенъ 6376464 метрамъ и если возьмемъ 20 или 30 метровъ для высоты какой нибудь точки, то ясно, что оба послѣдніе члена пропорціи будутъ весьма мало различаться между собою. Тоже самое отношеніе должно существовать и между первыми членами, которые можно принять безъ чувствительной погрѣшности почти равными между собою. Справедливость этого Галилей подтвердилъ опытами.

Изъ приведеннаго нами доказательства очевидно, что разница между притяженіемъ двухъ точекъ будетъ тѣмъ существеннѣе, чѣмъ значительнѣе разстояніе между ними.

Но чтобы получить болѣе полное понятіе о дѣйствіи притягательной силы земли, намъ должно рассмотретьъ, по какимъ законамъ шарообразное тѣло притягиваетъ точку находящуюся не *внѣ*, но *снутри* его.

Положимъ сперва, что точка *A* (фиг. 249) находится внутри пустаго шара.

Фиг. 249.

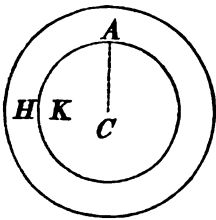


поверхность котораго составлена изъ массы, имѣющей равную плотность. Проведа чрезъ точку *A* плоскость *DE*, мы раздѣлимъ поверхность шара на двѣ части, изъ которыхъ одна будетъ лежать по одну, а другая по другую сторону этой плоскости. Очевидно, что точка *A* будетъ притягиваться этими частями по двумъ противоположнымъ направленіямъ. Раздѣлимъ одну изъ этихъ частей на множество безконечно малыхъ частицъ и положимъ, что прямая линія, проходящая чрезъ *A*, движется по всемъ протяженіи поверхности каждой изъ этихъ частицъ. Повятно, что также самая линія должна описать на противоположной поверхности шара столько же безконечно малыхъ частицъ поверхности, противоположныхъ первымъ. Взявши, двѣ другъ другу противоположныя частицы поверхностей, какъ напр. *MN* и *M'N'*, мы можемъ принять ихъ за основанія двухъ конусовъ *MAN* и *M'AN'*, которые подобны между собою, потому что они опираются съ двухъ противоположныхъ сторонъ на вершину *A* и что основанія ихъ имѣютъ одинаковое наклоненіе относительно хорды круга, составляющихъ бока конусовъ *AM*, *AM'* или *AN* и *AN'* и т. д. Изъ геометріи же извѣстно, что основанія такихъ конусовъ *MN* и *M'N'* относятся между собою, какъ квадраты соответственныхъ сторонъ *AM* и *AM'*, т. е. $MN : M'N' = AM^2 : AM'^2$ или $MN : AM^2 = M'N' : AM'^2$. Но эти *равныя* другъ другу отношенія, на основаніи Ньютоновыхъ законовъ притяженія, пропорціональны дѣйствіямъ, оказываемымъ частіцами поверхностей *MN* и *M'N'* на точку *A*. Слѣдовательно и дѣйствія эти должны быть другъ другу равны, а такъ какъ они совершаются по противоположнымъ направленіямъ, то очевидно, что они должны взаимно уничтожаться другъ другомъ.

Какъ подобнымъ же образомъ дѣйствія частицъ шаровой поверхности на точку *A*, уничтожаются равными и противоположными дѣйствіями соответственныхъ имъ частицъ противоположной стороны, то очевидно, что *дѣйствіе цѣлой шаровой поверхности на точку A будетъ равно нулю.*

Положимъ теперь, что точка *A* (фиг. 250) находится внутри сплошнаго шара,

Фиг. 250.



пентръ котораго находится въ точкѣ *C*. Описавъ шаровую поверхность радіусомъ *CA*, мы раздѣлимъ сплошной шаръ на двѣ части, изъ которыхъ одна будетъ пустой шаръ *H*, а другая сплошной шаръ *K*. Относительно перваго мы можемъ разсматривать точку *A*, какъ точку, находящуюся внутри пустаго шара, дѣйствія котораго на точку *A*, какъ мы уже сказали, будетъ равно нулю. Слѣдовательно сила притяженія цѣлаго шара на точку *A*, будетъ обусловлена только притяженіемъ, оказываемымъ на нее меньшимъ шаромъ *K*. Какъ *A* относительно *K* есть пунктъ, лежащій на поверхности этого шара, то очевидно, что притяженіе его мы можемъ отнести къ тому случаю, когда бы вся масса *K* была сосредоточена въ точкѣ *C*, т. е. притяженіе это будетъ пропорціонально массѣ шара *K* и обратно пропорціонально квадрату расстоянія *CA*. Но изъ геометріи извѣстно, что масса *K* прямо пропорціональна кубу *CA*. Слѣдовательно притягательная сила этого шара прямо пропорціональна разстоянію *CA*. Какъ это притяженіе уменьшается пропорціонально уменьшенію разстоянія между точкою *A* и центромъ *C*, то очевидно, что въ самомъ центрѣ оно равно нулю.

Изъ всего сказаннаго нами слѣдуетъ, что притяженіе между двумя матеріальными точками мы можемъ принять только за *взаимное и противоположное дѣйствіе* этихъ двухъ точекъ другъ на друга. Поэтому, если двѣ частицы двухъ сплошныхъ или пустыхъ шарообразныхъ тѣлъ взаимно притягиваются

между собою съ силою прямо пропорціональною ихъ массѣ и обратно пропорціональною квадрату ихъ разстояній, то на основаніи предыдущаго, мы можемъ замѣнить дѣйствіе одного изъ этихъ шаровъ, на произвольную частицу другого равнодѣйствующей силой, которая дѣйствуетъ на взятую нами частицу пропорціонально массѣ перваго шара, сосредоточенной въ его центрѣ и обратно пропорціонально квадрату разстоянія между этимъ центромъ и избранной точкой. Точно также мы получимъ равнодѣйствующую и для центра втораго шара. Слѣдовательно, если два шара оказываютъ взаимное притяженіе между собою, то мы можемъ принять, что они дѣйствуютъ другъ на друга точно такъ, какъ бы массы ихъ были сосредоточены въ соответственныхъ центрахъ.

Мы доказали, что всѣ матеріальныя частицы одарены способностію взаимно притягивать другъ друга. Поэтому мы должны смотрѣть на тяжесть земли или на способность притягивать къ себѣ отдаленныя отъ ней тѣла, какъ на частный случай притяженія.

Дѣйствіе тяжести.

Давленіе и паденіе тѣлъ.

§ 108. Всякая матеріальная частица, находящаяся внѣ земли, вслѣдствіе тяжести или притяженія земли стремится къ центру ея. Если противопоставить преграду тѣлу стремящемуся къ центру земли, то найдемъ, что оно оказываетъ давленіе на эту преграду. Поэтому дѣйствіе тяжести обнаруживается двумя явленіями: *давленіемъ и паденіемъ тѣлъ*.

Желая означить направленіе падающаго тѣла, мы обыкновенно говоримъ, что тѣло падаетъ *внизъ*. Смыслъ послѣдняго слова легко объяснить себѣ на основаніи явленій изложенныхъ нами выше. И въ самомъ дѣлѣ, одна точка лежитъ ниже другой, если она расположена ближе къ центру земли, а самый центръ земли есть самая высшая точка для каждаго мѣста земной поверхности. Поэтому наши антиподы выражаются въ томъ же самомъ смыслѣ какъ и мы, употребляя слова *верхъ* и *низъ*, хотя направленія паденія у нихъ прямо противоположно нашему.

Сдѣланное нами заключеніе можетъ показаться слишкомъ скорымъ, потому что говоримъ здѣсь уже о паденіи тѣлъ, тогда какъ мы опредѣлили только направленіе, принимаемое одною матеріальной точкой вслѣдствіе притяженія земли.

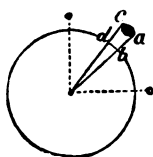
Поэтому мы должны прежде всего показать, какимъ образомъ притягиваются землею тѣла или, говоря другими словами, большее

или меньшее число матеріальныхъ точекъ. Какъ земля притягиваетъ каждую матеріальную точку къ своему центру, то ясно, что на каждое тѣло на земной поверхности дѣйствуетъ столько отдѣльныхъ притяженій, сколько заключается въ этомъ тѣлѣ матеріальныхъ частицъ. Какъ каждое изъ этихъ притяженій совершается по направленію къ центру земли, то очевидно, что направленія эти въ строгомъ смыслѣ не могутъ быть параллельны между собою, а должны образовывать углы, общая вершина которыхъ должна находиться въ центрѣ земли. Но если мы припомнимъ какъ малы размѣры тѣла, имѣющаго даже 10 или 20 футовъ длины, сравнительно съ удаленіемъ его отъ центра земли, то поймемъ какъ незначительна будетъ ошибка, въ томъ случаѣ, если мы допустимъ, что направленія притяженій земли на всѣ точки притягиваемаго ею тѣла, параллельны между собою. Поэтому дѣйствія земли на всякое тѣло, находящееся на ея поверхности, будетъ определено, если мы определимъ *направленіе, точку приложенія и величину равнодѣйствующей*.

§ 109. *Направленіе* равнодѣйствующей притяженій земли совпадаетъ конечно съ направленіемъ отдѣльно дѣйствующихъ силъ притяженія; поэтому равнодѣйствующая также какъ и каждая изъ послѣднихъ, должна идти по продолженію своемъ къ центру земли. И въ этомъ случаѣ опытъ представляетъ намъ легкое средство для опредѣленія направленія этой равнодѣйствующей на всякомъ мѣстѣ земной поверхности. Если повѣсить на нити какое нибудь тѣло и *Фиг. 251.* потомъ подождать пока прекратятся всѣ колебанія и наступить равновѣсіе, то направленіе нити покажетъ направленіе равнодѣйствующей силы притяженія земли, потому что сила препятствующая паденію тѣла, дѣйствуетъ по направленію нити и равновѣсіе можетъ быть только въ томъ случаѣ, когда направленіе равнодѣйствующей силы притяженія земли совпадаетъ съ направленіемъ равной и противоположной силы, заключающейся въ сцѣпленіи частицъ нити. Свинцовая гири (Фиг. 251), висящая на бичевкѣ, указываетъ въ положеніи равновѣсія направленіемъ бичевки линію, идущую къ центру земли, или говоря другими словами, составляющее продолженіе земнаго радіуса. Поэтому для опредѣленія линіи, совпадающей на всякомъ мѣстѣ земной поверхности съ направленіемъ земнаго радіуса, стоитъ только опустить *отвѣсъ*, т. е. свинцовый шарикъ прикрѣпленный къ бичевкѣ, которая и укажетъ намъ истинное направленіе.

Направленіе вытянутой нити, называемое *отвѣснымъ* или *вертикальнымъ*, какъ показываютъ опыты, всегда составляетъ прямой уголъ съ поверхностію воды, находящейся въ покоѣ. Вотъ почему и говорятъ, что поверхность послѣдней имѣетъ *горизонтальное* положеніе, которое всегда бываетъ перпендикулярно къ направленію тяжести.

Два отвѣса, опущенные на различныхъ мѣстахъ земной поверхности. Фиг. 252. сти, означенные на фиг. 252-й пересѣченіемъ пунктированныхъ линій, не параллельны между собою, но



сходятся въ центрѣ земли, образуя болѣе или менѣе значительный уголъ. Если же обѣ разсматриваемыя точки лежатъ весьма близко между собою, какъ напр. точки *c* и *a*, такъ что разстояніе *са* дѣлается ничтожнымъ сравнительно съ радіусомъ земли, то и уголъ, образуемый отвѣсами, пересѣкающимися въ центрѣ, становится ничтожнымъ. Понятно, что въ этомъ случаѣ мы можемъ принять направленіе отвѣсовъ параллельными другъ другу. Очевидно также, что каждый отвѣсъ долженъ быть перпендикуляренъ къ земной поверхности, потому что каждый радіусъ земли перпендикуляренъ къ той части шаровой поверхности, на которую онъ падаетъ; слѣдовательно и продолженіе радіуса, т. е. отвѣсъ, долженъ быть перпендикуляренъ къ ней.

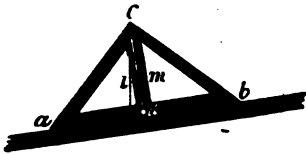
Но это можетъ быть справедливо только въ томъ случаѣ, если бы земля подобно правильному шару представляла совершенно гладкую поверхность. Только при этомъ условіи всѣ отвѣсы, опущенные на различныя точки земной поверхности, могутъ сохранять одинаковое положеніе относительно послѣдней. Поверхность же земли, представляетъ повсюду самыя разнообразныя положенія, которыя не остаются постоянными, а какъ мы знаемъ бываютъ подвержены различнымъ измѣненіямъ. По этому мы должны искать на землѣ такой поверхности, которая бы на каждомъ мѣстѣ сохраняла одинаковое положеніе къ отвѣсу. Опытъ показываетъ, что этому условію удовлетворяетъ поверхность спокойной воды, которая всегда составляетъ прямой уголъ съ направленіемъ отвѣса.

Впослѣдствіи когда мы будемъ говорить о вліяніи тяжести на равновѣсіе капельножидкихъ тѣлъ увидимъ, что каждая точка поверхности спокойной жидкости въ двухъ сообщающихся между собою сосудахъ должна находиться въ равномъ разстояніи отъ центра земли. Тоже самое мы можемъ примѣнить и къ поверхности огромныхъ океановъ и морей соединяющихся между собою. Представимъ себѣ, что воды Атлантическаго и Южнаго океановъ вмѣстѣ съ водами соединяющихся съ ними морей, находятся на мгновеніе въ спокойномъ состояніи. На основаніи предыдущаго очевидно, что огромное пространство, занимаемое ими, представить намъ часть шарообразной поверхности, ограниченной положеніемъ береговъ. Положимъ теперь, что различныя части этой поверхности по продолженіи сохраняютъ свою кривизну. Понятно, что продолженныя поверхности эти должны пройти подъ верхними слоями земли и соединиться между собою внутри материка. По соединеніи своемъ части эти образуютъ совершенно ровную сферическую поверхность, не имѣющую ни возвышеній, ни углубленій. Подъ этой то поверхностію частію дѣйствительной, а частію воображаемой мы разумѣемъ собственно *поверхность земли*, когда говоримъ о перпендикулярномъ направленіи отвѣсовъ. Поверхность эту называютъ также *горизонтальною*. Поэтому, если го-

ворять наприимѣръ, что такое то зданіе, на какомъ либо мѣстѣ земли, имѣеть 30 сажень надъ поверхностію моря, то все одно и тоже, если бы сказали, что продолженная поверхность моря проходитъ подъ первымъ этажемъ зданія на отвѣсной глубинѣ 30 сажень. Точно также есть мѣста на земной поверхности, какъ напр. равнины Голландіи, которыя лежать надъ поверхностію моря, т. е. что продолженная поверхность его проходитъ надъ этою полоскою земли.

Употребленіе отвѣса имѣеть обширное примѣненіе въ строительномъ искусствѣ: стѣны зданій, планки у дверей и у оконъ должны, какъ извѣстно, стоять перпендикулярно и параллельно одна къ другой.

Направленія эти опредѣляются посредствомъ отвѣса, играющаго главную роль въ простомъ приборѣ, называемомъ *отвѣсомъ* или *ватерпасомъ*. Онъ состоитъ изъ равнобедреннаго треугольника abc (фиг. 253), имѣющаго по срединѣ въ m прорѣзъ cd перпендикулярный къ основанію ab ; въ вершинѣ треугольника укрѣплена гири съ нитію l . Очевидно, что гиря эта можетъ совпадать съ прорѣзомъ въ томъ только



случаѣ, когда линія ab сохраняетъ горизонтальное положеніе. Если по приложеніи этой стороны къ какой нибудь плоскости, гиря l отклонится въ сторону отъ прорѣза, то это будетъ значить, что плоскость не составляетъ горизонтальнаго положенія.

§ 110. Второй вопросъ состоитъ въ опредѣленіи точки приложенія равнодѣйствующей параллельныхъ силъ притяженія земли на тѣло. Изъ предъидущаго мы знаемъ, что параллельныя точки, неподвижно соединенныя между собою, всегда имѣютъ одну точку, которая будетъ точкою приложенія равнодѣйствующей для какого угодно положенія системы точекъ, подверженныхъ дѣйствию параллельныхъ силъ. Однимъ словомъ, опредѣленіе центра параллельныхъ силъ имѣеть здѣсь непосредственное свое приложеніе.

Понять
также
сти.

Одно и тоже тѣло въ положеніяхъ, изображенныхъ на фигурахъ Фиг. 254 и 255. 254 и 255, представляетъ одинаковую систему

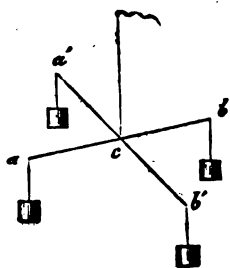


матеріальныхъ точекъ въ двухъ различныхъ положеніяхъ. Въ обоихъ этихъ положеніяхъ число дѣйствующихъ силъ одно и тоже, и при томъ въ каждомъ положеніи силы эти параллельны между собою. Поэтому, намъ должно опредѣлить въ одномъ только положеніи тѣла

центръ ихъ дѣйствія, для того, чтобы знать точку приложенія равнодѣйствующей притягательныхъ силъ и для каждого новаго положенія тѣла. Въ послѣдней точкѣ мы можемъ представить себѣ сосредоточенными всѣ дѣйствія притяженій земли на тѣло и слѣдовательно всю тяжесть его. Эта точка приложенія равнодѣйствующей всѣхъ, параллельно дѣйствующихъ, силъ притяженія земли на частицы тѣла, называется *центромъ тяжести* его.

Чтобы доказать, что въ каждомъ тѣлѣ находится центръ тяжести, представимъ себѣ прямую неогнѣемую линію ab (фиг. 256).

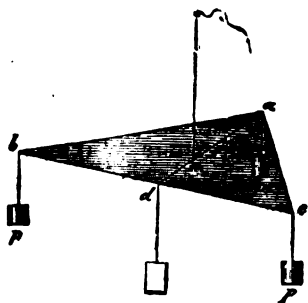
Фиг. 256.



Положимъ, что линія эта подперта по срединѣ и что къ обоимъ концамъ ея привѣшены равныя гири. На основаніи законовъ дѣйствія параллельныхъ силъ равновѣсіе будетъ существовать и въ томъ случаѣ, когда мы станемъ обращать линію ab вокругъ точки приложенія равнодѣйствующей, т. е. равновѣсіе будетъ существовать какъ въ положеніи ab , такъ и въ положеніи $a'b'$. Представимъ себѣ, что обѣ матеріальныя точки a и b соединены между собою прямою линіею ab , неимѣющею вѣса. Ясно, что и въ этомъ случаѣ при всякомъ положеніи линіи ab равновѣсіе будетъ существовать только тогда, когда подперта точка c . Эта точка c и составляетъ адѣсь центръ тяжести тѣла, состоящаго изъ двухъ частицъ, потому что, не нарушая равновѣсія, мы можемъ представить себѣ дѣйствіе тяжести обѣихъ частицъ сосредоточеннымъ въ точкѣ c .

Если три равныя параллельныя силы дѣйствуютъ на три конечныя точки треугольника abc , неимѣющаго вѣса (фиг. 257), то мы можемъ легко опредѣлить точку приложенія равнодѣйствующей этихъ силъ. Не нарушая равновѣсія треугольника, мы можемъ соединить обѣ силы, дѣйствующія на b и c , въ одну равнодѣйствующую, приложенную къ срединѣ d линіи ab . Черезъ это мы получаемъ вмѣсто трехъ только двѣ силы, дѣйствующія на точки a и d . Сила, дѣйствующая на d , въ два раза болѣе силы приложенной къ a ; поэтому, если раздѣлить линію ad точкою m на такія двѣ части,

Фиг. 257.



чтобы am было въ два раза болѣе dm , то очевидно, что между двумя параллельными силами $2p$ и p , дѣйствующими на точки d и a , будетъ существовать равновѣсіе, несмотря на положеніе линіи ad . Но какъ сила дѣйствующая въ d есть ничто иное, какъ равнодѣйствующая параллельныхъ силъ, дѣйствующихъ на b и c , то, не нарушая равновѣсія, мы можемъ взять послѣднія вмѣсто ихъ равнодѣйствующей. Слѣдовательно между тремя параллельными силами, приложенными къ точкамъ a , b и c , равновѣсіе будетъ существовать только въ томъ случаѣ, когда подперта точка m , или когда къ m приложена въ противоположномъ направленіи сила равная $3p$, не смотря на то, каково бы ни было положеніе треугольника.

Положимъ теперь, что точки a , b и c три матеріальныя и неизмѣнно соединенныя между собою частицы; тяжесть этихъ частицъ будетъ дѣйствовать точно также, какъ гири, привѣшенныя къ оконечностямъ треугольника a , b и c . Понятно, что тѣло, состоящее изъ

трѣхъ этихъ частицъ, придетъ только тогда въ равновѣсіе, когда будетъ подпертъ центръ тяжести его ж.

Подобно тому, какъ мы доказали, что двѣ и три матеріальныя неизмѣнно соединенныя частицы, должны имѣть центръ тяжести, точно также легко показать, что центръ тяжести существуетъ для 4, 5, 6 и такъ далѣе частицъ неизмѣнно соединенныхъ между собою и что наконецъ всякое твердое тѣло должно имѣть неизмѣнный центръ тяжести, какъ бы не было велико число частицъ, изъ которыхъ оно составлено.

§ 111. Какъ для предохраненія тѣла отъ паденія должно только доставить опору его центру тяжести, то очевидно, что во многихъ случаяхъ въ обыкновенной жизни и въ технику, бываетъ важно знать положеніе этой точки въ каждомъ тѣлѣ. Съ другой стороны знаніе центра тяжести тѣла чрезвычайно упрощаетъ изслѣдованія явленій движенія, потому что вмѣсто разсматриванія одновременнаго дѣйствія безконечно большаго числа силъ на безконечно большое число точекъ, для насъ достаточно только имѣть въ виду одинъ центръ тяжести и опредѣлить дѣйствіе равнодѣйствующей на одну только эту точку. Обстоятельство это и заставляетъ насъ опредѣлить положеніе центра тяжести нѣкоторыхъ тѣлъ, имѣющихъ правильную форму.

Нахожденіе центра тяжести.

Простѣйшая задача, которую можно здѣсь предложить, есть опредѣленіе центра тяжести прямой линіи. Очевидно, что центръ тяжести прямой линіи лежитъ по срединѣ ея, потому что по обѣ стороны отъ этой точки находится одинаковое число равно отстоящихъ отъ нея матеріальныхъ частицъ. Легко также найти помощію совершенно простыхъ геометрическихъ соображеній центръ тяжести плоскости, ограниченной тремя прямыми линіями или треугольника. Не должно при этомъ упускать изъ вида, что употребляя здѣсь выраженіе плоскость, мы разумѣемъ подъ нею тѣло, толстота котораго принимается безконечно малою сравнительно съ цѣлымъ протяженіемъ. Если соединимъ среднюю точку d линіи ac (фиг. 258), съ вершиною проти-

Фиг. 258.

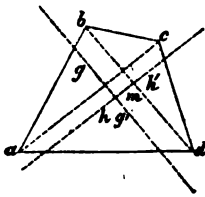


вположнаго угла b треугольника abc , то чрезъ это весь треугольникъ раздѣлится на двѣ равныя части, точно также какъ и каждая линія, подобно mn , параллельная къ ac . Слѣдовательно, если подпереть треугольникъ по направленію bd заостреннымъ ребромъ какого нибудь тѣла, то онъ не будетъ падать потому, что по обѣ стороны линіи bd равное число одинаково притягиваемыхъ землею точекъ, изъ которыхъ каждая имѣетъ на противоположной сторонѣ линіи bd , въ равномъ разстояніи отъ послѣдней, соотвѣтственную себѣ точку. Поэтому центръ тяжести треугольника долженъ лежать на самой линіи bd . Если соединимъ далѣе средину f стороны bc съ a , то рассуждая точно такимъ же образомъ, увидимъ, что центръ тяжести долженъ находиться также и на линіи af . Слѣдовательно точка пересѣченія линій bd и af и есть центръ тяжести тре-

угольника. Значитъ треугольникъ не будетъ падать, если только подпереть точку g , т. е. если къ g приложить силу, равную тяжести треугольника и дѣйствующую по вертикальному направленію кверху.

Теперь легко уже видѣть способъ, по которому можно опредѣлять положеніе центра тяжести какого угодно многоугольника, потому что для сложнѣйшихъ фигуръ, тотъ же самый способъ становится только продолжительнѣе.

Положимъ, что требуется опредѣлить центръ тяжести четвероугольника $abcd$ (фиг. 259). Если раздѣлить четвероугольникъ линіей ac на два треугольника abc и acd ,



у которыхъ точки g и g' представляютъ центры тяжести ихъ, то очевидно, что общій центръ тяжести всей фигуры будетъ лежать на линіи gg' . Если h и h' будутъ центры тяжести треугольниковъ abd и bcd , то ясно, что на линіи hh' будетъ находиться также и центръ тяжести четвероугольника. Поэтому искомая точка m должна находиться на пересѣченіи линій gg' и hh' .

Положеніе m на линіи gg' можно опредѣлить также и другимъ образомъ: такъ какъ g и g' представляютъ центры тяжести частей четвероугольника, то вмѣсто полнаго дѣйствія земли на четвероугольникъ, мы можемъ имѣть въ виду только двѣ силы, дѣйствующія по одному направленію на точки g и g' ; величина этихъ силъ выразится вѣсомъ треугольниковъ abc и acd . Точки приложенія равнодѣйствующей этихъ параллельныхъ силъ, будутъ также точкою приложенія равнодѣйствующей всѣхъ притяженій, дѣйствующихъ на $abcd$, т. е. центръ тяжести четвероугольника. Но точка приложенія равнодѣйствующей двухъ параллельныхъ силъ лежитъ тѣмъ ближе къ болѣе изъ нихъ, чѣмъ напряженность ея сильнѣе напряженности мѣншей силы. Поэтому центръ тяжести m будетъ имѣть такое положеніе, при которомъ mg' относится къ tg , какъ плоскость или вѣсъ abc относится къ плоскости или вѣсу acd .

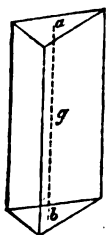
Изъ этого видно, что сущность способа опредѣленія центра тяжести заключается въ томъ, чтобы опредѣлить линіи, на которыхъ лежитъ центръ тяжести; если найдены двѣ такіа линіи, то центръ тяжести опредѣленъ, потому что точка лежащая въ одно время на обѣихъ линіяхъ, т. е. точка ихъ пересѣченія и есть искомый центръ тяжести. Для опредѣленія же линій, на которыхъ находится центръ тяжести, надобно раздѣлить фигуру на такіа части, для которыхъ положеніе центра уже извѣстно. Теперь само собою понятно, какъ должно поступать для опредѣленія центра тяжести пятиугольника или вообще какого угодно многоугольника; очевидно также, что для сложнѣйшихъ фигуръ способъ нахожденія остается одинъ и тотъ же, съ тою только разницею, что самое нахожденіе становится продолжительнѣе и труднѣе.

Все сказанное нами относится только къ правильнымъ многоугольникамъ; но если же фигура имѣетъ неправильное очертаніе, то графическое опредѣленіе центра тяжести ея становится даже невыпол-

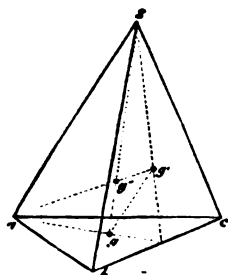
нимымъ, и въ этомъ случаѣ мы должны искать практическаго способа, который бы позволялъ опредѣлять центръ тяжести всякаго тѣла, независимо отъ фигуры его.

Но прежде объясненія практическаго способа, покажемъ положеніе центра тяжести *толь* ограниченныхъ правильными плоскостями.

Фиг. 260. Одинъ взглядъ на чертежъ можетъ удостовѣрить насъ, что центръ тяжести призмы (фиг. 260) лежитъ по срединѣ линіи ab въ точкѣ g въ томъ случаѣ, когда центры тяжести параллельныхъ конечныхъ плоскостей призмы находятся въ точкахъ a и b . И въ самомъ дѣлѣ, раздѣливъ мысленно призму на безчисленное множество треугольниковъ параллельныхъ конечнымъ плоскостямъ, мы получимъ на линіи ab центры тяжести всѣхъ этихъ треугольниковъ. Кромѣ того, ab представляетъ линію, всѣ точки которой одинаково притягиваются центромъ земли, потому что каждая изъ нихъ есть центръ тяжести равнаго по величинѣ треугольника. Поэтому середина ab , какъ линіи, состоящей изъ точекъ одинаковаго вѣса, есть искомый центръ тяжести.

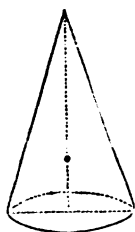


Фиг. 261.



Для нахожденія центра тяжести *трехсторонней пирамиды* (фиг. 261), стоитъ только провести отъ оконечностей s и a линіи къ центрамъ тяжестей g и g' противолежащихъ треугольниковъ. Точка g'' пересѣченія этихъ двухъ линіи и есть искомый центръ тяжести. Легко доказать, что $gg'' = \frac{1}{4}gs$.

Фиг. 262.



Центръ тяжести *конуса* (фиг. 262), имѣющаго въ основаніи кругъ, лежитъ на прямой линіи, проведенной отъ вершины къ срединѣ основанія, и разстояніе его равно $\frac{1}{4}$ этой линіи.

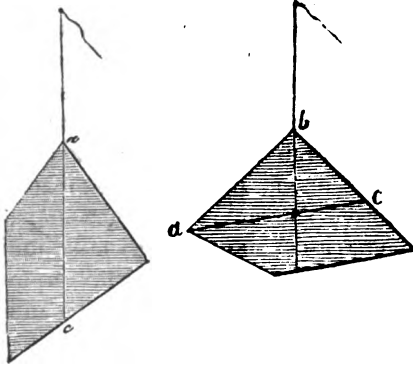
Центръ тяжести цилиндра лежитъ посрединѣ его оси; центръ тяжести шара въ геометрическомъ центрѣ его, точно также какъ центръ тяжести кольца находится въ центрѣ его, слѣдовательно внѣ тѣла.

Все сказанное нами относится къ тому случаю, когда тѣла кромѣ правильности ихъ формы имѣютъ еще однородную массу. Но такъ какъ тѣла даже самыя правильныя не всегда удовлетворяютъ послѣднему условію, то и прибѣгаютъ къ практическимъ способамъ опредѣленія центра тяжести.

Всѣ практическіе способы основываются на томъ, чтобы опредѣлить посредствомъ опыта положеніе двухъ линій, на которыхъ лежитъ центръ тяжести.

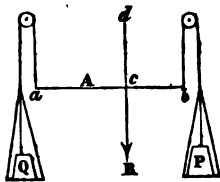
Если тѣло небольшого объема и не очень значительнаго вѣса, то для опредѣленія точки пересѣченія двухъ линій, на которыхъ нахо-

дится центръ тяжести его, можно употребить способъ *привѣшиванія* его къ нити. Положимъ, что тѣло привѣшено къ нити точкою *a* (Фиг. 263). Такъ какъ тѣло можетъ прійти въ состояніе покоя только въ томъ случаѣ, когда центръ тяжести его будетъ лежать прямо подъ точкою привѣса, то очевидно, что направленіе нити во время равновѣсія покажетъ намъ направленіе линіи *ac*, по которой центръ тяжести его стремится къ землѣ. Потомъ прикрѣпляютъ нить къ другой точкѣ тѣла, напр. *b* (Фиг. 264). Въ этомъ случаѣ мы получимъ вторую линію *bd*. Пересѣченіе этихъ двухъ линій и дастъ намъ



искомый центръ тяжести. Чтобы знать положеніе этихъ линій, стоитъ только при каждомъ привѣшиваніи означить на поверхности тѣла двумя точками направленіе, въ которомъ оно пересѣкается съ продолженіемъ отвѣсной линіи.

Этого способа нельзя употребить когда тѣло имѣетъ значительные размѣры или большой вѣсъ. Тогда можно поступить слѣдующимъ образомъ. Къ тѣлу *A* (Фиг. 265), центръ тяжести котораго требуется опредѣлить, прикрѣпляется твердая палка или бревно *ab*. Къ концамъ *a* и *b* привязываются веревки, которыя проходятъ черезъ блоки и оканчиваются чашками или помостами. На чашки кладутся тяжести *P* и *Q*. Понятно, что для равновѣсія цѣлой системы необходимо, чтобы обѣ тяжести *P* и *Q* были равны вѣсу *A* тѣла *A*, т. е. чтобы $P + Q = R$. Если *dc* есть вертикальная линія, въ которой лежитъ искомый центръ тяжести,



то мы будемъ имѣть три силы *P*, *Q* и *R*, дѣйствующія на *AB* въ параллельномъ направленіи и при томъ такимъ образомъ, что *R* дѣйствуетъ внизъ, а *P* и *Q* — вверхъ. Значитъ, мы можемъ опредѣлить разстояніе *ac* въ томъ случаѣ, когда оно будетъ удовлетворять условію равновѣсія параллельныхъ силъ.

Но изъ условій равновѣсія параллельныхъ силъ мы знаемъ, что для этого необходимо, чтобы $ac \cdot Q = cb \cdot P$ или $ac \cdot Q = (ab - ac) \cdot P$. Отсюда $ac = ab \cdot \frac{P}{P+Q} = ab \cdot \frac{P}{R}$.

Какъ *ab*, *P* и *R* величины извѣстныя, то изъ этого равенства опредѣлится разстояніе *ac*, а слѣдовательно и положеніе линіи *dc*, на которой находится центръ тяжести тѣла. Точно также можно получить и положеніе второй линіи. Пересѣченіе обѣихъ линій и дастъ намъ мѣсто искомаго центра тяжести.

Изъ этого видно, что и практическіе способы опредѣленія центра тяжести тѣлъ, имѣютъ также свои неудобства. Къ счастью въ большей части случаевъ, какъ напр. при постройкахъ, гдѣ бываетъ особенно важно знать положеніе центра тяжести, приходится имѣть дѣло съ правильными и симметрическими тѣлами, при которыхъ опредѣленіе центра тяжести не представляетъ никакой трудности.

§ 112. Мы уже говорили, что для предохраненія тѣла отъ паденія или, говоря другими словами, для доставленія тѣлу возможности сохранить равновѣсіе съ силою тяжести, заставляющей частицы его стремиться книзу, необходимо употребить силу, которая бы равнялась равнодѣйствующей всѣхъ отдѣльныхъ силъ тяжести этихъ частицъ и дѣйствовала бы прямо противоположно ей. Следовательно надобно найти такую силу, которая проходила бы чрезъ центръ тяжести тѣла и направлялась бы отвѣсно кверху. Само собою разумѣется, что точка приложенія этой равнодѣйствующей силы должна находиться въ неизмѣнномъ соединеніи съ центромъ тяжести тѣла.

Условія
равно-
вѣсія
тѣла.

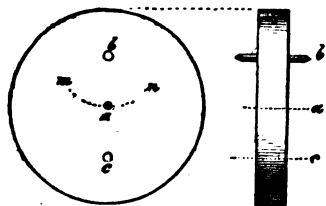
Сила, употребляемая въ большей части случаевъ для предохраненія тѣла отъ паденія, обыкновенно заключается въ томъ *сопротивленіи*, которое представляютъ твердыя тѣла вслѣдствіе значительнаго сдѣспленія ихъ частицъ. Необходимо только, чтобы это сопротивленіе находилось въ какомъ либо мѣстѣ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ центръ тяжести и было бы въ неизмѣнномъ соединеніи съ нимъ.

Центръ тяжести тѣла, какъ мы уже сказали, есть точка, въ которой сосредоточивается все дѣйствіе тяжести тѣла. Такъ какъ это дѣйствіе направляется къ средоточію земли, то очевидно, что центръ тяжести постоянно стремится приблизиться къ центру земли, т. е. стремится къ паденію и занятію по возможности болѣе низкаго мѣста. Поэтому, если вывести центръ тяжести изъ занимаемаго имъ положенія и потомъ предоставить его самому себѣ, то очевидно, что онъ тотчасъ займетъ прежнее мѣсто. На этомъ свойствѣ центра тяжести основано и самое различіе въ равновѣсіяхъ, доставляемыхъ тѣлу различными сопротивленіями.

Сопротивленія эти могутъ быть доставляемы тѣламъ различными способами, которыя можно подвести подъ два главныхъ случая: тѣла могутъ быть *повѣшены* и могутъ быть *подперты*.

§ 113. Рассмотримъ сперва равновѣсіе тѣлъ повѣшенныхъ. Пред-
Фиг. 266. ставимъ себѣ небольшой кружокъ (фиг. 266), состоящій изъ однородной массы и снабженный тремя сквозными отверстіями *a*, *b* и *c*, изъ которыхъ *a* проходитъ чрезъ центръ тяжести кружка, а два другія находятся на одной съ нимъ прямой линіи. Для равновѣсія этого кружка, какъ мы знаемъ, необходимо чтобы точка привѣса

Родъ
равно-
вѣсія
тѣлъ
виса-
ющихъ.



и центръ тяжести находились на одной отвѣсной линіи.

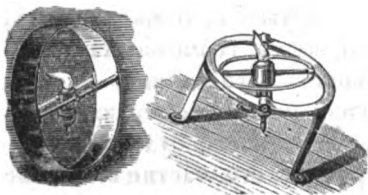
Если чрезъ отверстіе *a*, соотвѣтствующее центру тяжести кружка, проткнутъ твердую ось и повѣсить на ней кружокъ, то мы увидимъ, что онъ будетъ сохранять равновѣсіе при всѣхъ возможныхъ положеніяхъ, доставляемыхъ ему вращательнымъ движеніемъ на оси. Это потому, что какое бы мы не доставили положеніе кружку вращательнымъ движеніемъ, всегда центръ тяжести его будетъ сохранять одно и то же мѣсто относительно прочихъ его частицъ. Такое положеніе равновѣсія называется *безразличнымъ*.

Если ось проходитъ чрезъ верхнее отверстіе b , то сколько бы мы не вращали кружокъ и тѣмъ самымъ не выводили кружокъ изъ положенія равновѣсія, онъ снова будетъ принимать послѣднее по прекращеніи дѣйствія силы, нарушающей его *равновѣсіе*. И въ самомъ дѣлѣ, если вращать кружокъ на оси b , то центръ тяжести его a , двигаясь по дугѣ mn , будетъ отодвигаться то вправо, то влево отъ отвѣсной линіи. Положимъ, что онъ находится въ точкѣ n ; понятно, что въ этой точкѣ будутъ дѣйствовать на него двѣ силы: одна притягивающая его къ точкѣ привѣса b , а другая притягивающая его къ центру земли по отвѣсному направленію. Такъ какъ при положеніи центра тяжести въ точкѣ n , оба эти направленія находятся не на одной прямой линіи, а составляютъ извѣстный уголъ между собою, то очевидно, что отъ обоюднаго дѣйствія этихъ силъ центръ тяжести пойдетъ въ промежуткѣ между направленіями ихъ по дугѣ na , имѣющей радиусомъ линію bn . Достигнувъ точки a , въ которой направленія дѣйствовавшихъ на него силъ будутъ противоположны другъ другу, центръ тяжести долженъ бы оставаться въ покоѣ; но какъ въ то же время, на основаніи инерціи, онъ пріобрѣлъ способность къ продолженію совершеннаго имъ движенія отъ n къ a , то очевидно, что при взаимномъ уничтоженіи обѣихъ упомянутыхъ нами силъ, онъ будетъ покоряться влеченію къ продолженію дальнѣйшаго движенія по дугѣ am . Но какъ при этомъ движеніи сила земнаго притяженія постоянно заставляеть его опускаться книзу, то ясно, что скорость, доставляемая инерціею, должна наконецъ сдѣлаться равною нулю. Побуждаемый непрерывнымъ дѣйствіемъ притяженія земли, центръ тяжести устремится снова къ занятію самаго низкаго мѣста въ точкѣ a . Примѣняя приведенное нами разсужденіе къ движенію центра тяжести, мы поймемъ, что онъ долженъ бы постоянно двигаться по обѣ стороны отвѣсной линіи ba , если бы сопротивленіе воздуха и треніе, представляемое точкою вращенія b , не уменьшали постепенно дугъ его движенія и не заставляли бы его наконецъ останавливаться на отвѣсной линіи ba , гдѣ дѣйствіе притяженія земли уничтожается сопротивленіемъ нити, притягивающей его къ точкѣ вращенія.

Равновѣсіе принимаемое тѣломъ при подобномъ расположеніи центра тяжести называется *устойчивымъ*, потому что тѣло само собою, при малѣйшемъ уклоненіи центра тяжести отъ отвѣсной линіи, приходитъ въ состояніе равновѣсія.

На свойствѣ устойчиваго равновѣсія повѣшенныхъ тѣлъ, основано

Фиг. 267 и 268.



устройство двухъ лампъ (фиг. 267 и 268), центры тяжести которыхъ расположены подъ точками привѣса. Первая изъ нихъ сохраняетъ отвѣсное положеніе постоянно во время обращенія обруча, а вторая при всѣхъ положеніяхъ треноги, на которой она

повѣшена. Если укрѣпить самую треногу на какомъ либо мѣстѣ корабля, то, не смотря ни на какую качку, масло не выльется изъ лампы.

Положимъ теперь, что ось проходитъ чрезъ отверстіе c . Если мы приведемъ кружокъ при этомъ положеніи въ состояніе равновѣсія, то нетрудно замѣтить, что при малѣйшемъ отклоненіи центра тяжести отъ вертикальной линіи проходящей чрезъ c , онъ не будетъ уже возвращаться въ прежнее свое положеніе, а будетъ стремиться постоянно книзу до тѣхъ поръ, пока не расположится подъ точкою a на одной отвѣсной линіи съ нею. Такое положеніе равновѣсія называется *неустойчивымъ*.

Изъ наложеннаго нами видно, что всякое тѣло повѣшенное на оси можетъ находиться въ устойчивомъ, неустойчивомъ и безразличномъ равновѣсіи, судя потому будетъ ли находиться центръ его тяжести ниже, выше или въ самой оси.

§ 114. Тѣже самые роды равновѣсія представляютъ намъ и *под-*

Роды равновѣсія тѣлъ подпертыхъ.

Главнѣйшее условіе равновѣсія остается тѣмъ же, т. е. для равновѣсія необходимо, чтобы центръ тяжести и точка опоры находились на одной отвѣсной линіи. Такимъ образомъ полоса bc (фиг. 269а)

Фиг. 269а.

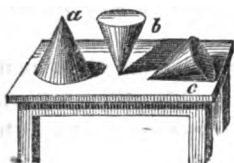
Фиг. 269б.

находится въ равновѣсіи съ дѣйствіемъ тяжести, когда отвѣсная линія v , проходящая чрезъ центръ тяжести, встрѣчаетъ въ какой нибудь точкѣ твердое тѣло, могущее служить для ней опорой. Если бы положенная на опору полоса выходила за нее, какъ представлено на фиг. 269б, то отвѣсная линія v' не будетъ уже имѣть опоры o' и полоса въ этомъ случаѣ упадетъ книзу.

Равновѣсіе *подпертыхъ* тѣлъ бываетъ *безразличнымъ* въ томъ случаѣ, когда высота центра тяжести надъ опорой остается таже самая при всѣхъ положеніяхъ принимаемыхъ тѣломъ; примѣромъ этого равновѣсія можетъ служить намъ шаръ. Равновѣсіе бываетъ *устойчивое*, когда центръ тяжести занимаетъ самое низкое мѣсто. Примѣняя къ этому случаю сказанное нами объ устойчивомъ равновѣсіи повѣшенныхъ тѣлъ, не трудно понять, что послѣ всякаго отклоненія центра тяжести подпертаго тѣла отъ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку опоры, онъ будетъ снова занимать прежнее свое положеніе. И въ самомъ дѣлѣ опытъ показываетъ, что тѣло выведенное въ этомъ случаѣ изъ равновѣсія, принимаетъ его снова послѣ нѣсколькихъ качаній. Наконецъ равновѣсіе бываетъ *неустойчивымъ*, когда центръ тяжести подпертаго тѣла находится выше точки опоры и равновѣсіе бываетъ тѣмъ неустойчивѣе, чѣмъ выше расположено при этомъ центръ тяжести надъ точкою опоры. Выведя тѣло изъ положенія его равновѣсія, т. е. отклонивъ хотя на незначительную величину центръ тяжести отъ отвѣсной линіи, проходящей

чрезъ точку опоры, мы увидимъ, что тѣло опрокинется, потому что центръ тяжести его не будетъ находить для себя опоры внѣ этой отвѣсной линіи. Побуждаемый тяжестію онъ будетъ стремиться падать книзу до тѣхъ поръ, пока не займетъ самаго низкаго мѣста, т. е. пока не расположится отвѣсно подъ точкою опоры. Примѣръ неустойчиваго равновѣсія представляетъ намъ палка, удерживаемая въ вертикальномъ положеніи концомъ пальца. Всякому извѣстно, что поддержаніе центра тяжести въ одной отвѣсной линіи съ точкою опоры достигается только при помощи движеній, при которыхъ палецъ постоянно приводится къ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ центръ тяжести. Примѣръ этихъ трехъ родовъ равновѣсія подпертыхъ тѣлъ, представляетъ

Фиг. 270.



фиг. 270.

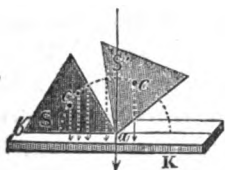
Устой-
чивость
тѣлъ.

§ 115. Все сказанное нами о равновѣсіи подпертыхъ тѣлъ относится къ тѣмъ случаямъ, когда центръ тяжести и точка, которою опирается тѣло на подставку, *находятся въ одной отвѣсной линіи*. Но тѣло можетъ опираться на подставку также нѣсколькими точками своими, какъ напр. два крайніе конуса, представленные на фиг. 270, изъ которыхъ лѣвый сохраняетъ устойчивое, а правый безразличное равновѣсіе. Тоже самое представляютъ столы, стулья и тому подобные предметы, опирающіеся нѣсколькими ножками на полъ. Въ этомъ случаѣ плоскость, образуемая отъ соединенія прямыми линіями точекъ опоры, должна быть принимаема за плоскость опоры.

Посмотримъ отъ какихъ условій зависитъ наибольшая устойчивость тѣлъ. Какимъ бы образомъ тѣло не покоилось на опорѣ, оно будетъ оставаться до тѣхъ поръ въ равновѣсіи, пока отвѣсная линія, проходящая чрезъ центръ тяжести, не будетъ выходить изъ плоскости опоры.

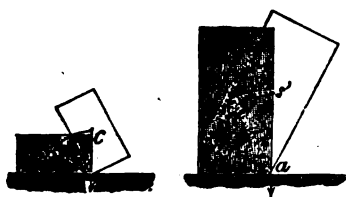
Представимъ себѣ, что треугольникъ S (фиг. 271) представляетъ

Фиг. 271.



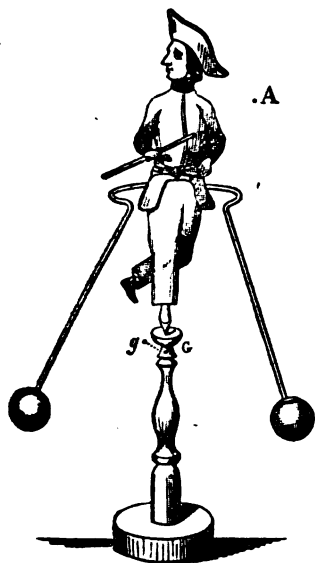
разрѣзъ конуса, проходящій чрезъ діаметръ его основанія и чрезъ вершину, и положимъ, что разрѣзъ основанія ab опирается на какую нибудь неподвижную плоскость K . Обращая конусъ на точкѣ a и чрезъ то выводя его изъ состоянія равновѣсія, мы увидимъ, что отъ дѣйствія тяжести онъ будетъ приходить въ первоначальное положеніе до тѣхъ поръ, пока центръ тяжести c не перейдетъ по другую сторону отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку вращенія a . Одинъ взглядъ на чертежъ показываетъ намъ почему конусъ S' не можетъ уже падать влѣво, а долженъ опрокидываться на правую сторону. Слѣдовательно, для полученія болѣе устойчиваго равновѣсія недостаточно доставлять опору той точкѣ тѣла, которая находится на отвѣсной линіи подъ центромъ тяжести, но необходимо также, чтобы и *окружающая ее поверхность лежала на какомъ либо основаніи*.

Представимъ себѣ два тѣла одинаковаго основанія: камень (фиг. 272) и деревянный брусъ (фиг. 273), изъ которыхъ послѣдній выше перваго. Опрокидываніе камня будетъ затруднительнѣе, потому что для этого должно заставить центръ тяжести его пройти большій путь, нежели у деревяннаго бруса. Значитъ всякое тѣло стоитъ тѣмъ устойчивѣе, чѣмъ ниже расположенъ центръ его тяжести.



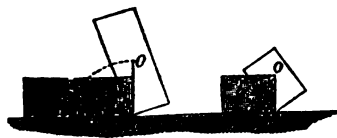
Свойствомъ этимъ пользуются для доставленія устойчивости тѣлу, находящемуся въ неустойчивомъ равновѣсіи. Такъ напримѣръ, мы знаемъ, что палка удерживаемая въ вертикальномъ положеніи концомъ пальца, сохраняетъ неустойчивое равновѣсіе.

Фиг. 274.



Для доставленія палкѣ устойчивости, продѣлають поперегъ ее толстую проволоку; концы этой проволоки, снабженные свинцовыми шариками, загибають книзу такимъ образомъ, чтобы они приходились ниже точки опоры. Черезъ это центръ тяжести цѣлой системы матеріальныхъ точекъ, поддерживаемыхъ пальцемъ, будетъ находиться подъ опорою. Примѣръ подобнаго равновѣсія представляетъ намъ фиг. 274. Она состоитъ изъ небольшого костянаго бюста, сквозь который продѣта проволока, оканчивающаяся шарикомъ. Понятно, что сколько бы мы не поворачивали бюстъ на точкѣ опоры, всегда онъ будетъ удерживаться на одной ногѣ, потому что при всѣхъ поворотахъ центръ тяжести будетъ постоянно находиться ниже точки опоры.

Возьмемъ теперь два бруса: одинъ каменный (фиг. 275), а другой металлическій (фиг. 276), у которыхъ центры тяжести находятся на одной высотѣ отъ основаній различной ширины.

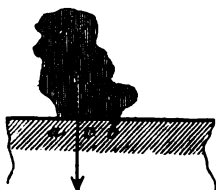


Очевидно, что и въ этомъ случаѣ труднѣе опрокинуть камень, потому что центръ тяжести его должно поднять выше, нежели при поворачиваніи одинаковой высоты металлическаго бруса, у котораго основаніе уже. Это показываетъ намъ, что тѣло сохраняетъ свое равновѣсіе тѣмъ надежнѣе, чѣмъ при одинаковыхъ прочихъ обстоятельствахъ шире основаніе, на которомъ оно поκειται. Не должно забывать, что въ обоихъ послѣднихъ примѣрахъ мы брали сравниваемыя тѣла одинаковаго вѣса.

Устойчивость тѣла имѣетъ важное значеніе въ строительномъ искусствѣ; какъ напр. при устройствѣ стѣнъ, плотинъ, быковъ и тому подобныхъ предметовъ, должно сообщать имъ такую устойчивость, при которой они могли бы не колеблѣсь выносить боковыя натиски или толчки. Поэтому весьма важно знать не только отъ чего зависить устойчивость тѣла, но и самый способъ опредѣленія величины устойчивости.

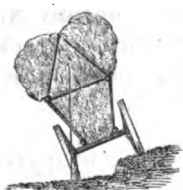
Мы уже знаемъ, что для опрокидыванія тѣла стоитъ только вращать его около ребра, лежащаго въ плоскости его опоры. Если тѣло, имѣющее вѣсъ Q

Фиг. 277.



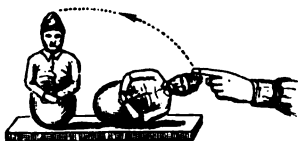
(фиг. 277), опрокинется на ребрѣ a , то оно повернется около этого ребра; точно также для опрокидыванія своего на ребрѣ b , тѣло должно произвести вращеніе около послѣдняго. Поэтому устойчивость тѣла въ отношеніи къ боковымъ ребрамъ a и b опредѣлится тѣмъ сопротивленіемъ, которое тѣло противопоставляетъ вращенію своему около этихъ реберъ. Но очевидно, что величина этихъ сопротивленій есть ничто иное какъ моментъ вѣса или силы Q въ отношеніи къ a и къ b . И въ самомъ дѣлѣ, опустивъ изъ центра тяжести g тѣла отвѣсную линію gc на плоскость опоры ab , получимъ моментъ силы Q въ отношеніи къ a , т. е. $ac \cdot Q$. Произведеніе это и покажетъ намъ, какъ велико стремленіе Q къ производству вращенія около a , по направленію означенному стрѣлкою, т. е. въ направленіи противномъ опрокидыванію. Отсюда слѣдуетъ, что $ac \cdot Q$ можетъ также выражать сопротивленіе, противопоставляемое силою Q опрокидыванію тѣла на ребрѣ a . Такимъ же образомъ $bc \cdot Q$ показываетъ устойчивость Q относительно b . Поэтому самое общее опредѣленіе устойчивости тѣла будетъ заключаться въ слѣдующемъ: *устойчивость есть произведеніе вѣса тѣла, на разстояніе отвѣсной линіи, проходящей черезъ центръ тяжести его, отъ ребра опрокидыванія*. Поэтому телега, имѣющая широкій ходъ, обладаетъ большею устойчивостію, чѣмъ телега съ узкимъ ходомъ; отвѣсная линія, проходящая черезъ центръ тяжести, имѣетъ въ первомъ случаѣ большее разстояніе отъ ребра, на которомъ можетъ опрокинуться телега. Высоко нагруженные экипажи, у которыхъ узокъ ходъ, опрокидываются весьма часто, въ особенности

Фиг. 278.



на покатосяхъ (фиг. 278). При этомъ должно замѣтить, что повозки, нагруженные сѣномъ, соломой, шерстью, пустымъ стекломъ и вообще предметами незначительной плотности, подвержены скорѣйшему опрокидыванію противу повозокъ нагруженныхъ плотными веществами, потому что въ послѣднемъ случаѣ центръ тяжести всего груза занимаетъ болѣе низкое мѣсто. На этомъ основаніи при нагрузкѣ повозокъ веществами различной плотности, плотнѣйшія вещи располагаются на самомъ низу, а на нихъ уже кладутся легчайшія. Въ новѣйшее время всѣ почтовые кареты устраиваются такимъ образомъ, что большая часть груза находится на одной высотѣ съ осями колесъ, чрезъ что экипажи почти совершенно обезпечиваются отъ опрокидыванія.

Фиг. 279.



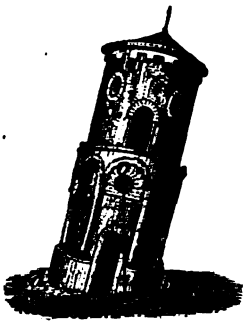
Фиг. 280.



На этомъ же основано устройство извѣстныхъ игрушекъ (фиг. 279), которые приходятъ сами собою въ отвѣсное положеніе послѣ каждаго насильственного наклоненія ихъ. Какъ извѣстно, центръ тяжести занимаетъ самую нижнюю часть въ этихъ игрушкахъ.

Изъ фигуры 280-й не трудно понять, почему яйцо сохраняетъ устойчивость въ горизонтальномъ положеніи.

Фиг. 281.



Фиг. 282.



Наклонныя строения (фиг. 281), изъ которыхъ нѣкоторые приобрѣли себѣ извѣстность, какъ напр. наклонныя башни въ итальянскихъ городахъ Пизъ и Болоньѣ, сохраняютъ безопасно свое положеніе потому, что низкое расположеніе центра тяжести o , позволяетъ опущенной изъ него отвѣсной линіи падать на площадь, занимаемую ихъ основаніемъ — Точно также легко понять, почему устойчивость пирамиды надежнѣе устойчивости призмы (фиг. 282).

§ 116. Въ природѣ и въ искусствахъ мы встречаемъ много явленій, въ которыхъ положеніе центра тяжести играетъ немаловажную роль. Животныя и люди, при всѣхъ своихъ позахъ и движеніяхъ, располагаютъ центр тяжести такимъ образомъ, чтобы онъ былъ постоянно подпертъ. Когда человѣкъ стоитъ на мѣстѣ, то отвѣсная линія, проходящая черезъ центр тяжести его, должна падать посрединѣ основанія, образуемаго его ногами.

Если человѣкъ становится на одну ногу, то онъ тотчасъ нагибается свое тѣло на сторону той ноги, которая опирается на землю: отъ несоблюденія этого условія легко можно упасть; когда человѣкъ во время ходьбы поднимаетъ лѣвую ногу, то онъ нагибается вправо, при поднятіи же правой ноги, онъ нагибается влѣво. Эти передвиженія тѣла во время ходьбы, съ правой стороны на лѣвую, наиболѣе бываютъ ощутительны въ томъ случаѣ, когда увеличивается разстояніе между положеніемъ ногъ, какъ это можно замѣтить у людей полныхъ или у животныхъ, у которыхъ ноги расположены на довольно большомъ разстояніи между собою, какъ напр. у гусей и утокъ. Чтобы пѣхота могла удобно двигаться въ сомкнутомъ строѣ, въ которомъ солдаты прикасаются локтями другъ къ другу, необходимо, чтобы всѣ люди начинали движеніе одновременно съ одной ноги, потому что только маршируя въ ногу, солдаты могутъ перемѣщать положеніе центра тяжести всѣмъ строемъ однообразно, безъ столкновений. Чтобы предохранить себя отъ паденія при нечаянномъ толчкѣ, мы протягиваемъ руку по противоположному направленію, для того, чтобы снова помѣстить центр тяжести надъ плоскостію опоры. Желая встать со стула обыкновенно нагибаются впередъ для того, чтобы помѣстить отвѣсную линію центра тяжести надъ основаніемъ, образуемымъ ногами. Положимъ, что человѣкъ, центр тяжести котораго при обыкновенномъ

Фиг. 283.



положеніи лежитъ посрединѣ живота (фиг. 283), несутъ за спиною грузъ. Если соединить центр тяжести груза съ центромъ тяжести тѣла человѣка, то мы получимъ равнодѣйствующую двухъ отдѣльныхъ силъ тяжести; точка приложенія этой равнодѣйствующей будетъ тѣмъ далѣе отъ центра тяжести тѣла человѣка, чѣмъ значительнѣе тяжесть, или чѣмъ болѣе разстояніе между центромъ тяжести груза и центромъ тяжести человѣка. Для предохраненія себя отъ паденія, человѣкъ долженъ принимать такое положеніе, чтобы общая равнодѣйствующая постоянно находилась надъ основаніемъ образуемымъ ногами. Вотъ почему человѣкъ, несущій грузъ на спинѣ, нагибается впередъ верхнюю часть своего тѣла и тѣмъ значительнѣе, чѣмъ болѣе вѣсъ груза и чѣмъ далѣе отстоитъ отъ спины центр тяжести послѣдняго.

Солдатскій ранецъ есть также тяжесть, заставляющая солдата нагибать впередъ верхнюю часть своего тѣла; чтобы сдѣлать это нагибаніе по возможности незначительнымъ, даютъ обыкновенно ранцу широкую и плоскую форму, и прикладываютъ его широкой стороной къ спинѣ для того, чтобы центръ тяжести былъ какъ можно ближе къ послѣдней. Человѣкъ, несущій тяжесть передъ собою, нагибается назадъ для того, чтобы постоянно держать отвѣсную линію центра тяжести надъ основаніемъ, образуемымъ подошвами ногъ.

На томъ же самомъ основаніи, когда человѣкъ несетъ грузъ въ лѣвой рукѣ (Фиг. 284), то онъ нагибается на правую сторону и на оборотъ.



Но если же онъ несетъ грузъ въ обѣихъ рукахъ, или нагруженъ двумя мѣшками, изъ которыхъ одинъ находится впереди, а другой сзади, то очевидно, что онъ можетъ сохранять обыкновенное свое положеніе, при чемъ человѣкъ менѣе всего утомляется. Слабосильные люди весьма часто носятъ значительные грузы, помѣщая ихъ на головѣ такимъ образомъ, чтобы отвѣсная линія центра тяжести груза совпадала бы съ отвѣсною линією центра тяжести тѣла ихъ; въ этомъ положеніи дѣйствіе груза для нихъ менѣе ощутительно; но нагруженные такимъ образомъ люди должны подвигаться впередъ небольшими равномерными шагами, для того, чтобы при быстромъ движеніи или при внезапномъ останавливаніи, вслѣдствіе инерціи грузъ несдвинулся бы съ своего мѣста; предосторож-

ность эта въ особенности важна въ томъ случаѣ, если несутъ на головѣ сосудъ съ какою нибудь жидкостью. Знаніе положеній центра тяжести въ особенности важно для скульпторовъ и живописцевъ. Искусство ходить и танцовать на натянутомъ канатѣ, основано на приобрѣтенной упражненіемъ способности — сохранять отвѣсную линію центра тяжести надъ узкою плоскостію веревки и возстановлять поспѣшно положеніе этой линіи, при малѣйшемъ уклоненіи ея отъ отвѣснаго положенія. Этому сохраненію направленія отвѣсной линіи, помогаютъ различными движеніями протянутыхъ рукъ и употребленіемъ длинныхъ палокъ, палитыхъ на оконечностяхъ свинцомъ; палки эти помогаютъ переносить центръ тяжести ниже точки опоры. Самымъ большимъ искусствомъ считается ходить по натянутому канату безъ палки со сложенными на груди руками. Посредствомъ такъ называемаго балансированія удерживаютъ въ вертикальномъ положеніи тѣла, покоющіяся на узкомъ основаніи, какъ напр. на оконечности пальца или на оконечности шпаги.

Тѣла значительнаго вѣса удерживаются легко въ отвѣсномъ положеніи, потому что въ этомъ случаѣ всѣ измѣненія въ давленіи могутъ быть легко ощущаемы. Тоже самое представляютъ намъ тѣла, у которыхъ центръ тяжести расположенъ высоко — это потому, что въ настоящемъ случаѣ, при паденіи центръ тяжести долженъ описывать большую дугу; а чѣмъ долѣе время движенія центра тяжести, тѣмъ очевидно болѣе представляется возможности для передвиженія основанія, на которомъ покоится тѣло, а слѣдовательно и для предупрежденія его отъ паденія.

Способностію въ перемѣщеніи центра тяжести наиболѣе одарены птицы. Этому содѣйствуетъ длина шеи, соединяющей спину съ головою; повято, что различныя положенія, принимаемая шею, способствуютъ къ измѣненію положенія центра тяжести. При летаніи центръ тяжести долженъ находиться подъ крыльями; чтобы достигнуть этого, птица вытягиваетъ голову по горизонтальному направленію. При ходѣ птица передвигаетъ голову то вправо, то влѣво, смотря потому на лѣвую или на правую ногу она ступаетъ. Когда четвероногое животное стоитъ на ногахъ, то центръ тяжести его тѣла падаетъ внутри четвероугольника, образуемаго основаніемъ ногъ, опирающихся на землю. Эта ширина основанія служитъ причиною, почему четвероногія

животныя отдыхаютъ и даже спать стоя. Отвѣсная линія, опущенная изъ центра тяжести, вообще падаетъ у этихъ животныхъ не въ самую средину основанія, но ближе къ головѣ. Поэтому переднія ноги выносятъ большую часть тяжести. При движеніи они перемѣщаютъ ноги различнымъ образомъ, смотря потому, совершаются ли эти движенія шагомъ, рысью, галопомъ или карьеромъ. При движеніи шагомъ поднимается и подвигается впередъ сперва одна на примѣръ правая задняя нога, потомъ лѣвая передняя, тамъ лѣвая задняя и наконецъ правая передняя. При ускоренномъ шагѣ животное часто поднимаетъ переднюю ногу прежде, нежели задняя коснется до земли. Вѣдствие того тѣло животного покоится попеременно, то на треугольномъ, то на четырехугольномъ основаніи и поэтому находится въ устойчивомъ равновѣсіи. Съ поднятіемъ и передвиженіемъ одной ноги впередъ, центръ тяжести животного передвигается также нѣсколько впередъ, а вмѣстѣ съ нимъ и самое тѣло, чрезъ что покоющаяся на землѣ нога принимаетъ нѣсколько наклонное положеніе относительно тѣла; выдвинутая же нога одна стоитъ прямо. Ясно, что съ повтореніемъ этого всѣми ногами, тѣло животного передвинется на известное разстояніе впередъ. На рыси поднимается правая передняя и лѣвая задняя, а потомъ лѣвая передняя и правая задняя; но обѣ поднятыя ноги опускаются на землю въ то мгновеніе, когда выдвигаются двѣ другія ноги; поэтому есть мгновеніе, въ которое животное бываетъ совершенно на воздухѣ. На галопѣ животное опирается на одну, на примѣръ лѣвую ногу, и поднимаетъ всѣ три остальные ноги; потомъ ставитъ на землю правую заднюю и лѣвую переднюю и наконецъ правую переднюю. Продолжая такимъ образомъ перемѣщать ноги, животное остается известное время на одной ногѣ и потому принимаетъ косвенное положеніе тѣла. Одновременное опущеніе двухъ ногъ на землю, производитъ гораздо сильнѣйшій ударъ, противъ опусканія одной ноги; вотъ почему при галопированіи мы обыкновенно слышимъ однообразный и мѣрный стукъ. На карьерѣ лошадь поднимаетъ одновременно обѣ ноги съ одной стороны и поэтому известное время тѣло ея должно покоиться на двухъ остальныхъ ногахъ. Вотъ почему лошади, двигающаяся карьеромъ, принимаетъ волнообразное движеніе. При прыжкахъ лошадь опирается одновременно всѣми четырьмя ногами на землю и потомъ поднимаетъ ихъ разомъ въ высоту и впередъ.

§ 117. Третій вопросъ составляетъ опредѣленіе величины равнодѣйствующей притяженія земли на каждое тѣло.

Опредѣленіе
вѣса
тѣла.

На основаніи составленнаго нами понятія о тяжести, мы допустили, что земля оказываетъ притяженіе на каждую матеріальную частицу всякаго тѣла. Слѣдовательно, если бы мы знали величину притяженія земли на каждую частицу тѣла и число заключающихся въ немъ частицъ, то, для полученія полнаго дѣйствія тяжести на тѣло, намъ стоило бы только помножить величину притяженія земли на число частицъ (§ 16).

И въ самомъ дѣлѣ, если g есть напряженіе тяжести на тѣло, состоящее изъ трехъ частицъ a , b и c , то общее дѣйствіе притяженія земли будетъ въ настоящемъ случаѣ: $ag+bg+cg$ или $g(a+b+c)$.

Поэтому, если бы на какомъ нибудь мѣстѣ земли, гдѣ напряженіе тяжести остается одно и тоже, мы желали бы знать, какое притяженіе оказываетъ земля на различныя тѣла, то стоило бы опредѣлить величину притяженія земли на этомъ мѣстѣ и количество матеріи или величину массы всякаго тѣла. Первое опредѣленіе, какъ мы увидимъ впоследствии, можетъ быть выполнено посредствомъ

извѣстныхъ приборовъ, что же касается до втораго, то къ сожалѣнію при настоящемъ состояніи нашихъ свѣдѣній объ расположеніи атомовъ въ тѣлахъ, мы не въ состояніи произвести непосредственно подобнаго опредѣленія ни вычисленіемъ, ни опытомъ.

Значить, дѣйствуя этимъ путемъ, мы не могли бы разрѣшить вопроса. Поэтому намъ остается обратиться къ опыту, т. е. искать въ природѣ такого явленія, которое бы находилось въ прямой зависимости отъ массы тѣлъ. Явленіе это обнаруживается слѣдующимъ образомъ.

Какъ притягательная сила земли дѣйствуетъ *отдѣльно* на каждую матеріальную точку тѣла, притягивая ее къ своему центру, то ясно, что всѣ онѣ вмѣстѣ производятъ на препятствія, не позволяющія имъ падать книзу, одинаковое *давленіе*, зависящее отъ величины притяженія земли. Это одинаковое давленіе всѣхъ частицъ тѣла, мы можемъ представить себѣ въ видѣ равныхъ силъ, которыя должны имѣть одну общую равнодѣйствующую. Точка приложенія этихъ равныхъ и параллельныхъ силъ будетъ очевидно центръ тяжести тѣла. Величина же равнодѣйствующей, выражающая совокупное давленіе всѣхъ частицъ тѣла, называется *абсолютнымъ* или *истиннымъ вѣсомъ* его.

Понятно, чѣмъ болѣе заключается въ тѣлѣ частицъ матеріи, т. е. чѣмъ болѣе его масса, тѣмъ и давленіе, производимое имъ на препятствія, должно быть значительнѣе: вотъ почему при удвоенной массѣ и вѣсъ долженъ быть удвоенной, и такъ далѣе.

На этомъ основаніи мы имѣемъ право заключить, что отношеніе между вѣсами тѣлъ должно быть одинаково съ отношеніемъ между массами ихъ, или, какъ говорятъ въ физикѣ, *вѣса тѣлъ пропорціональны ихъ массамъ*.

И въ самомъ дѣлѣ, на основаніи изложеннаго нами выше, вѣсъ каждого тѣла можетъ быть выраженъ уравненіемъ $P = Mg$, гдѣ M есть масса, а g — есть величина притяженія земли; если на томъ же самомъ мѣстѣ земли, при той же величинѣ притяженія g , мы возьмемъ другую массу M' , то вѣсъ ея P' выразится уравненіемъ $P' = M'g$. Сравнивая это уравненіе съ предыдущимъ, мы получимъ пропорцію: $P : P' = M : M'$, т. е. что вѣса пропорціональны массамъ.

Но чтобы судить о различіи давленій, обнаруживаемыхъ массами тѣлъ, намъ должно взять за *единицу* давленіе, производимое опредѣленнымъ объемомъ какого нибудь тѣла. Если давленіе какой нибудь массы въ двадцать разъ болѣе давленія, оказываемаго условно избранной единицей, какъ напр. фунтомъ, то мы говоримъ, что тѣло сѣситъ 20 фунтовъ.

Опредѣленный такимъ образомъ вѣсъ, основанный на прямой зависимости давленія отъ массы, есть собственно вѣсъ тѣла *относительно* избранной нами единицы. Если бы мы сравнивали давленіе тѣла съ другой единицей, то очевидно, что вѣсъ его измѣнился бы, не взирая на то, что сравниваемое тѣло сохраняетъ одно и то же количество матеріи. Опредѣленный этимъ способомъ вѣсъ, называемый

относительнымъ, не есть истинный вѣсъ тѣла, потому что при опредѣленіи его, мы не обращали вниманія на величину притяженія земли.

И въ самомъ дѣлѣ, зависимость вѣса отъ массы справедлива только для мѣстъ равно удаленныхъ отъ центра земли; только при этомъ условіи двѣ равныя массы могутъ имѣть одинаковый вѣсъ. Если мы возьмемъ двѣ массы, изъ которыхъ одна находится на поверхности земной, а другая на высотѣ въ 1000 футовъ, гдѣ сила притяженія земли дѣйствуетъ слабѣе, то очевидно, что первая изъ нихъ, на основаніи Ньютоновыхъ законовъ притяженія, будетъ притягиваться землею сильнѣе противу второй, а потому и самый вѣсъ этихъ равныхъ массъ будетъ уже различенъ.

Этого различія мы не можемъ замѣтить при опредѣленіи вѣса посредствомъ одного сравненія давленій, оказываемыхъ тѣломъ и избранной единицей. Какъ давленія эти пропорціональны массамъ для каждаго мѣста земли, то очевидно, что кусокъ желѣза, оказывающій равное давленіе съ фунтовой гирей у поверхности моря, напр. въ Петербургѣ, будетъ обнаруживать тоже явленіе и на вершинѣ самой высокой горы Кавказскаго хребта, хотя напряженіе тяжести на послѣдней менѣе, нежели въ Петербургѣ. Очевидно, что оба эти тѣла одинаково выигрываютъ и теряютъ въ вѣсѣ вмѣстѣ съ увеличеніемъ и уменьшеніемъ напряженія тяжести.

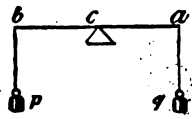
Но что это различіе вѣса, основанное на различіи притяженій земли, существуетъ на самомъ дѣлѣ, мы можемъ убѣдиться изъ прибора, извѣстнаго подъ названіемъ *ресорныхъ вѣсовъ* (фиг. 285). Онъ ^{Фиг. 285.} состоитъ изъ пустаго цилиндра, внутри котораго находится свернутая спиралью стальная пружина. По направленію оси цилиндра проходитъ стержень, о нижній конецъ котораго опирается пружина; къ верхнему концу стержня придѣлано кольцо, служащее для привѣшиванія цилиндра. Если повѣсить фунтовую гирию, или кусокъ какого нибудь тѣла, давленіе которой соотвѣтствуетъ давленію фунтовой гири на крючекъ, укрѣпленный къ нижней части цилиндра, то притяженіе земли на привѣшенное тѣло, противодѣйствуя упругости пружины, заставитъ ее вытянуться на извѣстное число дѣленій, проведенныхъ заранее на стержнѣ. Если привѣсить тѣже самыя тѣла къ цилиндру, помѣщенному на вершинѣ горы, то найдемъ, что пружина вытянется на меньшее число дѣленій противу того, которое она показывала для тѣхъ же тѣлъ у поверхности моря, что и должно было ожидать, потому что сила притяженія уменьшается съ удаленіемъ отъ поверхности земли, тогда какъ сила упругости остается неизмѣнною.

Подобнаго устройства приборъ могъ бы служить для опредѣленія абсолютнаго вѣса, но какъ показанія этого прибора только приблизительно вѣрны, потому что намъ не извѣстны еще законы, по которымъ происходитъ измѣненіе упругости отъ вліянія температуры, и какъ обыкновенно встрѣчается надобность въ опредѣленіи вѣса

тѣлъ только на одномъ мѣстѣ земли или на мѣстахъ, удаленіе которыхъ отъ поверхности моря не обнаруживаетъ чувствительныхъ измѣненій въ силѣ притяженія земли, то обыкновенно довольствуются относительнымъ опредѣленіемъ вѣса.

Самое опредѣленіе вѣса *относительно* какойнибудь избранной единицы производится на слѣдующемъ основаніи. Давленія, производимыя двумя тѣлами, не позволяющими имъ приближаться къ центру земли, на основаніи сказаннаго нами, мы можемъ представить себѣ въ видѣ двухъ параллельныхъ равнодѣйствующихъ силъ, направленныхъ къ землѣ и приложенныхъ къ центрамъ тяжести сравниваемыхъ тѣлъ.

Чтобы судить о равенствѣ этихъ равнодѣйствующихъ силъ, намъ стоитъ только приложить ихъ къ концамъ равноплечаго рычага (Фиг. 286), подпертаго посрединѣ. Если силы, дѣйствующія на концы такого рычага, равны, то рычагъ будетъ находиться въ равновѣсіи, потому что въ этомъ случаѣ статическіе моменты силъ, т. е. произведенія изъ силъ на прилежащія плеча, будутъ одинаковы.



Слѣдовательно, желая знать, какое количество извѣстнаго тѣла давить на препятствіе, не позволяющее ему приближаться къ землѣ одинаковымъ образомъ съ массою, принятою за единицу, намъ должно привязать къ одной оконечности равноплечаго рычага единицу массы и потомъ привѣшивать къ оконечности другого плеча извѣстныя количества опредѣляемой массы до тѣхъ поръ, пока не возобновится равновѣсіе рычага.

На этомъ основано устройство большей части инструментовъ, употребляемыхъ какъ при ученыхъ изслѣдованіяхъ, такъ и въ обществѣ для сравненія давленій, производимыхъ массами тѣлъ, находящихся въ равномъ удаленіи отъ центра земли. Подобное сравненіе давленій называется *взвѣшиваніемъ*, а рычагъ, приспособленный къ этому сравненію, именуется *обыкновенными вѣсами*.

Обыкновенные
вѣсы.

§ 118. Обыкновенные вѣсы (Фиг. 287), употребляемые въ торговлѣ, состоятъ изъ равноплечаго рычага, называемаго *коромысломъ*.



Посрединѣ коромысла находится ось, лежащая на твердой подставѣ такимъ образомъ, чтобы коромысло могло свободно вращаться на точкахъ прикосновенія оси къ подставѣ. На оконечности коромысла привѣшиваются совершенно одинаковыя нити или прутья, которыя поддерживаютъ двѣ одинаковыя чашки, назначенныя для помѣщенія взвѣшиваемыхъ тѣлъ. Къ срединѣ коромысла противу точки его опоры придѣлывается наглухо отвѣсная стрѣлка. Стрѣлка эта при горизонтальности коромысла, приходится противу середины вертикальнаго прорѣза, нижняя часть котораго составляютъ подставку для оси. Если на одну изъ

чашекъ вѣсовъ положить какое нибудь тѣло, а на другую прикладывать тѣла, давленіе которыхъ принято за единицу, то по положенію стрѣлки относительно прорѣза, мы можемъ судить объ отношеніи давленій тѣлъ, обременяющихъ коромысло. Когда стрѣлка находится противу самой середины прорѣза, то значить, что давленія, дѣйствующія на концы коромысла равны между собою. Ясно, что при этомъ число положенныхъ гирь опредѣлитъ намъ массу, а слѣдовательно и вѣсъ тѣла, сравниваемого съ ними.

Вѣсы, основанные на равновѣсіи равноплечаго коромысла, играютъ важную роль при ученыхъ изслѣдованіяхъ, въ особенности при химическихъ опытахъ, гдѣ требуется часто знать самыя малыя разности вѣса. Мы покажемъ здѣсь, какія условія необходимы для того, чтобы вѣсы могли удовлетворять этой цѣли.

Чтобы упростить наше разсужденіе положимъ, что грузы привѣшены непосредственно къ самому коромыслу. Если оба груза, дѣйствующие по отвѣсному направленію на коромысло, равны, то очевидно, что направленіе равнодѣйствующей ихъ будетъ находиться въ той же плоскости, а точка приложенія ея совпадетъ со срединою линіи, соединяющей точки привѣса груза.

Для удержанія въ равновѣсіи этой равнодѣйствующей достаточно помѣстить по направленію ея точку опоры; слѣдовательно, для равновѣсія грузовъ, дѣйствующихъ на концы коромысла, необходимо, чтобы отвѣсная линія, проходящая чрезъ точку его опоры, служащую выѣстъ съ тѣмъ и точкою вращенія коромысла или осью его, дѣлила пополамъ линію, соединяющую точки привѣса грузовъ. Умственная линія, соединяющая ось съ точками приложенія грузовъ и составляетъ собственно равноплечій математическій рычагъ, служащій главнымъ основаніемъ вѣсовъ. Пѣрвое условіе для равновѣсія равноплечаго рычага, какъ мы уже знаемъ, заключается въ равенствѣ статическихъ моментовъ, дѣйствующихъ на него силъ.

Положимъ, что точка опоры коромысла совпадаетъ съ точкою приложенія равнодѣйствующей грузовъ. — Понятно, что при этомъ положеніи точка опоры при вращеніи коромысла будетъ сохранять одно и тоже положеніе относительно точекъ привѣса грузовъ; слѣдовательно, при каждомъ положеніи коромысла статическіе моменты грузовъ или произведенія изъ грузовъ на перпендикуляры, проведенные отъ точки опоры къ отвѣснымъ направленіямъ грузовъ, будутъ равны между собою. — Во все время вращенія коромысла равнодѣйствующая равныхъ грузовъ не будетъ сходить съ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку опоры.

Поэтому обращая вниманіе въ коромыслѣ только на линію, соединяющую точки приложенія грузовъ, мы вправѣ сказать, что линія эта должна сохранять равновѣсіе не только при горизонтальномъ, но и при каждомъ положеніи коромысла.

Если бы линія ab , соединяющая точки привѣса грузовъ, прикасалась къ плоскости опоры не одною, а нѣсколькими точками (фиг. 288), то очевидно, что вращеніе ея можетъ совершаться только на одной точкѣ. Положимъ, что линія эта вращалась на точкѣ c , приметь положеніе $a'b'$; ясно, что при этомъ измѣненіи въ ея положеніи нарушится равенство статическихъ моментовъ.



Слѣдовательно для математическаго равенства моментовъ необходимо, чтобы эта линія прикасалась только одною точкою къ плоскости опоры. Что мы сказали о линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ, то должно отнести очевидно и къ самому коромыслу, потому что всегда придемъ къ тому же результату, если представимъ себѣ разрѣзъ коромысла по направленію этой линіи.

Понятно, что при выведенномъ нами условіи точка, которою опирается коромысло, должна будетъ одна выносить все давленіе грузовъ, обременяющихъ его. Непосредственнымъ слѣдствіемъ подобнаго давленія было бы стираніе точки опоры, а слѣдовательно и постепенное увеличеніе точекъ прикосновенія между коромысломъ и плоскостію опоры. Поэтому мы должны распределить давленіе грузовъ на рядъ точекъ такимъ образомъ, чтобы это распределеніе не нарушало точнаго равенства плечъ рычага. Съ этого цѣлію придемъ

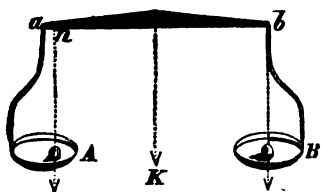
Фиг. 289. лывають къ коромыслу ось (фиг. 289), имѣющую форму трехсторонней призмы и обращаютъ эту ось острымъ ребромъ къ плоскости, служащей опорой коромысла. Такой формы ось весьма часто называютъ *ножемъ*. Чтобы равнодѣйствующая всѣхъ распределенныхъ такимъ образомъ давленій проходила чрезъ линію, соединяющую точки привѣса грузовъ, необходимо провести ось по обѣ стороны на равномъ удаленіи отъ этой линіи; а для того, чтобы коромысло имѣло возможность производить свои вращенія въ отвѣсной плоскости, проходящей чрезъ направленіе равнодѣйствующей грузовъ, обѣ части оси должны быть совершенно горизонтальны; т. е. отвѣсны какъ къ плоскости вертикальнаго разрѣза коромысла, такъ и къ той отвѣсной линіи, относительно которой мы опредѣляемъ горизонтальность его. По направленію этой отвѣсной линіи въ вѣсахъ, употребляемыхъ для точныхъ взвѣшиваній, устраниваютъ отвѣсную колонну, на которой покоится коромысло.



На основаніи показаннаго нами расположенія оси коромысла, мы должны разумѣть подъ точкою опоры собственно пересѣченіе нижняго ребра оси съ срединною линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ. Но какъ при указанномъ нами расположеніи оси отъ давленія грузовъ можетъ происходить стираніе линіи, служащей основаніемъ оси и ось можетъ чрезъ то измѣнять свое положеніе относительно точекъ привѣса грузовъ, то нарочно закругляютъ нѣсколько остріе призмы, наблюдая впрочемъ, чтобы это закругленіе, способствуя-

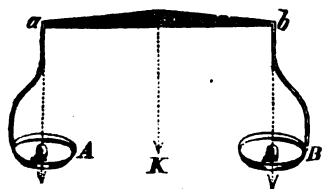
щее также удобнѣйшему вращенію, не превосходило извѣстнаго предѣла, могущаго имѣть чувствительное вліяніе на равенство плечъ коромысла. До сихъ поръ мы предполагали, что грузы прикрѣплены непосредственно къ двумъ неизмѣннымъ точкамъ коромысла, лежащимъ въ равномъ разстояніи отъ точки вращенія. Подобный способъ прикрѣпленія представлялъ бы неудобства при практическомъ употребленіи коромысла, а потому при взвѣшиваніи кладутъ сравниваемые тѣла на совершенно равныя чаши, соединенныя съ оконечностями коромысла посредствомъ одинаковыхъ прутьевъ. Разсмотримъ сперва тотъ случай, когда прутья были бы прикрѣплены на глухо къ коромыслу.

Если одинъ изъ грузовъ *B* (фиг. 290) лежитъ противу точки привѣса чашъ, а другой *A* нѣсколько въ сторонѣ отъ соотвѣтственной точки привѣса, то коромысло, невзирая на равенство плечъ и обременяющихъ его грузовъ, не можетъ находиться въ равновѣсіи, потому что перпендикуляры *ac* и *cb*, опущенные изъ точекъ вращенія на отвѣсныя направленія грузовъ *Ap* и *Bb*, а слѣдовательно и моменты этихъ одинаковыхъ грузовъ не равны между собою.

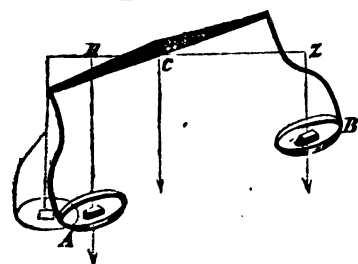


Для уничтоженія этого неудобства необходимо расположить грузъ *A* (фиг. 291) отвѣсно подъ точкою привѣса, такъ чтобы *ac* и *bc* были равны. Но и въ этомъ случаѣ моменты обременяющихъ коромысло грузовъ будутъ равны только при горизонтальномъ его положеніи. И въ самомъ дѣлѣ, выведя коромысло (фиг. 292) изъ горизонтальнаго направленія и проводя изъ точки вращенія перпендикуляры на отвѣсныя линіи, означающія направленія грузовъ, мы увидимъ, что перпендикуляры эти, а слѣдовательно и моменты самыхъ грузовъ, не будутъ равны между собою. Чтобы сдѣлать эти моменты равными, достаточно только доставить возможность грузамъ, при наклонномъ положеніи коромысла, расположиться отвѣсно противу тѣхъ точекъ его, на которыя они дѣйствуютъ посредствомъ прутьевъ, т. е. для этого нужно, чтобы прутья могли свободно вращаться на точкахъ своего соединенія съ коромысломъ. Чѣмъ свободнѣе будетъ это вращеніе, тѣмъ очевидно легче будетъ происходить отвѣсное совпаденіе грузовъ съ точками ихъ

Дѣйствіе тяжести.



Фиг. 292.



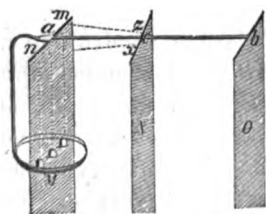
Дѣйствіе тяжести.

привѣса. Слѣдовательно необходимо, чтобы соединеніе коромысла съ прутьями, поддерживающими чаши, происходило посредствомъ вращенія. При достиженіи этой цѣли, грузы должны быть привѣшиваемы такимъ образомъ къ коромыслу, чтобы при всѣхъ возможныхъ положеніяхъ его, отвѣсныя направленія грузовъ могли постоянно приходиться противу однихъ и тѣхъ же мѣстъ, равно удаленныхъ отъ оси коромысла. Какимъ образомъ достигаютъ этого условія на практикѣ, мы опишемъ впослѣдствіи при подробномъ разсмотрѣніи вѣсовъ, употребляемыхъ для точныхъ взвѣшиваній.

Примѣняя къ точкамъ вращенія чашъ, условія показанныя нами для расположенія оси коромысла, мы увидимъ необходимость распределить также давленіе грузовъ чашъ на точкахъ ихъ привѣса. Весьма часто распределяютъ это давленіе на рядъ точекъ, служащій ребромъ трехсторонней призмы, т. е. устраниваютъ оси вращенія грузовъ точно также, какъ ось вращенія коромысла. Если призмы, на которыхъ висятъ чаши не параллельны оси коромысла, то моменты равныхъ грузовъ могутъ быть равны только въ томъ случаѣ, когда грузы расположены на чашахъ отвѣсно подъ пересѣченіемъ призмы съ линіею соединяющею точки привѣса.

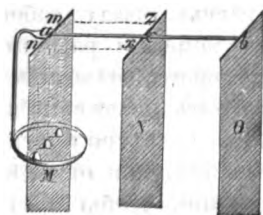
Положимъ теперь, что два груза (фиг. 293) расположены въ различныхъ удаленіяхъ отъ центра чаши, проходящаго отвѣсно подъ точкою пересѣченія призмы съ линіею соединяющею точки привѣса грузовъ. Какъ чаши вращаются на остріяхъ призмы, то очевидно, что грузы эти будутъ подведены подъ отвѣсную плоскость, проходящую чрезъ острія призмы, и отвѣсныя направленія грузовъ будутъ приходиться противу двухъ различныхъ точекъ острія. Если отвѣсныя плоскости, проходящія чрезъ острія боковыхъ призмы не параллельны къ отвѣсной плоскости, проходящей чрезъ ось вращенія коромысла, то очевидно, что разстоянія точекъ дѣйствія грузовъ на острія не будутъ находиться въ равномъ удаленіи отъ послѣдней плоскости; тогда

Фиг. 293.



какъ при параллельности этихъ трехъ плоскостей (фиг. 294), всѣ перпендикуляры опущенные изъ точекъ отвѣснаго дѣйствія грузовъ на отвѣсную плоскость, проходящую чрезъ ось коромысла, будутъ равны между собою. Слѣдовательно, чтобы сдѣлать моменты грузовъ независимыми отъ положенія ихъ на чашахъ, необходимо расположить оси вращенія грузовъ параллельно оси вращенія коромысла.

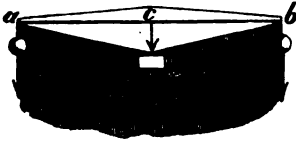
Фиг. 294.



Изъ сдѣланнаго нами разсмотрѣнія способовъ привѣса грузовъ слѣдуетъ, что точки привѣса грузовъ и точка вращенія коромысла,

должны всегда находиться въ одной отвѣсной плоскости (фиг. 295), въ которой происходитъ вращеніе коромысла.

Фиг. 295.



При этомъ понятно, что условія, выведенныя нами для коромысла, нисколько неизмѣняются отъ прибавленія къ каждому плечу его совершенно одинаковыхъ чашъ, потому что мы можемъ замѣнить давленія ихъ на концы коромысла, двумя равнодѣйствующими уничтожающимися въ точкахъ привѣса чашекъ.

Слѣдовательно на чашки мы можемъ смотрѣть, какъ на неразлучную часть коромысла.

Во всѣхъ разобранныхъ нами выше случаяхъ мы смотрѣли на коромысло, какъ на математическій равноплечій рычагъ.

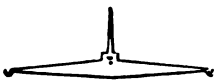
Само собою понятно, что для практическаго употребленія, рычагъ этотъ не можетъ быть математическою линіею, а долженъ состоять изъ такого сдѣленія матеріальныхъ точекъ, которое въ состояніи бы было дѣйствительно поддерживать связь между точкою опоры и оконечностями коромысла, на которыя дѣйствуютъ грузы. Подобное сдѣленіе матеріальныхъ точекъ ведетъ за собою непремѣнное существованіе центра тяжести.

Слѣдовательно равенство плечъ коромысла составляетъ необходимое условіе для его равновѣсія только тогда, когда центръ тяжести коромысла находится на одной отвѣсной линіи съ точкою привѣса. Если бы центръ тяжести находился въ сторонѣ отъ этой линіи, то ясно, что коромысло, невзирая на неравенство плечъ, будетъ оказывать перевѣсъ въ ту сторону, въ которой находится центръ тяжести.

Это положеніе центра тяжести въ отвѣсной плоскости, проходящей чрезъ точку вращенія, а слѣдовательно и чрезъ точки привѣса грузовъ, позволяетъ намъ, при разсмотрѣніи взаимнаго отношенія между этими точками, брать во вниманіе одинъ разрѣзъ коромысла, въ отвѣсной плоскости, проходящей чрезъ точку вращенія.

Чтобы найти на практикѣ положеніе центра тяжести въ небольшихъ ручныхъ вѣсахъ (фиг. 296), употребляемыхъ иногда въ общежитіи и при обыкновенныхъ химическихъ работахъ, поступаютъ слѣдующимъ образомъ: уравниваютъ коромысло съ укрепленнымъ на немъ указателемъ, широко сторо-

Фиг. 296.



ною на остріѣ вязальной иглы, до тѣхъ поръ, пока оно не установится; точка, противу которой придется игла, укажетъ намъ мѣсто расположенія центра тяжести внутри рычага.

Выполненіе двухъ приведенныхъ нами условій, т. е. равенства плечъ и расположенія центра тяжести и точки опоры въ одной отвѣсной линіи, позволяетъ вѣсамъ показывать *точно* равенство давленій двухъ сравниваемыхъ тѣлъ. Если вѣсы удовлетворяютъ этимъ условіямъ, то говорятъ, что они *верны*.

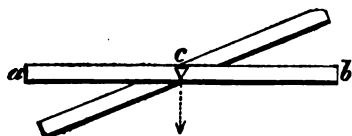
На практикѣ для испытанія вѣрности вѣсовъ, ставятъ ихъ на совершенно горизонтальную плоскость и смотрятъ по положенію стрѣлки, сохраняетъ ли коромысло горизонтальность. Но этого еще недостаточно, потому что и при неравенствѣ плечъ коромысло можетъ сохранять горизонтальность, если только центръ тяжести находится на сторонѣ короткаго плеча. Чтобы удостовѣриться, не погрѣшаютъ ли вѣсы въ этомъ отношеніи, — кладутъ какое нибудь тѣло на одну изъ чашекъ вѣсовъ и уравниваютъ его единицами вѣса на другой чашкѣ; послѣ того перекладываютъ тѣло и единицы вѣса съ одной чашки на другую, и если послѣ этого перекладыванія коромысло сохраняетъ равновѣсіе, то значить, что вѣсы вѣрны.

Но какъ раздѣленіе коромысла на двѣ совершенно равныя части бываетъ весьма затруднительно на практикѣ и какъ чрезвычайно трудно найти вѣсы, *съ точности* удовлетворяющія этому условію, то по крайней мѣрѣ должно знать, какъ велика ошибка въ самомъ раздѣленіи коромысла. Во многихъ случаяхъ должно довольствоваться тѣмъ, чтобы по перемѣщеніи чашъ, равновѣсіе возобновлялось послѣ приложенія $\frac{1}{1000}$ части опредѣляемаго вѣса. Въ этомъ случаѣ ошибка, происходящая отъ неравенства плечъ, не превышаетъ $\frac{1}{1000}$ части вѣса. Впрочемъ весьма легко опредѣлить точность раздѣленія коромысла до $\frac{1}{10000}$ части вѣса.

Чтобы сдѣлать взвѣшиваніе совершенно независимымъ отъ неравенства плечъ, употребляютъ способъ *двойнаго взвѣшиванія*, показанный Французскимъ физикомъ Бордою. Двойное взвѣшиваніе производятъ слѣдующимъ образомъ: помѣщаютъ на одну чашку испытуемое тѣло, а на другую кладутъ различныя небольшія тѣла до тѣхъ поръ, пока стрѣлка не приметъ совершенно отвѣснаго положенія. Послѣ того снимаютъ тѣло съ первой чашки и кладутъ вмѣсто него столько гирь, сколько нужно для новаго равновѣсія коромысла. Это послѣднее количество гирь и покажетъ намъ искомый вѣсъ тѣла, потому что оно, подобно взвѣшиваемому тѣлу, поддерживаетъ въ совершенномъ равновѣсіи равный ему грузъ на другой чашкѣ. Для знакомыхъ съ математикой это покажется еще болѣе очевиднымъ, когда они припомнятъ себѣ извѣстную аксіому: *два величина равныя третьей, равны между собою*.

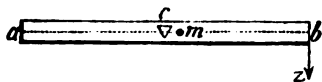
Но при расположеніи центра тяжести коромысла на одной отвѣсной линіи съ осью вращенія, можетъ встрѣтиться три случая. Во-первыхъ: *объ эти точки могутъ совпадать одна съ другою*.

Если ось совпадаетъ съ центромъ тяжести (фиг. 297), то въ ка-



кое бы положеніе мы не привели коромысло (въ горизонтальное или наклонное), оно будетъ постоянно сохранять равновѣсіе, потому что при каждомъ положеніи коромысла, центръ тяжести его будетъ находится на отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку вращенія. Если же къ одному

изъ плечъ коромысла, напр. къ правому (фиг. 298), будетъ привѣшенъ малѣйшій грузъ, то очевидно, что центръ тяжести не будетъ уже находиться на одной отвѣсной линіи съ точкою привѣса, а подвинется вправо отъ ней по линіи ab и займетъ какое либо мѣсто въ



Фиг. 299. точкѣ m . Какъ въ этомъ случаѣ стремленіе центра тяжести къ землѣ, не будетъ уничтожаться сопротивленіемъ точки привѣса, если эта точка не будетъ представлять значительнаго тренія, то очевидно, что онъ будетъ опускаться къ землѣ до тѣхъ поръ, пока не достигнетъ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку привѣса. При этомъ онъ увлечетъ за собою коромысло и приведетъ его изъ горизонтальнаго въ отвѣсное положеніе (фиг. 299). А мы знаемъ, что состояніе равновѣсія опредѣляется только горизонтальнымъ положеніемъ коромысла. Слѣдовательно, допущенное нами совпаденіе центра тяжести съ точкою вращенія должно быть избѣгаемо при дѣланіи вѣсовъ.

Разсмотримъ второй случай, если ось находится подъ центромъ тяжести (фиг. 300). Хотя въ этомъ случаѣ вѣсы будутъ сохранять

Фиг. 300.



равновѣсіе при горизонтальномъ положеніи коромысла, но это положеніе будетъ самое неустойчивое, потому что при малѣйшемъ толчкѣ, или при незначительномъ грузѣ, положенномъ на одну чашку, центръ тяжести тотчасъ сойдетъ съ отвѣсной линіи и будетъ опускаться къ землѣ до тѣхъ поръ, пока не займетъ самаго низкаго положенія на отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку вращенія. При этомъ движеніи центра тяжести, очевидно, коромысло будетъ опрокинuto; чего конечно нельзя допустить при практическомъ употребленіи вѣсовъ.

Разберемъ теперь третій случай, когда центръ тяжести находится подъ осью вращенія.

Положимъ, что ab (фиг. 301) представляетъ прямую линію, соединяющую точки привѣса чашъ, и что по срединѣ этой линіи находится ось вращенія коромысла k , центръ тяжести котораго лежитъ въ c . Выводя коромысло изъ горизонтальнаго положенія, мы отклонимъ въ то же время центръ тяжести отъ отвѣсной линіи. Ясно, что когда коромысло будетъ предоставлено самому себѣ, то центръ тяжести устремится къ занятію прежняго мѣста на отвѣсной линіи, совпадающей съ точкою вращенія. Достигнувъ этой линіи, центръ тяжести будетъ стремиться по инерціи къ продолженію начатаго имъ движенія, перейдетъ отвѣсную линію, подвинется до нѣвѣстной высоты и потомъ побуждаемый тяжестію



Часть I.

снова опустится книзу. Понятно, что центр тяжести продолжалъ бы постоянно двигаться такимъ образомъ по обѣ стороны отвѣсной линіи, если бы треніе на оси вращенія и сопротивленіе воздуха не уменьшали постепенно дугъ его движенія и не заставили его наконецъ остановиться на отвѣсной линіи. Слѣдую за этими движеніями центра тяжести, коромысло будетъ производить колебанія на точкѣ вращенія до тѣхъ поръ, пока не придетъ окончательно въ горизонтальное положеніе. Ясно, что положеніе это коромысло будетъ сохранять во все время нахождения центра тяжести на одной отвѣсной линіи съ точкою вращенія.

При взвѣшиваніи весьма важно, чтобы коромысло сохраняло *устойчивость*, не только при равномъ дѣйствіи плечъ на точку вращенія, но при болѣе или менѣе значительныхъ разностяхъ между этими дѣйствіями.

Положимъ, что къ одному изъ концовъ коромысла, которое вѣситъ 20 лотовъ, привѣшенъ небольшой грузъ, напримѣръ въ 2 лота (фиг. 302), ясно, что на точку вращенія с коромысла дѣйствуютъ

Фиг. 302.



теперь двѣ параллельныя силы: одна 20 лотовъ, приложенная къ центру тяжести a , а другая 2 лота, приложенная къ b . Какъ обѣ эти точки представляютъ собою центры тяжести грузовъ, обременяющихъ ось

вращенія, то общій центръ тяжести грузовъ, висящихъ на оси вращенія, будетъ находиться на линіи, соединяющей точки b и a въ какомъ либо мѣстѣ m . Какъ при горизонтальномъ положеніи коромысла точка m , представляющая общій центръ тяжести коромысла, не будетъ уже лежать отвѣсно подъ точкою вращенія c , то очевидно, что цѣлое коромысло будетъ вращаться на оси до тѣхъ поръ, пока не исполнится это условіе. И въ самомъ дѣлѣ, послѣ нѣсколькихъ качаній общій центръ тяжести долженъ будетъ установиться подъ точкою c . При этомъ очевидно плечо ac поднимется, а плечо bc опустится на столько, на сколько опустится линія cm , соединяющая ось c съ точкою m .

Уголъ, образуемый въ этомъ случаѣ коромысломъ съ горизонтальнымъ своимъ положеніемъ во время его равновѣсія, мы будемъ называть *угломъ отклоненія*. Изъ предыдущаго ясно, что этотъ уголъ равенъ mcs .

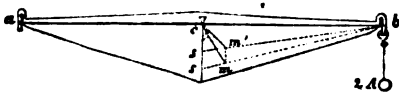
Изъ рассмотренныхъ нами трехъ случаевъ расположенія центра тяжести относительно оси вращенія слѣдуетъ, что для практическаго употребленія вѣсовъ центръ тяжести коромысла долженъ находиться *подъ точкою вращенія*. Только при подобномъ устройствѣ вѣсы могутъ сохранять *устойчивость*, составляющую одно изъ важнѣйшихъ условій при обыкновенномъ взвѣшиваніи. Припомнивъ условія устойчиваго равновѣсія, не трудно понять, что вѣсы будутъ тѣмъ устойчивѣе, чѣмъ ниже лежитъ центръ тяжести подъ точкою вращенія.

Но при ученыхъ изслѣдованіяхъ недостаточно одной устойчивости, Чув-
а необходимо также, чтобы вѣсы имѣли свойство обнаруживать какъ стая-
можно болѣе самыя малыя разности между давленіями, дѣйствующими, тель-
на ось вращенія коромысла, т. е. чтобы уголъ отклоненія ность.
коромысла давалъ возможность судить о самой незначительной раз-
ности между этими давленіями. Такое свойство вѣсовъ называется
чувствительностію.

Какъ ось вращенія коромысла должна покоиться на твердомъ тѣлѣ, доставляющемъ ей опору, то очевидно, что вращеніе коромысла будетъ тѣмъ свободнѣе, чѣмъ незначительнѣе *треніе*, обнаруживаемое при этомъ вращеніи. Для достиженія этой цѣли дѣлаютъ ось вращенія коромысла изъ хорошей стали. Точно также употребляютъ сталь и для плоскости, на которой покоится ось; но гораздо лучше, если плоскость эта состоитъ изъ болѣе твердаго тѣла, какъ напри- мѣръ, агата.

Кромѣ тренія на чувствительность вѣсовъ имѣетъ вліяніе и самая величина разстоянія, между точкою вращенія и центромъ тяжести.

Положимъ, что при неизмѣнности прочихъ обстоятельствъ, центръ тяжести коромысла подвинутъ ближе къ точкѣ вращенія. Опредѣляя точно также, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, положеніе точки *m* (Фиг. 303).



(Фиг. 303), представляющей общій центръ тяжести коромысла и груза, привѣшеннаго къ точкѣ *b*, мы найдемъ, что при поднятіи *z* должна будетъ подвинуться вмѣстѣ съ нею

отвѣсно кверху и точка *m*. Вслѣдствіе того точка *m* опишетъ очевидно большую дугу для достиженія своего до отвѣсной линіи, нежели въ томъ случаѣ, когда бы она была расположена ниже. А какъ отъ величины пройденной имъ дуги или отъ величины угла *msa* зависитъ и уголъ отклоненія коромысла, то очевидно, что чувствительность вѣсовъ будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ *менше разстояніе между центромъ тяжести коромысла и точкою его вращенія*.

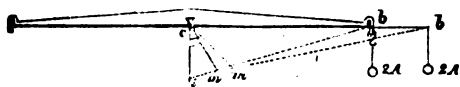
Это показываетъ намъ, что чѣмъ болѣе вѣсы дѣлаются чувствительными, тѣмъ менѣе они дѣлаются устойчивыми, т. е. что чувствительность и устойчивость представляютъ два противоположныя свойства.

Здѣсь должно замѣтить, что при слишкомъ близкомъ расположеніи центра тяжести подъ осью вращенія, качанія коромысла дѣлаются весьма медленными. Причина этого основана на законахъ качанія маятника (см. ниже). Поэтому, желая уменьшеніемъ разстоянія между осью вращенія и центромъ тяжести доставить большую чувствительность коромыслу, мы будемъ терять много времени при взвѣшиваніи.

Вмѣстѣ съ расположеніемъ центра тяжести на чувствительность вѣсовъ имѣетъ вліяніе и *длина коромысла*. И въ самомъ дѣлѣ, если не измѣняя прочихъ обстоятельствъ, мы увеличимъ длину коромысла, то очевидно, что въ томъ же самомъ отношеніи увеличится

и величина разстоянія sm (Фиг. 304); вслѣдствіе того точка m отодвинется далѣе отъ линіи sc по направленію параллельному kab .

Фиг. 304.

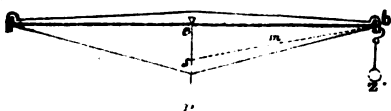


Поэтому линія sm дастъ уже большій уголъ съ sc , и точка m опишетъ большую дугу противу того случая, когда бы точка b оставалась на прежнемъ своемъ мѣстѣ. А мы уже знаемъ, что согласно увеличенію пути, описываемаго точкою m до достиженія отвѣсной линіи, долженъ увеличиваться и уголъ отклоненія коромысла.

На чувствительность вѣсовъ имѣетъ вліяніе также и *вѣсъ коромысла*.

Положимъ, что небольшой грузъ z привѣшенъ къ оконечности b (Фиг. 305) коромысла, вѣсъ котораго P сосредоточенъ въ центрѣ тяжести s . Если бы оба эти вѣса z и P , дѣйствующие на оконечности линіи sb , были равны, то очевидно, что

Фиг. 305.



точка приложенія ихъ равнодѣйствующей или общій центръ тяжести m грузовъ, обременяющихъ ось вращенія коромысла, пришелся бы посрединѣ линіи sb . Но какъ эти вѣса не равны, то на основаніи законовъ статическихъ моментовъ, точка m будетъ тѣмъ ближе къ b , чѣмъ менѣе величина вѣса приложеннаго къ s относительно величины вѣса, обременяющаго точку b . А чѣмъ болѣе точка m приближается къ b , тѣмъ очевидно долженъ быть значительнѣе и самый уголъ отклоненія коромысла.

Въ справедливости этого мы можемъ еще болѣе убѣдиться слѣдующимъ разсужденіемъ. Представимъ себѣ, что коромысло находится въ равновѣсіи. Положеніе это, какъ мы уже знаемъ, коромысло принимаетъ вслѣдствіе стремленія центра тяжести къ занятію самаго низкаго мѣста на отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку опоры. Если же привѣсить къ одному изъ концовъ коромысла небольшой грузъ, то очевидно, что онъ, противодействуя вѣсу сосредоточенному въ центрѣ тяжести коромысла, будетъ стремиться приводить его въ наклонное положеніе. Чѣмъ большее дѣйствіе оказываетъ вѣсъ коромысла на центръ тяжести, сравнительно съ дѣйствіемъ небольшого груза на оконечность коромысла, тѣмъ труднѣе привѣшенному грузу приводить коромысло въ наклонное положеніе.

Это показываетъ намъ, что *чувствительность вѣсовъ* будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ *легче вѣсъ коромысла*.

Какъ показаніе отклоненій коромысла отъ горизонтальнаго положенія, совершается посредствомъ прикрѣпленной къ нему иглы или указателя, то ясно, что качанія или дуги, описываемыя свободною оконечностію этого указателя, будутъ тѣмъ ощутительнѣе, чѣмъ значительнѣе длина указателя.

Понятно, что этотъ указатель можетъ быть обращенъ свободнымъ своимъ концомъ или книзу или кверху.

§ 119. Во всѣхъ разсмотрѣнныхъ нами случаяхъ мы предполагали, что только на одно плечо коромысла дѣйствуетъ грузъ, приводящій его въ наклонное положеніе. Какъ при взвѣшиваніи грузъ этотъ обыкновенно представляетъ собою разность грузовъ, обременяющихъ оба плеча коромысла, то и рассмотримъ, какое вліяніе оказываетъ величина грузовъ на равновѣсіе коромысла.

Зависимость груза отъ линии, соединяющей точки привѣса грузовъ.

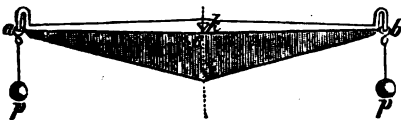
Положимъ, что коромысло подвержено параллельному дѣйствию двухъ равныхъ грузовъ. Понятно, что точка приложенія равнодѣйствующей ихъ будетъ находиться посрединѣ линіи, соединяющей точки приложенія грузовъ, т. е. будетъ находиться на отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку вращенія коромысла.

Но при этомъ могутъ встрѣтиться три случая: точка вращенія можетъ совпадать съ точкою приложенія равнодѣйствующей грузовъ, можетъ быть ниже и выше ея, или, говоря другими словами, линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, можетъ проходить чрезъ точку вращенія, быть ниже и выше ея.

Разсмотримъ первый случай, когда линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, совпадаетъ съ точкою вращенія коромысла.

Положимъ, что *ab* (фиг. 306) представляетъ линію, соединяющую точки привѣса грузовъ съ оконечностями коромысла, и что посрединѣ этой линіи въ точкѣ *c* находится ось вращенія коромысла, центръ тяжести котораго въ точкѣ *z*. Если къ *a* и *b* привѣшены равные грузы *p* и *p*, то мы можемъ представить себѣ, что одинъ изъ нихъ дѣйствуетъ на точку *a*, а другой на точку *b*.

Фиг. 306.



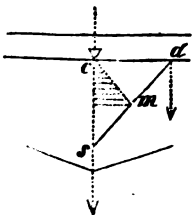
Слѣдовательно общій центръ тяжести, какъ коромысла, такъ и грузовъ, привѣшенныхъ къ оконечностямъ его, долженъ будетъ находиться на отвѣсной линіи, въ какой либо точкѣ между *c* и *z*. Если равнодѣйствующая грузовъ, приложенныхъ къ точкамъ *a* и *b*, равна вѣсу коромысла, приложенному къ точкѣ *c*, то общій центръ тяжести будетъ посрединѣ линіи *cs*. Точно также легко понять, чѣмъ болѣе будетъ равнодѣйствующая силъ, приложенныхъ къ *c* относительно силы, приложенной къ *z* или вѣсу коромысла, тѣмъ болѣе общій центръ тяжести будетъ приближаться къ точкѣ *c*.

Это показываетъ намъ, что по мѣрѣ увеличенія грузовъ, общій центръ тяжести долженъ постепенно подниматься выше по отвѣсной линіи, проходящей чрезъ ось вращенія.

Слѣдовательно при увеличеніи вѣса равныхъ грузовъ казалось бы, что чувствительность должна увеличиваться. Мы говоримъ— казалось, потому что въ этомъ случаѣ чувствительность вѣсовъ зависитъ отъ обстоятельства противоположнаго ей.

Въ справедливости этого обстоятельства мы можемъ также убѣдиться слѣдующимъ разсужденіемъ. Чѣмъ выше поднимается центръ тяжести *z* (фиг. 307) коромысла, тѣмъ очевидно ближе будетъ подвигаться къ точкѣ *c* общій центръ тяжести *m* грузовъ и коромысла въ томъ случаѣ, если послѣднее приведено въ наклонное положеніе какимъ либо перевѣшивающимъ грузомъ. Но чѣмъ ближе центръ тяжести *m* подвигается къ *c*, тѣмъ болѣе уменьшается моментъ его относительно точки *c*, потому что вмѣстѣ съ приближеніемъ *m*, будутъ уменьшаться перпендикуляры, опущенные на отвѣсную линію *cs*.

Фиг. 307.

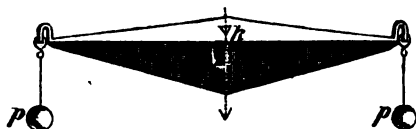


Всѣ равныя силы, дѣйствующія на концы коромысла, какъ мы уже говорили, сводятся въ одну равнодѣйствующую, точка приложенія которой находится посрединѣ линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ, и какъ точка эта,

въ разсматриваемомъ нами случаѣ, совпадаетъ съ точкою вращенія коромысла и дѣйствуетъ непосредственно на точку опоры его, то очевидно, что вмѣстѣ съ прибавленіемъ грузовъ, должно увеличиваться треніе на точкѣ вращенія, потому что послѣднее увеличивается вмѣстѣ съ вѣсомъ тѣла вращающагося на опорѣ. А это показываетъ намъ, что при совпаденіи линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ съ точкою опоры, чувствительность не зависитъ отъ измѣненія вѣса грузовъ, обременяющихъ коромысло.

Перейдемъ теперь къ рассмотренію того случая, когда линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, проходитъ ниже точки вращенія.

Если къ концамъ коромысла (фиг. 308) привѣшены равные грузы, то равнодѣйствующая ихъ, приложенная къ точкѣ с, будетъ стремиться приводить коромысло въ горизонтальное положеніе совокупно съ вѣсомъ послѣдняго, сосредоточеннымъ въ центрѣ тяжести его z. Какъ обѣ эти точки с и z лежатъ по одну сторону отъ точки привѣса, то незначительный грузъ, обременяющій



одинъ изъ концовъ коромысла, очевидно будетъ противоdѣйствовать общей равнодѣйствующей, точка приложенія которой находится въ общемъ центрѣ тяжести грузовъ и коромысла, гдѣ нибудь между точками с и z. Какъ общій центръ тяжести можетъ находиться только между этими точками, то ясно, что сколько бы мы не увеличивали вѣса грузовъ, никогда онъ не поднимется выше точки с. Вмѣстѣ съ тѣмъ понятно, чѣмъ болѣе мы будемъ прибавлять грузовъ, тѣмъ труднѣе незначительному грузу, дѣйствующему на одинъ изъ концовъ коромысла, нагибать послѣднее. Слѣдовательно, если линія соединяющая точки привѣса грузовъ, лежитъ ниже оси вращенія, то по мѣрѣ увеличенія грузовъ чувствительность будетъ уменьшаться.

Это уменьшеніе чувствительности будетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ ниже линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, лежитъ подъ осью вращенія. Въ справедливости этого мы можемъ убѣдиться слѣдующимъ разсужденіемъ. Для чувствительности вѣсовъ необходимо, чтобы центръ тяжести находился вблизи оси вращенія; слѣдовательно линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, при постепенномъ пониженіи своемъ, будетъ не только удалаться отъ оси вращенія, но и отъ центра тяжести коромысла, потому что послѣдняя точка остается неизмѣнною. А какъ съ увеличеніемъ грузовъ, общій центръ тяжести будетъ находиться вблизи этой линіи, то ясно, что пониженіе послѣдней повлечетъ за собою увеличеніе разстоянія, между общимъ центромъ тяжести и осью вращенія коромысла; а мы знаемъ, что съ увеличеніемъ этого разстоянія уменьшается чувствительность.

Уменьшеніе чувствительности вѣсовъ при пониженіи линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ, заставляетъ насъ обратить вниманіе на самое устройство коромысла. Мы говорили, что вѣсы будутъ тѣмъ чувствительнѣе, чѣмъ легче и чѣмъ длиннѣе коромысло. Если бы, увлекаясь послѣднимъ условіемъ, мы сдѣлали коромысло слишкомъ длиннымъ и легкимъ, то при увеличеніи грузовъ привѣшенныхъ къ его концамъ, оно можетъ изгибаться и чрезъ то линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, можетъ расположиться ниже оси вращенія. Для устроенія этого должно давать такое устройство коромыслу, чтобы, удовлетворяя легкости, оно было по возможности прочно. Этого достигаютъ на практикѣ различнымъ образомъ. Такъ напр. все внутреннее пространство между краями коромысла дѣлаютъ пустымъ, какъ это можно видѣть изъ фигуры, представляющей вѣсы Берцелиуса. Иногда же въ коромыслѣ дѣлаютъ нѣсколько вырѣзовъ. Въ настоящее время въ вѣсахъ, приготовляемыхъ лучшими художниками, коромысло дѣлается изъ латуни; желѣзо же не употребляется по причинѣ ржавчины принимаемой этимъ металломъ и вліянія, оказываемаго на него земнымъ магнетизмомъ.

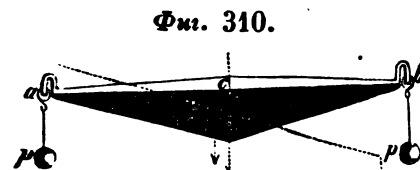
Поэтому вѣсы съ длиннымъ и легкимъ коромысломъ могутъ употребляться только для самыхъ незначительныхъ взвѣшиваній.

Разсмотримъ послѣдній случай, когда линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, лежитъ выше оси вращенія.

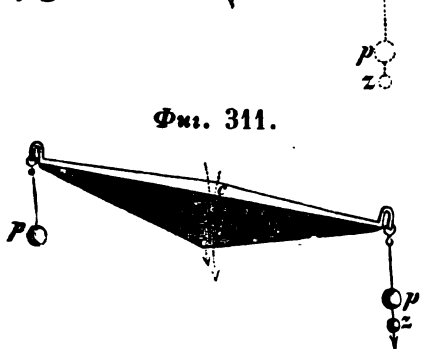
При равновѣсїи коромысла (Фиг. 309) точка приложенія равнодѣйствующей



Фиг. 309.



Фиг. 310.



Фиг. 311.

грузовъ, какъ мы уже знаемъ, должна проходить чрезъ средину с линіи ab . Положимъ, что отъ прибавленія незначительнаго груза къ концу b (Фиг. 310) коромысло приметъ наклонное положеніе. Ясно, что при этомъ точка приложенія равнодѣйствующей равныхъ грузовъ, будетъ двигаться въ ту сторону, въ которую нагибается конецъ коромысла b , а центръ тяжести z , въ противную сторону. Изъ одного разсмотрѣнія фигуры 311-й уже видно, что сила, приложенная къ точкѣ c , будетъ дѣйствовать за одно съ грузомъ z , нагибающимъ коромысло противу силы, приложенной къ его центру тяжести z . Значитъ, чѣмъ болѣе мы будемъ увеличивать силу, содѣйствующую грузу, который нагибаетъ коромысло, тѣмъ болѣе будетъ увеличиваться чувствительность вѣсовъ.

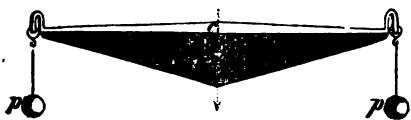
Прибавляя постепенно равные грузы къ концамъ коромысла, мы будемъ поднимать вмѣстѣ съ тѣмъ общій центръ тяжести. Если онъ поднимется до точки вращенія, то коромысло будетъ представлять случай безразличнаго равновѣсія.

Увеличивая далѣе грузы, мы можемъ поднять общій центръ тяжести выше точки опоры: въ этомъ случаѣ вѣсы потеряютъ устойчивость, т. е. при малѣйшемъ нарушеніи равновѣсія будутъ опрокидываться. Вѣсъ грузовъ, при которомъ общій центръ тяжести поднимается до линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ, называется *предѣломъ нагруженія*.

Изъ разсмотрѣнныхъ нами трехъ случаевъ видно, что для точныхъ взвѣшиваній могутъ быть употребляемы только тѣ вѣсы, у которыхъ линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, или *совпадаетъ* съ точкою вращенія или *лежитъ выше* ея.

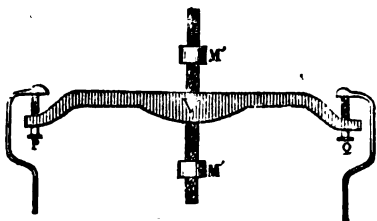
Но изъ этихъ двухъ случаевъ, первый представляетъ то удобство, что при немъ чувствительность не зависитъ отъ вѣса грузовъ, обременяющихъ коромысло. Обстоятельство это служитъ причиною, почему подобное расположеніе весьма часто употребляется при устройствѣ вѣсовъ. Относительно же достиженія болѣе чувствительности, имѣетъ преимущество послѣдній. И въ самомъ дѣлѣ, въ первомъ случаѣ увеличеніе чувствительности, достигаемое, при прибавленіи грузовъ, поднятіемъ общаго центра тяжести, болѣе или менѣе уравнивается треніемъ въ точкѣ вращенія. Ясно, что точка вращенія будетъ менѣе терпѣть отъ этого неудобства, когда съ увеличеніемъ грузовъ равнодѣйствующая ихъ не уничтожается сопротивленіемъ этой точки, а прямо содѣйствуетъ грузу, нагибающему коромысло. Но при послѣднемъ расположеніи оси вращенія, общій центръ тяжести, какъ мы видѣли, можетъ подниматься выше оси. Слѣдовательно такіе вѣсы позволяютъ взвѣшивать съ выгодою только грузы, недостигающіе предѣла нагруженія. Этотъ предѣлъ нагруженія опредѣляется слѣдующимъ образомъ.

Положимъ, что K (фиг. 312) есть вѣсъ коромысла, P наибольшее число груза, соответствующее (для каждого конца коромысла) предѣлу нагруженія, h' расстояние центра тяжести коромысла отъ оси вращения, а h высота линія, соединяющей точки привѣса грузовъ надъ осью вращения. На эту точку очевидно дѣйствуютъ двѣ силы: одна равнодѣйствующая грузамъ или $2P$, а другая — K . Какъ первая изъ нихъ дѣйствуетъ на точку c , а вторая — на точку s , то при равновѣсіи коромысла моменты силъ должны быть равны между собою, т. е. $2P \cdot h = K \cdot h'$; откуда $P = \frac{K \cdot h'}{2h}$.



Чтобы избѣгнуть во время опытовъ измѣненія чувствительности вѣсовъ, происходящаго вслѣдствіе болѣе или менѣе различнаго вѣса взвѣшиваемыхъ тѣлъ, кладутъ на одну изъ чашекъ гири, вѣсъ которыхъ приблизительно равенъ вѣсу послѣднихъ тѣлъ; послѣ того восстанавливаютъ равновѣсіе нагруженіемъ другой чашки пескомъ. Самое же взвѣшивание производятъ слѣдующимъ образомъ: кладутъ опредѣляемое тѣло на первую чашку и снимаютъ съ нее гири до тѣхъ поръ, пока не будетъ снова восстановлено равновѣсіе. Ясно, что снятыя гири покажутъ намъ, какъ и при двойномъ взвѣшиваніи, вѣсъ положеннаго тѣла. Самые же вѣсы, оставаясь всегда одинаково нагруженными, очевидно будутъ сохранять одну и ту же чувствительность, въ особенности, если мы будемъ производить незначительныя взвѣшиванія.

Фиг. 313.

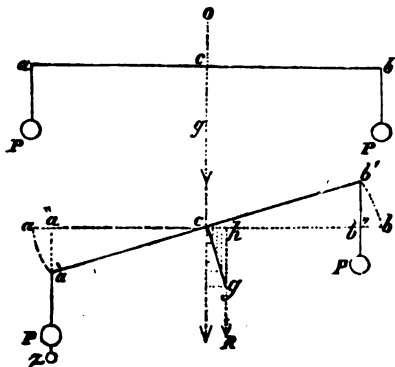


Все сказанное нами можетъ быть повѣрено посредствомъ прибора (фиг. 313), въ которомъ положеніе центра тяжести измѣняется посредствомъ двухъ противовѣсовъ M и M' , а высота точекъ привѣса при помощи винтовъ P и Q ; винты эти снабжены остріями, на которыхъ покоятся углубленія прутьевъ, поддерживающихъ чашки.

Матем. доказант. выводен. условій. § 120. Мы не считаемъ лишнимъ помѣстить здѣсь, для знакомыхъ съ математикою, формулы, относящіяся къ разсмотрѣннымъ нами случаямъ.

Мы знаемъ, что для практическаго употребленія, можетъ служить только то коромысло, центръ тяжести котораго ниже точки опоры.

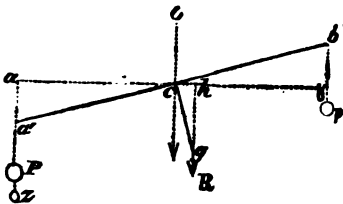
Чтобы показать, какое вліяніе оказываетъ на чувствительность вѣсовъ разстояніе этой точки отъ оси вращения, положимъ, что c (фиг. 314) есть ось вращения коромысла ab , что cg есть отвѣсное разстояніе центра тяжести g отъ оси вращения и что p есть вѣсъ груза, обременяющаго каждое плечо коромысла. Когда грузы, обременяющіе коромысло одинаковы, то при состояніи равновѣсія оно будетъ сохранять горизонтальное направленіе, потому что въ этомъ случаѣ статическіе моменты $ac \cdot P$ и $ab \cdot P$ равны и центръ тяжести лежитъ отвѣсно подъ точкою вращения. Положимъ, что къ одному концу привѣшенъ перевѣшивающій грузъ z , представляющій разность грузовъ. Въ этомъ случаѣ дѣйствуютъ въ отвѣсномъ направленіи по одну сторону отъ оси вращения силы P и z , а по другую только сила P . Какъ



силы, дѣйствующія съ двухъ сторонъ отъ оси вращенія, не равны, то ясно, что при горизонтальномъ положеніи коромысла, статическіе моменты ихъ не могутъ быть одинаковы. Вслѣдствіе того, коромысло будетъ вращаться на оси до тѣхъ поръ, пока статическіе моменты дѣйствующихъ на него силъ не сдѣлаются равными между собою. Какъ при этомъ центръ тяжести g отклонится отъ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку вращенія, то очевидно, что по одну сторону отъ этой линіи будутъ дѣйствовать силы P и x въ разстояніи $a''c$, а по другую P и R (вѣсъ коромысла) въ отвѣсномъ разстояніи $b''c$ и hc отъ оси. Поэтому коромысло придетъ въ равновѣсіе когда $(P+x)a''c = P.b''c + R.hc$. Какъ $a''c = b''c$, то мы можемъ выключить изъ общихъ частей уравненія равныя величины: $P.a''c$ и $P.b''c$, и для условія равновѣсія будемъ имѣть $x.a''c = R.ac$; откуда $x = R. \frac{hc}{a''c}$. Понятно, что величина x , т. е. груза, необходимаго для вывода коромысла изъ горизонтальнаго положенія, будетъ зависеть отъ увеличенія и уменьшенія величины $R. \frac{hc}{a''c}$. Последняя же величина будетъ тѣмъ незначительнѣе, чѣмъ менѣе числитель (hc) дроби. Величина hc , представляющая отвѣсное разстояніе центра тяжести отъ оси вращенія, будетъ очевидно зависеть отъ самой величины gc . Значитъ вѣсы будутъ способны обнаруживать отклоненіе тѣмъ для меньшаго перевѣса или, говоря другими словами, будутъ становиться тѣмъ чувствительнѣе, чѣмъ менѣе разстояніе центра тяжести отъ оси вращенія. Точно также легко видѣть, что величина $R. \frac{hc}{a''c}$ будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ незначительнѣе величина R (вѣсъ коромысла) и чѣмъ болѣе знаменатель дроби $a''c$ (длина плеча коромысла).

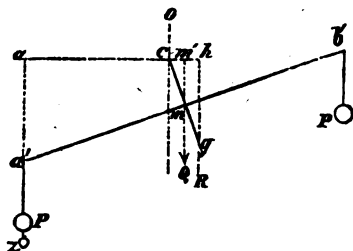
Покажемъ теперь зависимость чувствительности отъ различнаго расположенія линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ относительно оси вращенія.

Разберемъ сперва тотъ случай, когда эта линія проходитъ чрезъ ось. Положимъ, что ab (фиг. 315) представляетъ направленіе коромысла, ось вращенія котораго совпадаетъ съ линіею, соединяющею точки привѣса равныхъ грузовъ. Какъ равнодѣйствующая этихъ грузовъ уничтожается сопротивленіемъ точки вращенія, то значить, что горизонтальность коромысла обуславливается только отвѣснымъ расположеніемъ центра тяжести подъ осью вращенія. Допустимъ, что отъ незначительнаго груза, привѣшеннаго къ лѣвому концу коромысла, оно приняло положеніе $a'b'$. Въ этомъ случаѣ коромысло будетъ подвержено дѣйствію трехъ силъ: перевѣшивающагося груза x , вѣса коромысла R , сосредоточеннаго въ его центрѣ тяжести и наконецъ вѣса грузовъ Q , уничтожающагося сопротивленіемъ точки опоры. Какъ двѣ первыя силы дѣйствуютъ по обѣ стороны отъ оси вращенія c , то для равновѣсія коромысла въ положеніи $a'b'$ необходимо, чтобы моментъ $x.ac$ былъ равенъ $R.hc$, т. е. $x.ac = R.hc$. Какъ въ это уравненіе не входитъ величина Q , означающая вѣсъ груза, обременяющаго коромысло, то значить, что величина эта не имѣетъ вліянія на чувствительность. Слѣдовательно при совпаденіи оси вращенія коромысла съ линіею, соединяющею точки привѣса грузовъ, чувствительность не зависитъ отъ измѣненія величины послѣднихъ.



Положимъ, что линия, соединяющая точки привѣса грузовъ, лежитъ ниже оси вращенія c (фиг. 316). Какъ при этомъ равнодѣйствующая грузовъ, приложенная къ точкѣ m , не уничтожается сопротивленіемъ точки опоры и какъ она дѣйствуетъ въ одну сторону съ центромъ тяжести, противу перевѣшивающаго груза x , который находится по другую сторону оси вращенія, то при равновѣсіи коромысла въ положеніи $a'b'$ моментъ $x \cdot ac$ долженъ быть равенъ

Фиг. 316.



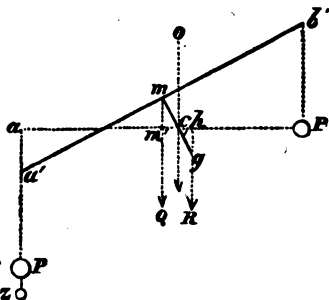
$$R \cdot hc + Q \cdot m'e, \text{ откуда } x = \frac{R \cdot hc + Q \cdot m'e}{ac}.$$

Понятно, что всѣ обстоятельства увеличивающія и уменьшающія величину дроби $\frac{R \cdot hc + Q \cdot m'e}{ac}$, влекутъ за собою уве-

личеніе и уменьшеніе величины x , а какъ увеличеніе дроби зависитъ отъ увеличенія числителя, то увеличивая величину Q (вѣсъ грузовъ обременяющихъ коромысло), при неизмѣнности прочихъ обстоятельствъ, мы будемъ въ тоже время увеличивать x . Слѣдовательно при увеличеніи вѣса грузовъ обременяющихъ коромысло, намъ должно увеличивать грузъ производящій перевѣсъ, а это показываетъ, что отъ прибавленія вѣса грузовъ обременяющихъ коромысло, чувствительность будетъ уменьшаться.

Если линия, соединяющая точки привѣса грузовъ, лежитъ выше оси вращенія коромысла (фиг. 317), то для равновѣсія его необходимо, чтобы вѣсъ перевѣшивающаго груза вмѣстѣ съ равнодѣйствующею грузовъ обременяющихъ концы коромысла, уравнивали вліяніе центра тяжести, стремящагося расположиться отвѣсно подъ осью вращенія, т. е. чтобы

Фиг. 317.



$$x \cdot ac + Q \cdot mc = R \cdot hc; \text{ откуда } x \cdot ac = R \cdot hc - Q \cdot mc \text{ или } x = \frac{R \cdot hc - Q \cdot mc}{ac}.$$

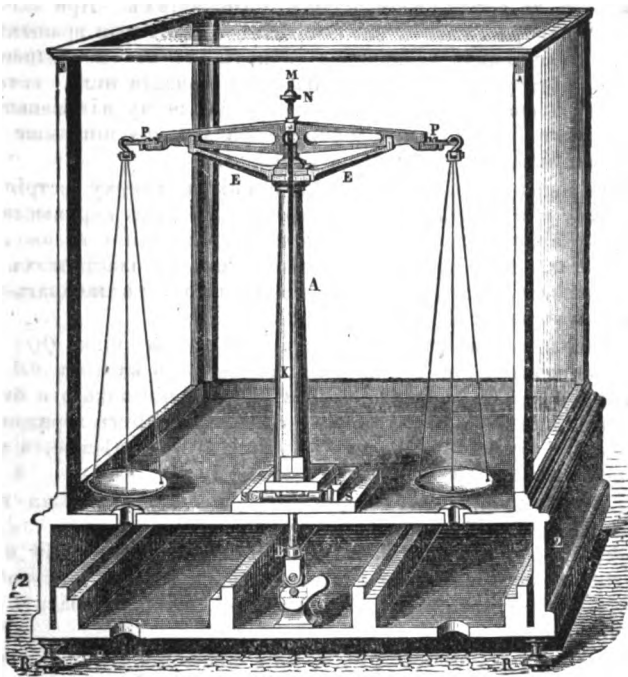
Примѣняя предыдущее разсужденіе къ этому уравненію, найдемъ, что съ увеличеніемъ Q будетъ уменьшаться величина разности между обоими членами числителя и это уменьшеніе будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока Q не увеличится

до того, что оба эти члена сдѣлаются равными. Это показываетъ намъ, что до этого предѣла будетъ постоянно возрастать чувствительность вѣсовъ. —

Когда $R \cdot hc = Q \cdot mc$, то $R \cdot hc - Q \cdot mc = 0$; слѣдовательно $x = \frac{0}{ac} = \infty$ (безконечности), т. е. что коромысло будетъ сохранять безразличное равновѣсіе. Если послѣ того увеличить Q самую незначительную величиною, то получимъ $Q \cdot m$ болѣе $R \cdot hc$; слѣдовательно для x получится тогда отрицательная величина, которая показываетъ намъ, что равновѣсіе сдѣлалось неустойчивымъ.

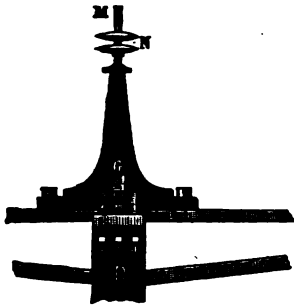
§ 121. Всѣ разсмотрѣнныя нами условія могутъ быть достигнуты на практикѣ различными образомъ. Мы опишемъ здѣсь нѣкоторые изъ устройствъ, наиболѣе удовлетворяющихъ строгому взвѣшиванію, употребляемому при физическихъ или химическихъ работахъ, которые требуютъ особенной точности.

На фигурѣ 318-й представлены вѣсы Фортена, усовершенствованные извѣст. Фиг. 318.



нымъ французскимъ механикомъ и оптикомъ Шевалье. Внутри бронзовой вертикальной колонны *A* находится стальной стержень; нижняя часть его *B* оканчивается вращающимся на оси колесомъ, которое прикасается къ эксцентрику *c*, назначенному для поднятія стержня. Въ верхней части стержня находится выступъ *D* (фиг. 319), служащій для опоры коромысла. Къ колоннѣ *A* укрѣплены два стальные выступа *EE*

Фиг. 319.



оканчивающіеся въ верхней части двумя вилками, на которыхъ лежитъ коромысло. Коромысло въ вѣсахъ Шевалье стальное; оно прикрѣплено къ вилкамъ посредствомъ пластинокъ, нажимаемыхъ винтами, въ центрѣ его находится стальная призма или ножъ *G* (фиг. 319), обращенный книзу нѣсколько притупленнымъ остриемъ. Ножъ этотъ покоится на агатовыхъ пластинкахъ, укрѣпленныхъ на верхнемъ выступѣ стержня *D* и приводимыхъ въ горизонтальное положеніе посредствомъ винтовъ *JJJ*. Непосредственно подъ ножомъ прикрѣплена къ коромыслу длинная игла *K*, нижній конецъ которой указываетъ величину отклоненія коромысла движеніемъ своимъ по раздѣленной на градусы дугѣ *L*, которая придрѣзана наглухо къ колоннѣ *A*. Надъ центромъ коромысла находится винтъ *M* съ гирей *N*, назначенной для перемѣщенія центра тяжести. Вѣсъ этой гири и длина винта рассчитаны такъ, чтобы при наивысшемъ положеніи гири центръ тяжести коромысла находился надъ оконечностію ножа, служащею точкою вращенія. Въ этомъ случаѣ коромысло будетъ находиться въ неустойчивомъ равновѣсіи, потому что коромысло постоянно качается то вправо, то влево и не приходитъ само собою въ состояніе равновѣсія. Съ опусканіемъ гири *N* будетъ опускаться въ тоже время и

центр тяжести; при совпадении послѣдняго съ точкою вращенія, коромысло будетъ сохранять безразличное равновѣсіе, потому что коромысло будетъ сохранять равновѣсіе во всѣхъ возможныхъ положеніяхъ. При дальнѣйшемъ опусканіи гири *N* центр тяжести расположится ниже точки вращенія и тогда коромысло будетъ сохранять устойчивое равновѣсіе: это послѣднее расположеніе центра тяжести узнается по правильности качаній иглы, которая сама собою приходитъ въ состояніе покоя. Судя по большому или меньшему удаленію центра тяжести отъ точки вращенія (при нахожденіи выше его) игла производитъ болѣе или менѣе быстрыя колебанія.

Точки привѣса чашъ находятся на обращенныхъ кверху остріяхъ двухъ стальныхъ призмъ, которыя помѣщены на оконечностяхъ коромысла. Призмы эти, какъ мы уже знаемъ, должны сохранять параллельное положеніе къ оси вращенія коромысла. Онѣ помѣщены въ подвижныхъ пластинкахъ *PP*. Посредствомъ небольшихъ винтовъ можно по произволу увеличивать и уменьшать длину плечъ коромысла.

Колонна *A* утверждена на верхней доскѣ небольшого ящика *QQ*; доска эта приводится въ горизонтальное положеніе посредствомъ винтовъ *RR*, составляющихъ ножки ящика, и небольшого уровня *ss*, значеніе котораго будетъ объяснено нами впослѣдствіи. Понятно, что съ доставленіемъ горизонтальности верхней доскѣ, мы будемъ приводить колонну *A* въ отвѣсное, а коромысло въ горизонтальное положеніе.

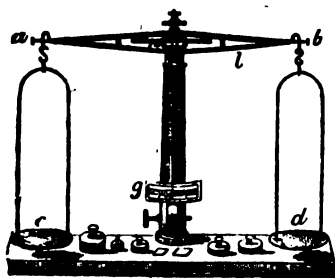
Къ эксцентрику *C* придѣлана квадратная дощечка, входящая въ вырѣзъ нижней части ящика *QQ*. Въ эту дощечку вкладывается ключъ, посредствомъ котораго поднимается и опускается выступъ *D*, поддерживающій коромысло. Черезъ это можно по произволу или оставлять коромысло на агатовой подставкѣ, или поддерживать его вилками *FF*, для того, чтобы избавить подставку отъ излишняго давленія.

Чтобы предохранить коромысло отъ вліянія движеній воздуха, производимыхъ наблюдателемъ при взвѣшиваніи, накрываютъ вѣсы стекляннымъ колпакомъ, имѣющимъ форму ящика, въ боковыхъ сторонахъ котораго устроены небольшія дверцы. Черезъ эти дверцы вносятся въ ящикъ тѣла, назначенныя для нагруженія чашъ.

Какъ воздухъ при обыкновенной температурѣ заключаетъ постоянно большее или меньшее количество водяныхъ паровъ, то внутри ящика помѣщаютъ вещества, поглощающія влагу изъ заключеннаго въ немъ воздуха, чрезъ что предохраняется отъ ржавчины какъ самое коромысло, такъ и призмы, служащія точками вращенія. Обстоятельство это важно потому, что призмы должны быть всегда отполированы и не могутъ быть покрыты лакомъ.

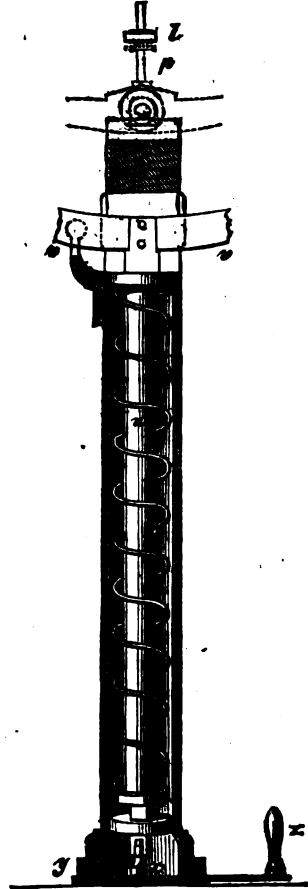
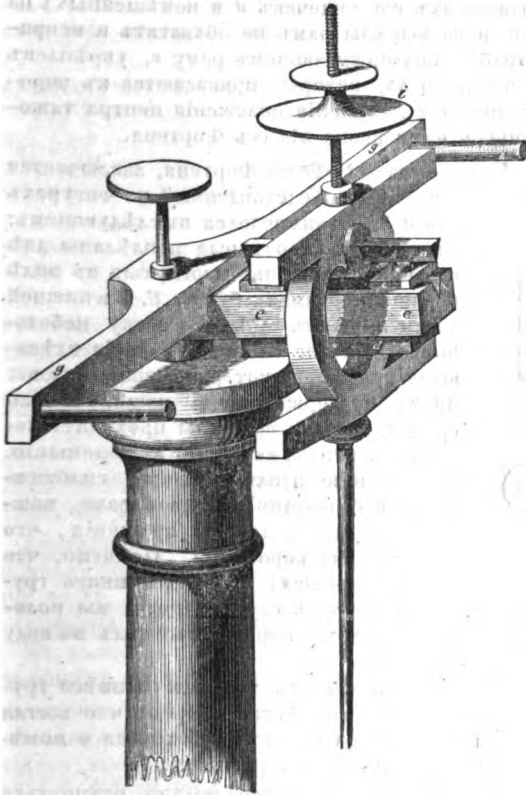
Какъ въ этихъ, такъ и въ другихъ вѣсахъ весьма важно, чтобы призмы, на которыхъ повѣшены чаши, прикасались постоянно одними и тѣми же точками къ крючьямъ, поддерживающимъ чаши, потому что въ противномъ случаѣ всегда можетъ произойти малое измѣненіе въ длинѣ плечъ коромысла. Для избѣжанія этого должно стараться, чтобы въ вѣсахъ Шевалье грузы по возможности были въ самомъ центрѣ чашъ.

Фиг. 320.



Неудобство это устранено въ вѣсахъ первоначально предложенныхъ Берцелиусомъ (фиг. 320 и 321). Мы опишемъ эти вѣсы съ тѣми измѣненіями, которыя приданы имъ въ настоящее время лучшими художниками. Чтобы лучше видѣть способъ прикрѣпленія коромысла, на фигурѣ 321-й представлена только средняя часть его, въ увеличенномъ размѣрѣ противу фигуры 320-й. По обѣ стороны коромысла проходитъ трехсторонняя стальная призма *a*, ось которой

перпендикулярна къ отвѣсной плоскости его. — Нѣсколько притупленное остріе этой призмы лежитъ на верхней поверхности двухъ небольшихъ агатовыхъ пластинокъ, изъ которыхъ одна находится спереди, а другая позади коромысла. Это расположеніе пластинокъ можно очень ясно представить себѣ изъ фиг. 321, гдѣ изображена только одна передняя пластинка *b*. Обѣ Фиг. 321. Фиг. 322.

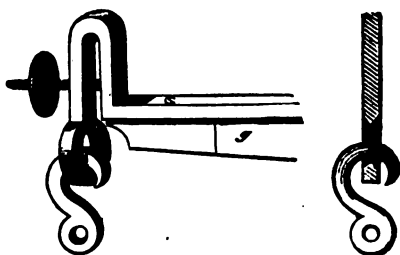


пластинки, поддерживающія ножъ коромысла, укрѣплены на двухъ четырехстороннихъ мѣдныхъ призмахъ *c*, составляющихъ одно цѣлое съ соединяющею ихъ горизонтальною дощечкою *d*. Для предупрежденія стиранія ножа во время бездѣйствія вѣсовъ, все мѣдное тѣло, поддерживающее агатовыя пластинки, обхватывается рамой *e*, которая снабжена двумя вырѣзами, лежащими отвѣсно подъ двумя концами трехсторонней стальной призмы *a*. Рама эта прикрѣплена къ стержню, проходящему внутри отвѣсной колонны, которая поддерживаетъ коромысло. Самый стержень можетъ быть поднимаемъ и опускаемъ посредствомъ различныхъ способовъ, изъ которыхъ мы укажемъ на слѣдующій, представленный на фигурѣ 322-й. Внутри отвѣсной колонны вѣсовъ находится подвижной мѣдный цилиндръ *u*, обвитый спиральной пружиной. Верхняя часть цилиндра соединена съ подпорками *v* и *v*, служащими для поддержанія вилкозъ; нижняя же часть цилиндра оканчивается небольшимъ колесомъ, покоящимся на наклонной плоскости *x*. Эта наклонная плоскость движется вокругъ центра *y*, посредствомъ рукоятки *z*. Рукоятка эта можетъ принимать два движенія: одно, при которомъ наклонная плоскость поднимаетъ

колесо и цилиндръ, и другое, при которомъ наклонная плоскость не поддерживается болѣе цилиндра; въ послѣднемъ случаѣ пружина способствуетъ массѣ цилиндра опускаться книзу; вслѣдствіе того опадаютъ соединенныя съ цилиндромъ подпорки *в* и *в'*, и ножъ коромысла опускается на подушки. При поднятіи стержня поднимается прикрѣпленная къ нему рама *е* (фиг. 321), и это поднятіе продолжаютъ до тѣхъ поръ, пока верхняя плоскость ея не будетъ выше верхней плоскости обхватываемыхъ ею дощечекъ *д* и помѣщенныхъ на нихъ агатовыхъ пластинокъ, т. е. пока вырѣзы рамы не обхватятъ и не приподнимутъ самый ножъ. На столбѣ, поддерживающемъ раму *е*, укрѣпленъ поперечный брусъ *г* съ двумя выступами *аа*, которые прикасаются къ коромыслу. Устройство гари *і*, служащее для измѣненія положенія центра тяжести, одинаково какъ и въ описанныхъ нами выше вѣсахъ Фортеня.

Главнѣйшее же отличіе вѣсовъ Берцелиуса отъ вѣсовъ Фортеня, заключается въ способѣ прикрѣпленія чашъ. Этотъ способъ, представленный на фигурахъ

Фиг. 323 и 324.



323 и 324, заключается въ слѣдующемъ: къ концамъ коромысла придѣланы двѣ стальные пружины, изогнутыя въ видѣ обращенной книзу буквы *U*. Въ нижней части пружинъ слѣданы сбоку небольшія отверстія. Въ эти отверстія вдвигаются крючья, къ которымъ прикрѣплены нити, поддерживающія чаши. Сквозь середину каждой пружины проходитъ небольшой винтъ, входящій въ коромысло. Съ помощью этихъ винтовъ, снабженныхъ небольшими противовѣсами, можно

измѣнять разстояніе между точкою привѣса и точкою вращенія, что позволяетъ дѣлать совершенно равными оба плеча коромысла. Повидно, что если это условіе выполнено при равновѣсіи коромысла, необремененнаго грузами, то равновѣсіе будетъ существовать и въ томъ случаѣ, когда мы положимъ на чаши равные грузы. Этимъ устройствомъ Берцелиусъ имѣлъ въ виду избѣжать медленности двойнаго взвѣшиванія.

Самый способъ прикрѣпленія крючьевъ, позволяетъ точкамъ привѣса грузовъ постоянно находиться на однихъ и тѣхъ же мѣстахъ. Чрезъ что всегда сохраняется равенство плечъ и нѣтъ никакой надобности заботиться о помѣщеніи грузовъ, по возможности ближе къ самому центру чашъ.

Но какъ при этомъ способѣ прикрѣпленія чашъ легко могутъ истираться точки прикосновенія крючьевъ съ отверстіями пружинъ, потому что весь вѣсъ коромысла и обременяющихъ его грузовъ, покоится на незначительномъ числѣ точекъ, то въ настоящее время употребляютъ два способа, изъ которыхъ одинъ придуманъ Госомъ, а другой — Эртлингомъ. Способъ Госа заключается въ слѣдующемъ.

Призмы, на которыя привѣшиваются чаши, составляютъ оконечности стальныхъ пластинокъ (фиг. 325 и 326), привинченныхъ къ нижней части мѣднаго

Фиг. 325.

Фиг. 326.



коромысла. Каждая призма, какъ показываетъ фигура 325, состоитъ собственно изъ двухъ частей, между которыми въ верхней части находится небольшой промежутокъ, постепенно ушнряющійся книзу. Крючья, покоющіеся на этихъ призмахъ, состоятъ изъ изогнутыхъ широкихъ пластинокъ, раздѣлен-

ныхъ со стороны обращенной къ оси вращенія коромысла на двѣ части тонкимъ металлическимъ листикомъ, который проходитъ посрединѣ прорѣза, раздѣляющаго обѣ части призмъ. На фиг. 326-й листокъ этотъ представленъ чернымъ кругомъ. Понятно, что съ помощію листика устраняется всякое движеніе крючка въ сторону.

Призмы приводятся въ надлежащее положеніе посредствомъ слѣдующаго способа.

При расположеніи призмъ возможны только двѣ ошибки: или призмы не параллельны къ ножу, или онѣ находятся въ различномъ разстояніи отъ точки вращенія коромысла.

Для исправленія первой ошибки придѣляется къ стальной пластинкѣ, на которой лежитъ призма, отвѣсный штифтикъ (фиг. 325), входящій въ соответственное углубленіе мѣдной части коромысла. Внутренность этого углубленія устраивается такимъ образомъ, чтобы между нею и штифтикомъ находилось свободное пространство. Если какая нибудь изъ призмъ не параллельна къ ножу, то отпускаютъ немного винтъ *о* (фиг. 326), прикрѣпляющій пластинку къ коромыслу, и вертятъ винтъ *р*, входящій въ массу коромысла и упирающійся въ самый штифтикъ до тѣхъ поръ, пока пластинка не повернется въ горизонтальной плоскости на столько, сколько необходимо, чтобы ось приняла надлежащее положеніе.

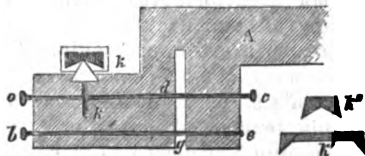
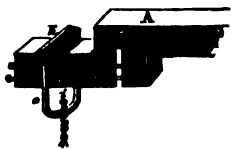
Для исправленія второй ошибки служить винтъ *п*. Онъ входитъ въ гайку, вырѣзанную въ нижней части коромысла. Нижняя же часть винта выступаетъ изъ коромысла и входитъ въ небольшое углубленіе привинченной къ коромыслу стальной пластинки, въ которой впрочемъ не находится вырѣзовъ. Если винтъ *о* отпущенъ немного, то вращая винтъ *п* можно стальную пластинку по произволу приближать къ оси коромысла или удалять отъ нее.

Берлинскій механикъ *Эртлихъ*, извѣстный по точности своихъ оптическихъ и механическихъ приборовъ, въ особенности вѣсовъ, устраиваетъ прикрѣпленія чашъ къ коромыслу болѣе упрощеннымъ способомъ, который въ этомъ отношеніи имѣетъ преимущество передъ способомъ Госа.

На оконечности мѣднаго коромысла устраивается стальная ось (фиг. 327), входящая своимъ основаніемъ въ вырѣзъ коромысла; ось эта утверждается

Фиг. 327.

Фиг. 328.



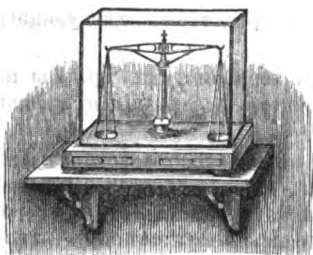
посредствомъ винта (фиг. 328), который связываетъ разрѣзъ, сдѣланный въ коромыслѣ подъ самую ось.

Для равнаго удаленія призмъ отъ точки вращенія, служатъ правый и лѣвый нижніе винты. На ось надѣвается шляпка; нижняя сторона этой шляпки, обращенная къ оси, состоитъ изъ пересѣченія агатовыхъ плоскостей образующихъ уголъ нѣсколько тупѣе противу самой оси, такъ что верхнее ребро оси лежитъ только на линіи пересѣченія двухъ боковыхъ агатовыхъ плоскостей. Всѣ агатовыя пластинки, образующія эти плоскости, вдѣланы въ мѣдную оправу, снабженную мѣднымъ стременемъ, къ которому прикрѣпляются чашки.

При выборѣ вѣсовъ для точныхъ взвѣшиваній обыкновенно довольствуются тѣмъ, чтобы при нагруженіи каждой чашки килограммомъ, коромысло приходило бы въ колебаніе отъ одного миллиграмма, приложеннаго на одну изъ чашекъ.

Вѣсы, употребляемые для точныхъ взвѣшиваній, должны быть предохраняемы отъ сотрясенія во время опредѣленія вѣса и потому обыкновенно ставятъ ихъ на горизонтальной доскѣ, утвержденной въ неподвижной вертикальной стѣнѣ посредствомъ подпорокъ (фиг. 329).

Фиг. 329.



Передъ самымъ взвѣшиваніемъ открываютъ боковыя дверцы, запирающія ящикъ сбоку; опускаютъ вилки; съ помощію нижнихъ винтовъ и уровня приводятъ указатель къ нулю дѣленій; послѣ того поднимаютъ вилки и помещаютъ взвѣшиваемые предметы на одну, а гири на другую чашку. Если послѣ того опустить вилки, то коромысло начнетъ качаться и достаточно тогда снять или прибавить нѣсколько гирь для того, чтобы указатель остановился на нулѣ. Когда взвѣшиваніе окончено, то прежде снятія грузовъ поднимаютъ вилки.

Если вѣсы очень чувствительны, то указатель приходитъ къ нулю только послѣ продолжительныхъ качаній. Поэтому во многихъ случаяхъ вмѣсто того, чтобы выжидать окончанія движеній указателя, гораздо выгоднѣе заблаговременно принять средину дуги его качаній за точку, въ которой онъ долженъ остановиться, а для большой точности должно брать средину не одной, но нѣсколькихъ дугъ. При этомъ не должно упускать изъ виду, что слѣдуетъ брать собственно средній результатъ при движеніи указателя между первымъ и вторымъ дѣленіями шкалы.

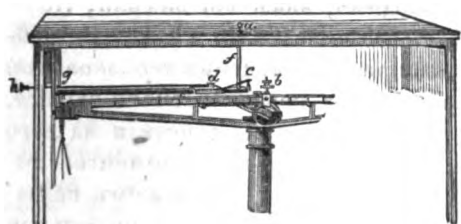
При точномъ взвѣшиваніи не должно брать гири непосредственно руками, потому что отъ того гири могутъ подвергаться различнымъ измѣненіямъ, имѣющимъ вліяніе на ихъ вѣсъ. Измѣненія эти заключаются въ окисленіи и переизмѣнѣ температуры. Вліяніе этихъ обстоятельствъ можетъ быть понятно только послѣ изученія химическихъ явленій и явленій теплоты.

При взвѣшиваніи тѣлъ, которыя отъ тренія принимаютъ электрическое состояніе, какъ напр. стеклянныхъ и фарфоровыхъ шаровъ и палочекъ, должно обращать вниманіе на это обстоятельство, потому что при этомъ въ натертыхъ тѣлахъ, лежащихъ подъ чашкою, развивается электричество противоположное тому, которое приняло взвѣшиваемое тѣло отъ тренія. Два противоположныя электричества, какъ мы увидимъ впоследствии, притягиваются другъ другомъ; въ настоящемъ же случаѣ, подвижность вѣсовъ способствуетъ обнаруженію этого притяженія. Для устраненія этого обстоятельства французскій физикъ Реньо совѣтуетъ вытирать стеклянные тѣла мокрыми тряпками и прежде взвѣшиванія давать имъ время хорошенько высохнуть. На это замѣчаніе должно обращать особенное вниманіе при химическихъ анализахъ и опредѣленіи удѣльнаго вѣса грузовъ.

Въ нѣкоторыхъ вѣсахъ, для избѣжанія прикладыванія самыхъ маленькихъ грузовъ, какъ напр. въ миллиграммъ, придаютъ вѣсамъ, по предложенію Берцелиуса, слѣдующее устройство. Для этого разстояніе отъ оси вращенія коромысла до какой нибудь одной изъ призмъ, на которыхъ покоятся крючья чашъ, раздѣляютъ на 10 равныхъ частей. Вмѣсто незначительныхъ гирь дѣлаютъ обыкновенно одинаковые съ ними по вѣсу крючки, которые можно удобно вѣшать верхомъ на ребро коромысла. Положимъ, что одна изъ такихъ гирь, вѣсящая ровно сантиграммъ, будетъ постепенно передвигаться по всѣмъ дѣленіямъ коромысла, начиная отъ оси его вращенія до одной изъ оконечностей. Очевидно, что гиря эта произведетъ тоже дѣйствіе какъ бы на чашу, привѣшенную къ оконечности коромысла,

положена была $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$, $\frac{3}{10}$ и т. д. сантиграмма, т. е. 1, 2, 3 и т. д. миллиграмма. Причину этого мы поймемъ легко, если припомнимъ себѣ законъ, что параллельныя силы, приложенныя къ неравноплечному рычагу, должны относиться между собою обратно пропорціонально ихъ плечамъ.

Для удобнѣйшаго накладыванія крючковъ на коромысло Эртлингъ придумалъ устройство, показанное на фиг. 330.



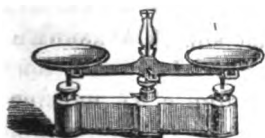
придумалъ устройство, показанное на фиг. 330-й. Для этого параллельно одному плечу коромысла, близъ задней стороны ящика, покрывающаго вѣсы, устроивается линейка. На этой линейкѣ находится шаръ, савозъ который проходитъ тоненькій стержень, передвигаемый по

длинѣ линейки рукою, прикасающагося къ оконечности стержня, которая выходитъ наружу изъ боковой стѣны ящика. Посредствомъ этого стержня приводится въ движеніе небольшой рычагъ, опускающійся и поднимающійся надъ различными точками плеча коромысла. При опусканіи онъ не прикасается собственно къ коромыслу, но только подводится небольшимъ выступомъ къ верхнему ушку крючка; когда ушко захвачено, поднимаютъ рычагъ при помощи шара лежащаго на линейкѣ и подводятъ крючекъ къ тому дѣленію, на которое желаютъ его опустить. По помѣщеніи крючка на дѣленіе, освобождаютъ изъ ушка крючка выступъ рычага и поднимаютъ послѣдній.

Одно изъ видовъ измѣненій обыкновенныхъ вѣсовъ съ коромысломъ, представляютъ такъ называемые горизонтальные вѣсы, изображенные на фигурахъ 331 и 332, изъ которыхъ послѣдняя представляетъ

Фиг. 331.

Фиг. 332.

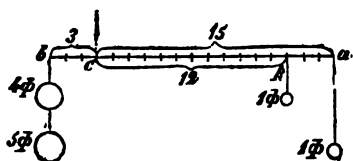


собственно внутреннюю ихъ часть. Основаніемъ ихъ служитъ также равноплечій рычагъ. На этомъ коромыслѣ лежатъ чашки, назначенныя для взвѣшиванія тѣлъ. Для доставленія этимъ чашкамъ движенія по отвѣсному направленію, придѣланъ къ коромыслу подвижной параллелограммъ $abcd$,двигающійся внутри основанія вѣсовъ. При этомъ подвижномъ расположеніи частей, находящихся подъ коромысломъ, все равно, гдѣ бы не находились взвѣшиваемыя тѣла на чашкахъ вѣсовъ: во всякомъ случаѣ давленіе обнаруживаемое ими книзу, будетъ сосредоточиваться на центральныхъ точкахъ чашъ, противу которыхъ происходитъ опусканіе частей параллелограмма ab и df . Горизонтальные вѣсы имѣютъ передъ обыкновенными два пре-

имущества: во-первыхъ, удобство помѣщенія тѣлъ на чаши и во-вторыхъ, возможность снятія чашки со взвѣшиваемымъ тѣломъ по окончаніи взвѣшиванія. Во Франціи при обыкновенномъ взвѣшиваніи небольшихъ грузовъ, повсемѣстно употребляютъ въ торговлѣ горизонтальные вѣсы.

До этихъ поръ мы разсматривали вѣсы, коромысло которыхъ основано на равновѣсіи *равноплечаго рычага*. Для взвѣшиванія извѣстнаго тѣла на этихъ вѣсахъ, необходимо, какъ мы видѣли, чтобы вѣсъ гирь всегда былъ равенъ вѣсу взвѣшиваемаго тѣла. Неудобство это устраняется при коромыслѣ представляющемъ *неравноплечій рычагъ*. Мы знаемъ изъ законовъ равновѣсія неравноплечаго рычага, что онъ можетъ находиться въ равновѣсіи при дѣйствіи на него различныхъ силъ, только тогда, когда дѣйствующие моменты послѣднихъ равны между собою. Вслѣдствіе того, мы можемъ незначительнымъ грузомъ поддерживать въ равновѣсіи гораздо большій грузъ, если только произведенія изъ грузовъ на соотвѣтственные разстоянія между точкою привѣса рычага и точками привѣса грузовъ, равны между собою.

Положимъ, что мы желаемъ поддерживать въ равновѣсіи на неравноплечемъ рычагѣ одинъ фунтъ четырехъ-фунтовымъ грузомъ,



приложеннымъ къ точкѣ *b* рычага *a* (фиг. 333). Ясно, что для этого должно передвигать однофунтовый грузъ по длинѣ рычага до точки *k*, при которой статическіе моменты обоихъ грузовъ равны между собою. Точно также, желая 1 фунтовую гирю урав-

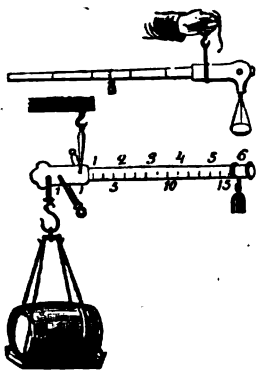
новѣсить 5-ти фунтовую, должно передвинуть первую до точки *a*. Однимъ словомъ, передвигая какуюнибудь опредѣленную гирю по длинѣ рычага, можно уравновѣшивать ею произвольнаго вѣса грузы, прикладываемые къ короткому плечу одного и того же рычага.

Положимъ, что рычагъ, обремененный на концѣ *b* какимъ либо грузомъ, приходитъ въ равновѣсіе въ томъ случаѣ, когда постоянная гиря остановилась на точкѣ *k*, лежащей отъ *c* въ четыре раза далѣе, противу точки *b*. Ясно, что въ этомъ случаѣ опредѣляемый грузъ долженъ быть въ четыре раза болѣе, противу постоянной подвижной гири. Если гиря равна 1 фунту, то грузъ долженъ быть равенъ 4 фунтамъ. Понятно, что при опредѣленіи вѣса того же самаго груза, посредствомъ постоянной гири другаго вѣса, разстояніе послѣдней отъ точки вращенія рычага будетъ уже другое, но всегда отношеніе между постоянною гирею и грузомъ будетъ выражаться обратнымъ отношеніемъ между линіями *ac* и *cb*, составляющими плечи рычага; такъ что *посредствомъ одной и той же гири могутъ быть опредѣляемы вѣса различныхъ грузовъ*.

Для производства подобнаго взвѣшиванія на самомъ дѣлѣ, нарѣзываютъ равныя дѣленія по всей длинѣ коромысла, представляющаго неравноплечій рычагъ. Нумера этихъ дѣленій слѣдуютъ по порядку,

начиная отъ точки привѣса рычага. Къ одному плечу послѣдняго прикрѣпляется висячая чашка, для помѣщенія взвѣшиваемыхъ тѣлъ, или крючекъ, которыми захватываются тѣла. Надъ осью вращенія придѣлана отвѣсная стрѣлка, которая при горизонтальности рычага должна приходиться внутри двухъ висячихъ прорѣзовъ, на нижней части которыхъ вращается рычагъ. Число, принимаемое постоянною подвижною гирею во время равновѣсія рычага, дастъ намъ опредѣляемый вѣсъ тѣла. Дѣленія при изготовленіи рычага опредѣляются практически, привѣшиваніемъ груза извѣстнаго вѣса къ короткому плечу и нахожденіемъ тѣхъ мѣстъ, которыя, при каждомъ изъ привѣшенныхъ грузовъ, занимаетъ постоянная гиря.

Примѣромъ описаннаго нами неравноплечаго рычага служатъ, такъ называемые римскіе вѣсы, т. е. бывшіе въ большомъ употребленіи у

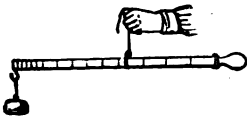


Фиг. 334 и 335. Римляне (фиг. 334). Вѣсы эти по своей простотѣ имѣютъ большое удобство, въ особенности, если отъ взвѣшиваній не требуется строгой точности, какъ это обыкновенно бываетъ при взвѣшиваніяхъ болѣе или менѣе значительныхъ грузовъ. Главнѣйшій недостатокъ этихъ вѣсовъ обыкновенно заключается въ томъ, что коромысло вмѣстѣ съ чашкою не сохраняетъ равновѣсія въ точкѣ привѣса по снятіи постоянной гири. Почти всегда длинное плечо перевѣшиваетъ короткое, такимъ образомъ, что началомъ дѣленій служитъ собственно не точка привѣса, но другая точка, ближайшая къ мѣсту привѣса чашъ. На фиг. 335-й представленъ родъ римскихъ вѣсовъ наи-

болѣе встрѣчаемыхъ нынѣ въ торговлѣ при большихъ взвѣшиваніяхъ. Вѣсы эти снабжены двумя стержнями, позволяющими измѣнять точку привѣса посредствомъ простаго оборота ихъ. Вслѣдствіе того, какъ на верхней, такъ и на нижней части ихъ означены дѣленія.

Въ общежитіи нерѣдко встрѣчается родъ вѣсовъ, состоящихъ изъ рычага съ подвижною точкою опоры (фиг. 336а).

Фиг. 336а.



На одномъ концѣ этихъ вѣсовъ находится постоянная гиря, а на другомъ крючекъ или привѣшенная чашка, на которую кладется испытуемое тѣло. Теорія этихъ вѣсовъ, называемыхъ кантаремъ или датскими, употребляемыхъ так-

же въ Россіи, можетъ быть легко объяснена на основаніи сказаннаго нами о римскихъ вѣсахъ.

Французскій безмѣнъ (фиг. 336б) есть рычагъ, одинъ конецъ котораго движется по дугѣ съ дѣленіями. Послѣдніе соотвѣтствуютъ вѣсу гири, положенныхъ на чашку, которая привязана на другомъ концѣ рычага, двигающагося на оси с. Такъ какъ при взвѣшиваніи этимъ безмѣномъ вмѣсто гири кладутъ на чашку испытуемыя тѣла, то его можно съ пользою упо-



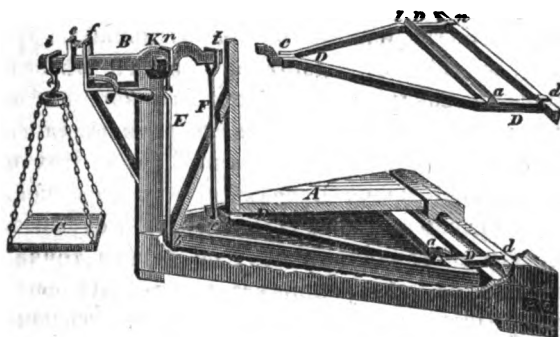
треблять въ томъ случаѣ, когда желаютъ опредѣ-

лить, безъ потери времени, вѣсъ многихъ предметовъ другъ послѣ друга, какъ это дѣлается на почтахъ съ письмами и въ приделахъ для сортировки пряжи. Въ послѣднемъ случаѣ, самую дугу безмѣна дѣлать по нумерамъ достоинства пряжи.

Всѣ описанные нами вѣсы удобны только для взвѣшиванія не очень объемистыхъ тѣлъ. При взвѣшиваніи же громоздскихъ вещей, необходимо давать имъ болѣе прочные размѣры и, сверхъ того, приспособлять ихъ къ удобнѣйшему помѣщенію тѣлъ на чашки вѣсовъ. Оба эти неудобства отстраняются въ такъ называемыхъ *децимальныхъ* или *мостовыхъ* вѣсахъ, изобрѣтенныхъ Ролле и Швильгомъ въ Стразбургѣ, и имѣющихъ большое примѣненіе при взвѣшиваніи пассажирскихъ тюковъ на желѣзныхъ дорогахъ.

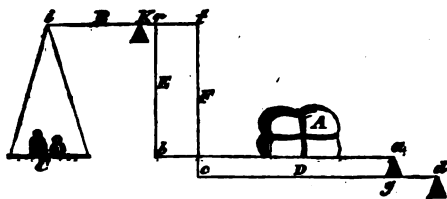
Устройство этихъ вѣсовъ, основанное на соединеніи нѣсколькихъ рычаговъ, представлено на фигурѣ 337-й. Въ

Фиг. 337 и 339.



верхней части этой фигуры представленъ рычагъ KI , вращающійся на точкѣ K ; къ одному изъ плечъ его привѣшена чаша C , на которую кладутся гири, а на другомъ концѣ висятъ два отвѣсные шеста E и F . Шесты эти соединяются своими концами b и c съ двумя горизонтальными платформами, представленными въ разрѣзѣ (фиг. 338)

линіями ba и cd , которыя вращаются на точкахъ a и d . На платформѣ A (фиг. 337), соответствующей линіи ba (фиг. 338), помѣщаются взвѣшиваемые грузы. Здѣсь должно замѣтить, что разстояніе gd относится къ cd , какъ Kr къ Kl . Положимъ, что



производитъ вращеніе на точкѣ K . Понятно, что тогда точка i поднимется, а точки r и t опустятся вмѣстѣ съ прикрепленными къ нимъ шестами. Если разстояніе Kr въ четыре раза меньше противу Kl , то ясно, что при движеніи линіи Kl точка r опишетъ въ четыре раза меньшій путь противу точки t . Какъ эти точки соединены съ точками b и c , то очевидно, что тоже самое отношеніе должно существовать и между соответственными движеніями послѣднихъ точекъ. Вслѣдствіе того точка c производитъ въ четыре раза большее движеніе противу точки g , потому что gd составляетъ четвертую

часть отъ ed . Значить точки b и g , а слѣдовательно и точки b и a , производить равной величины движенія, т. е. рычагъ ba съ положеннымъ на него грузомъ A , при вращеніи рычага iK , опускается книзу одинаковымъ образомъ съ точкою $г$. Поэтому грузъ, обременяющій рычагъ ba , долженъ дѣйствовать на точку вращенія K точно также, какъ бы онъ былъ привѣшенъ къ отвѣсному шесту E или, говоря другими словами, точно также, какъ бы онъ висѣлъ непосредственно на точкѣ $г$. Обстоятельство это даетъ уже намъ понять, что дѣйствіе груза нисколько не зависитъ отъ мѣста, занимаемого имъ на помостѣ ba . Движенія же точекъ $г$ и i относятся между собою какъ длины плечъ iK къ $Kг$. Слѣдовательно равновѣсіе между этими точками, обуславливающее равновѣсіе самаго рычага, будетъ существовать въ томъ случаѣ, когда вѣсы грузовъ чашки c и помоста ba , находятся въ обратномъ отношеніи къ плечамъ, на которыхъ они дѣйствуютъ. На этомъ основаніи, если $Kг$ составляетъ $\frac{1}{10}$ часть отъ Ki , какъ это дѣйствительно бываетъ въ *мостовыхъ вѣсахъ*, называемыхъ поэтому десятичными, то равновѣсіе коромысла будетъ существовать въ томъ случаѣ, когда гиря чашки C составляетъ $\frac{1}{10}$ часть отъ вѣса груза помоста ba .

Намъ остается еще доказать болѣе строгимъ образомъ, что отношеніе между вѣсомъ гири и груза нисколько не зависитъ отъ мѣста, занимаемого послѣднимъ на помостѣ ba . И въ самомъ дѣлѣ одна часть груза A (фиг. 338) давитъ на точку a , а другая дѣйствуетъ на точку b . Означивъ первое давленіе чрезъ q , а второе чрезъ p , мы получимъ $p+q=A$. Давленіе q , производимое на точку a , дѣйствуетъ на плечо gd рычага ed . Какъ ed въ четыре раза больше gd , то чтобы произвести одинаковое дѣйствіе на рычагъ ed , мы должны приложить къ точкѣ b , а слѣдовательно и къ $г$, силу въ четыре раза меньшую протѣй силы q , дѣйствующей на точку g . Давленіе q , дѣйствующее на точку g , будетъ въ тоже время дѣйствовать и на точку c , а поэтому и на точку t , съ силою въ четыре раза меньшею.

Значить на рычагъ iK , съ правой стороны точки опоры, дѣйствуютъ двѣ силы: одна p , приложенная къ точкѣ $г$, и другая $\frac{q}{4}$, приложенная къ точкѣ t . Но какъ Kt въ четыре раза больше $Kг$, то очевидно, что сила $\frac{q}{4}$, приложенная къ t , должна дѣйствовать точно также, какъ въ четыре раза большая сила, приложенная къ $г$, т. е. точно также, какъ еслибы къ $г$ былъ приложенъ грузъ $\frac{q}{4} \cdot 4 = q$. Обѣ силы, приложенныя къ точкамъ $г$ и t , дѣйствуютъ на рычагъ точно также, какъ бы къ точкѣ $г$ была приложена сила $p+q=A$.

На фиг. 339-й верхняя часть помоста, назначеннаго для помѣщенія груза, для большей ясности означена до половины обнаженною. Рычагъ, на которомъ лежитъ этотъ помостъ, представленъ особо на фиг. 230-й.

Скажемъ теперь нѣсколько словъ о самыхъ гирахъ, употребляемыхъ для взвѣшиванія.

При строгихъ взвѣшиваніяхъ необходимо обращать вниманіе на самую точность вѣса гирь. Для этого необходимо, чтобы гири были совершенно схожи съ образцами, или чтобы была опредѣлена въ точности разница между каждою гирею и условнымъ образцемъ. Мы укажемъ здѣсь на самый простой способъ соглашенія гирь съ соотвѣтственными имъ образцами. Гири обыкновенно бываютъ изъ чугуна, мѣди или платины и имѣютъ форму цилиндра, у котораго высота почти въ два раза болѣе основанія. Къ центру верхней поверхности каждой гири привинчивается шляпка, подъ которою внутри гири оставляется пустое мѣсто. Иногда въ нижнемъ основаніи гирь дѣлаютъ углубленія для

помѣщенія шляпокъ, что весьма важно при взвѣшиваніи, когда кладутъ одну гиру на другую.

Если находятъ, что гири вѣсятъ болѣе соотвѣтственныхъ образцовъ, то въ этомъ случаѣ подпиливаютъ ихъ до тѣхъ поръ, пока не сдѣлаютъ нѣсколько легче образцовъ; тогда опредѣляютъ съ точностію недостающій вѣсъ. Послѣ того берутъ самую тонкую серебрянную нить и опредѣляютъ вѣсъ ея по длинѣ отъ 3 до 4 футовъ. Чрезъ это можно знать, какая длина нити соотвѣтствуетъ недостающему вѣсу: эту длину нити отрѣзываютъ и помѣщаютъ въ пустомъ мѣстѣ подъ привинченной шляпкой гири.

Для избѣжанія погрѣшности прежде навинчиванія шляпки, нелишне сравнивать снова гири съ образцемъ.

§ 122. При показанномъ нами опредѣленіи вѣса *относительно* избранной единицы, мы не принимали во вниманіе объема тѣла.

Но какъ въ одномъ и томъ же объемѣ можетъ заключаться различное количество матеріи, то для сравненія массы двухъ тѣлъ, мы должны разсматривать объ массы относительно одинаковыхъ объемовъ. Слѣдовательно, принявъ одинъ какой либо объемъ за единицу, напр. кубическій футъ, и зная какое количество массы двухъ тѣлъ заключается въ этомъ единичномъ объемѣ, мы могли бы судить и объ самомъ отношеніи массъ.

Это количество матеріи всякаго тѣла, заключающееся въ единицѣ объема, называется, какъ мы уже сказали, *плотностію* тѣла.

Какъ на самомъ дѣлѣ нельзя опредѣлить ни для одного тѣла количества матеріи, то очевидно, что нельзя также знать и *абсолютной* или *истинной* плотности тѣла.

Намъ остается только судить объ *относительной* плотности, т. е. объ количествѣ матеріи, заключающейся въ известномъ объемѣ тѣла относительнаго другаго тѣла, взятаго въ томъ же объемѣ за единицу.

Какъ на опытѣ не производится опредѣленія абсолютной плотности, а принимается въ расчетъ одна относительная, то, употребляя выраженіе *плотность*, мы должны разумѣть подъ нимъ относительную плотность.

Плотности твердыхъ и жидкихъ тѣлъ обыкновенно сравниваютъ съ плотностію воды, потому что это тѣло представляется намъ, большею частію, въ одинаковомъ видѣ на различныхъ мѣстахъ земнаго шара и сверхъ того имѣетъ еще и то удобство, что можетъ быть легко взято въ одинаковомъ объемѣ съ тѣломъ, котораго плотность мы опредѣляемъ.

Слѣдовательно, когда говорятъ, что плотность цинка есть 7, то это значитъ, что при одинаковомъ объемѣ металлъ этотъ содержитъ въ 7 разъ болѣе матеріи противу воды.

Какимъ же образомъ приводится на самомъ дѣлѣ сравненіе между двумя различными количествами матеріи, заключающимися въ одинаковыхъ объемахъ?

Мы уже знаемъ, что вѣса тѣлъ пропорціональны количеству заключающейся въ нихъ матеріи. Поэтому, если одно тѣло при оди-

наковомъ объемѣ содержитъ въ два или въ три раза болѣе матеріи противу другаго тѣла, то и вѣсъ перваго долженъ быть въ два или въ три раза болѣе противу вѣса послѣдняго.

Слѣдовательно объ отношеніи плотностей мы можемъ судить по отношенію вѣса тѣлъ, взятыхъ въ одинаковыхъ объемахъ. Такимъ образомъ, желая знать плотность какого нибудь тѣла относительно плотности воды, намъ стоитъ только взять равные объемы этихъ тѣлъ: во сколько разъ вѣсъ извѣстнаго объема тѣла болѣе одинаковаго объема воды, во столько разъ очевидно и плотность его болѣе плотности воды.

Значить для полученія плотности тѣла, должно взять вѣсъ одинаковыхъ объемовъ опредѣляемаго тѣла и воды, и раздѣлить вѣсъ тѣла на вѣсъ воды. Частное покажетъ намъ плотность тѣла относительно воды, принятой за единицу.

§ 123. *Отношеніе вѣса всякаго тѣла къ вѣсу одинаковаго объема воды, принято называть удѣльнымъ вѣсомъ тѣла.* Удѣль-
ный вѣсъ. Вслѣдствіе ска-
заннаго нами понятно, что вѣсъ этотъ для каждаго тѣла долженъ быть выраженъ тѣмъ же самымъ числомъ, которое выражаетъ плотность его относительно воды. Это показываетъ, что плотность тѣлъ относительно воды и удѣльный вѣсъ ихъ, мы можемъ принимать за выраженія однозначущія. Поэтому опредѣленіе удѣльнаго вѣса каждаго тѣла, сводится собственно на опредѣленіе числа, которымъ выражается, въ какомъ отношеніи находится вѣсъ тѣла къ вѣсу равнаго объема дистиллированной воды. Слѣдовательно для отысканія удѣльнаго вѣса тѣла, должно опредѣлить въ равныхъ объемахъ вѣсъ тѣла и вѣсъ воды, и раздѣлить первый на второй.

§ 124. На практикѣ опредѣляютъ удѣльный вѣсъ или относитель-
ную плотность тѣлъ разными образами, изъ которыхъ мы укажемъ *Опредѣ-
леніе его.* здѣсь на слѣдующіе.

1) *Для твердыхъ тѣлъ.* Сперва опредѣляютъ вѣсъ тѣла посредствомъ двойнаго взвѣшиванія; потомъ ставятъ на одну изъ чашекъ вѣсовъ тѣло возлѣ стаканчика, котораго горло и стеклянная пробка отшлифованы такимъ образомъ, что позволяютъ плотно или, какъ обыкновенно говорятъ, герметически закупоривать его (фиг. 340).

Фиг. 340.

Стаканчикъ наполняютъ очищенной или дистиллированной водой, т. е. такой водой, которая съ помощію нагрѣванія и другихъ способовъ, освобождена отъ различныхъ примѣсей, заключающихся въ ней. По наполненіи водою стаканчикъ закупоривается пробкой. На другую чашку насыпаютъ свинцовыхъ зеренъ или дробин до тѣхъ поръ, пока не возстанетъ равновѣсіе вѣсовъ. Тогда снимаютъ стаканчикъ и погружаютъ въ наполняющую его воду тѣло, которое на основаніи непроницаемости матеріи вытѣснитъ изъ стаканчика извѣстное количество воды.



Послѣ того закупориваютъ стаканчикъ, наблюдая, чтобы въ стаканчикѣ не оставалось воздуха, вытираютъ его на сухо снаружи и вмѣстѣ съ погруженнымъ въ немъ тѣломъ ставятъ на ту чашку вѣсовъ, на которой онъ находился прежде. Какъ вмѣсто извѣстнаго объема вытѣсненной воды въ стаканчикѣ находится тотъ же самый объемъ другого тѣла, то очевидно, что равновѣсіе вѣсовъ должно нарушиться и вѣсъ того груза, который слѣдуетъ положить на чашку вѣсовъ возлѣ стаканчика, покажетъ намъ вѣсъ воды одинаковаго объема съ погруженнымъ тѣломъ.

Если тѣла растворяются въ водѣ, какъ напр. соль и др., то они не вытѣсняють равнаго имъ объема воды изъ стаканчика, въ который погружаютъ ихъ; слѣдовательно посредствомъ предъидущаго способа, мы не въ состояніи уже получать объема воды одинаковаго съ объемомъ погруженнаго тѣла. Тогда опредѣляютъ плотность тѣла относительно другой жидкости, нерастворяющей его, и потомъ сравниваютъ плотность жидкости съ перегнанной водою.

Положимъ, что при равномъ объемѣ P вѣсъ тѣла, P' — вѣсъ нерастворяющейся жидкости, а P'' — вѣсъ воды. Какъ удѣльный вѣсъ есть частное, происходящее отъ раздѣленія вѣса тѣла на вѣсъ равнаго объема жидкости, относительно которой мы опредѣляемъ удѣльный вѣсъ, то $\frac{P}{P'}$ будетъ удѣльный вѣсъ тѣла относительно нерастворяющей жидкости, а $\frac{P'}{P''}$ будетъ удѣльный вѣсъ нерастворяющей жидкости относительно воды. Перемноживъ эти дроби и выключивъ общую величину P' , мы получимъ дробь $\frac{P}{P''}$, которая представляетъ удѣльный вѣсъ тѣла относительно воды.

Если тѣло заключаетъ въ себѣ много поръ, какъ напр. нѣкоторые роды угля, то опредѣляютъ удѣльный вѣсъ или сохраняя кажущійся объемъ его, или освобождая его отъ поръ. Въ первомъ случаѣ взвѣшиваютъ сперва тѣло, потомъ покрываютъ его самымъ тонкимъ слоемъ воска, который закрываетъ поры снаружи, не измѣняя при томъ замѣтнымъ образомъ его объема. Тогда опредѣляютъ посредствомъ стаканчика вѣсъ равнаго ему по объему количества воды. Во второмъ случаѣ превращаютъ тѣло въ порошокъ и поступаютъ потомъ описаннымъ нами образомъ.

Опредѣленіе удѣльнаго вѣса твердыхъ тѣлъ и въ особенности тѣлъ, имѣющихъ порошкообразный видъ, очевидно можетъ быть произведено съ точностію только въ томъ случаѣ, если во время погруженія ихъ въ воду стаканчика мы удалимъ воздухъ, обыкновенно пристающій къ поверхности этихъ тѣлъ, потому что этотъ воздухъ самъ долженъ вытѣснить извѣстное количество воды, независимо отъ того, которое изгоняется тѣломъ. Для устраненія этого прибѣгаютъ къ пособію воздушнаго насоса или прибора, посредствомъ котораго, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, освобождаютъ всякое пространство отъ заключающагося въ немъ воздуха. Стаканчикъ вмѣстѣ съ водою и погруженнымъ въ нее тѣломъ ставятъ подъ стеклянный

колоколь, изъ котораго извлекають воздухъ. Частицы воздуха, находящіяся между частицами твердаго тѣла, вслѣдствіе упругости своей стремятся къ занятію того пространства подъ колоколомъ, которое освобождено отъ заключавшагося въ немъ воздуха. По удаленіи воздуха изъ поръ тѣла берутъ стаканчикъ изъ подъ колокола, пополняютъ водою то пространство, которое было занято прежде воздухомъ, находившимся между порами тѣла, ставятъ стаканчикъ на чашку вѣсовъ для опредѣленія вѣса воды, изгнанной тѣломъ. Того же самаго результата достигаютъ посредствомъ нагрѣванія воды, въ которую погружено тѣло. Теплота въ этомъ случаѣ расширяетъ воду, твердое тѣло и заключающійся между его частицами воздухъ. Но какъ газообразныя тѣла расширяются болѣе противу твердыхъ и жидкихъ, то поватно, что по расширеніи своемъ, воздухъ не можетъ уже помѣщаться въ томъ пространствѣ, въ которомъ онъ заключался до увеличенія своего объема. Обладая упругостію, онъ стремится по мѣрѣ своего расширенія къ постепенному занятію большаго пространства и освобождаетъ такимъ образомъ отъ своего присутствія какъ твердое тѣло, такъ и воду. Какъ жидкость отъ нагрѣванія приняла также болѣе объемъ, то ее охлаждають и по охлажденіи дополняютъ водою, какъ и въ предъидущемъ случаѣ, пространство, занимаемое прежде воздухомъ, закупориваютъ стаканчикъ и опредѣляютъ вѣсъ вытѣсненной воды. Способъ этотъ наиболѣе употребителенъ, потому что воздухъ пристаётъ сильно къ частицамъ твердаго тѣла и никогда не оставляетъ ихъ совершенно послѣ нахожденія тѣла подъ колоколомъ, изъ котораго извлеченъ воздухъ. Въ справедливости этого можно легко убѣдиться, подвергнувъ нагрѣванію стаканчикъ съ водою послѣ нахожденія его подъ колоколомъ насоса, мы увидимъ послѣ нагрѣванія, что объемъ воды уменьшится, а это значитъ, что нагрѣваніемъ изгнано изъ поръ тѣла извѣстное количество воздуха.

Какъ всѣ тѣла измѣняютъ свой объемъ вмѣстѣ съ переменною ихъ температуры и какъ твердыя тѣла при однихъ и тѣхъ же обстоятельствахъ расширяются менѣе противу жидкихъ, то очевидно, что удѣльный вѣсъ всякаго твердаго тѣла относительно воды, не остается постояннымъ при измѣненіи температуры и поэтому необходимо знать температуру, при которой получаютъ удѣльный вѣсъ всякаго тѣла. Обыкновенно (кромѣ случаевъ, о которыхъ всегда должно упоминать) твердое тѣло берутъ при температурѣ плавленія льда, а воду при температурѣ 4° Ц, потому что при этой температурѣ, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, вода имѣетъ наибольшую плотность.

Слѣдовательно удѣльный вѣсъ всякаго тѣла относительно воды, есть отношеніе вѣса тѣла къ вѣсу равнаго объема воды, при чемъ тѣло принимается при 0° , а вода при 4° Ц. Замѣчаніе это относится также и къ жидкимъ тѣламъ.

Если при опытахъ и не берутъ этихъ различныхъ температуръ, а производить опредѣленіе удѣльнаго вѣса при одной температурѣ, то

для удовлетворенія приведенному условію прибѣгаютъ къ помощи вычисленій, которыя будутъ показаны нами въ статьѣ о теплотѣ.

Мы ограничиваемся здѣсь приведенными способами опредѣленія удѣльнаго вѣса тѣлъ, потому что другіе приемы могутъ быть изложены въ послѣдствіи, когда мы ознакомимся ближе со свойствами жидкихъ тѣлъ.

2) *Для жидкихъ тѣлъ.* Наполняютъ небольшой стаканчикъ жидкостію, удѣльный вѣсъ которой желаютъ опредѣлить; закупориваютъ стаканчикъ; обтираютъ его и ставятъ на одну изъ чашекъ вѣсовъ, уравнивая другую чашку дробью. Послѣ того освобождаютъ отъ жидкости стаканчикъ, ставятъ снова на чашку и нагружаютъ ее гирями до тѣхъ поръ, пока не возстановится равновѣсіе вѣсовъ; такимъ образомъ получаютъ вѣсъ наполнявшей его жидкости. Точно также получаютъ вѣсъ равнаго объема воды. Получивъ такимъ образомъ вѣсъ одинаковыхъ объемовъ воды и опредѣляемой жидкости, намъ не трудно будетъ найти удѣльный вѣсъ послѣдней, раздѣливши вѣсъ жидкости на вѣсъ воды.

Часто для жидкостей употребляютъ стеклянный приборъ, представленный на фиг. 341. Горло этого прибора состоитъ изъ узкой продолговатой трубки, оканчивающейся уширеннымъ отверстіемъ, которое служитъ и воронкой.

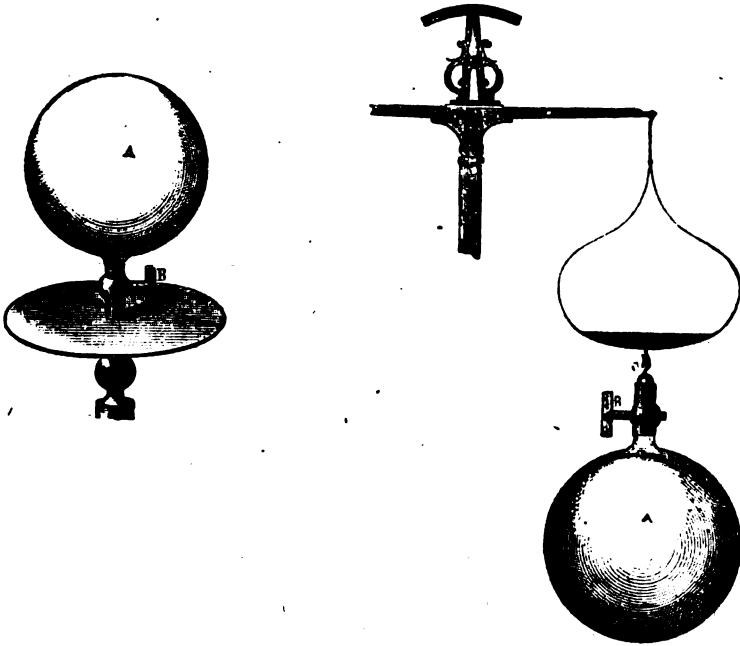
Фиг. 341.



На трубкѣ проведена снаружи черта, посредствомъ которой приводятъ къ равному объему жидкости, наполняющія приборъ. Чтобы этотъ объемъ былъ одинаковъ при обоихъ взвѣшиваніяхъ, производятъ послѣдовательное наполненіе прибора опредѣляемою жидкостію и водою въ особой банѣ, которой температура должна быть постоянна. При этомъ весьма выгодно, для сокращенія вычисленій, употреблять стаканчикъ, вмѣщающій въ себѣ ровно 1000 грановъ воды. Число грановъ, полученное отъ взвѣшиванія жидкости въ такомъ стаканчикѣ, показываетъ прямо относительный вѣсъ ея. Такъ напр. если спиртъ, наполняющій стаканчикъ, вѣситъ 791 гранъ, то относительный вѣсъ его $= \frac{791}{1000}$ или 0,791 гр.

3) *Для тѣлъ газообразныхъ.* Удѣльный вѣсъ газовъ, какъ мы уже говорили, опредѣляется относительно воздуха. Для полученія удѣльнаго вѣса газа, раздѣляютъ вѣсъ какогонибудь объема опредѣляемаго газа на вѣсъ равнаго объема воздуха. Опредѣленіе вѣса обоихъ газовъ производится одинаковымъ образомъ какъ и для жидкостей. Вся разница заключается въ различіи прибора, въ которомъ взвѣшиваютъ газы, и въ способѣ наполненія прибора. Въмѣсто стакан-

чика берутъ стеклянный шаръ А (фиг. 342а). Какъ вѣсъ воздуха
Фиг. 342а. Фиг. 342б.



значительно легче относительно твердыхъ тѣлъ, то чтобы обнаружить чувствительнѣе вѣсъ его, дѣлаютъ шаръ изъ тонкаго стекла и даютъ ему по возможности большій объемъ. Шаръ снабжается небольшимъ горломъ, къ которому придѣлана металлическая шейка, запирающаяся плотно посредствомъ поворота особеннаго устройства крана. Сперва взвѣшиваютъ шаръ наполненный воздухомъ, послѣ того извлекаютъ изъ него воздухъ посредствомъ воздушнаго насоса и взвѣсивъ пустой шаръ, получаютъ вѣсъ наполнявшаго его воздуха.

Подобнымъ же образомъ получаютъ въ томъ же объемѣ вѣсъ газа, сравниваемого съ воздухомъ. Имѣя въ виду показать въ общихъ чертахъ опредѣленіе удѣльнаго вѣса газовъ, мы даемъ здѣсь только понятіе о взвѣшиваніи ихъ и оставляемъ безъ вниманія тѣ частныя приемы и обстоятельства, которые должны быть соблюдаемы при подобномъ взвѣшиваніи. Обстоятельства эти будутъ нами развиты впоследствии послѣ изложенія законовъ, на которыхъ они основаны.

Чтобы найти удѣльный вѣсъ газовъ относительно воды, стоитъ только помножить удѣльный вѣсъ ихъ относительно воздуха на удѣльный вѣсъ воздуха относительно воды. Положимъ, что удѣльный вѣсъ какого нибудь газа въ два раза менѣе вѣса одинаковаго съ нимъ объема воздуха. Если этотъ объемъ воздуха вѣситъ въ два раза менѣе одинаковаго объема воды, то ясно, что вѣсъ перваго газа будетъ въ 2×2 или въ четыре раза легче воды.

Таблица удѣльнаго вѣса наиболѣе употребительныхъ тѣлъ приложена въ концѣ книги.

Покажемъ въ общихъ чертахъ отношеніе между *вѣсомъ*, *объемомъ* и *плотностію*.

Вѣсъ всякаго тѣла получается въ томъ случаѣ, когда извѣстны его объемъ и плотность относительно воды. Положимъ, мы имѣемъ объемъ воды, вмѣщающій V кубическихъ сантиметровъ; вѣсъ его будетъ V граммовъ, потому что каждый кубическій сантиметръ воды вѣситъ граммъ. Если взять тѣло въ D разъ большей плотности, то вѣсъ его увеличится въ D разъ и будетъ поэтому равенъ числу граммовъ, выраженному произведеніемъ VD . Слѣдовательно, назвавъ чрезъ P вѣсъ, мы будемъ имѣть $P = VD$. Значитъ, вѣсъ тѣла получается отъ умноженія его объема на плотность, при чемъ должно всегда приводить вѣсъ, объемъ и плотность къ ихъ соотвѣтственнымъ единицамъ. Плотность приводится всегда къ водѣ, объемъ къ кубическому сантиметру и какъ кубическій сантиметръ воды принято называть граммомъ, то при этомъ способѣ опредѣленія вѣса долженъ быть выраженъ въ граммахъ. При другой единицѣ плотности, очевидно, и самый вѣсъ тѣла выразится въ другой единицѣ.

Изъ уравненія $P = VD$, мы имѣемъ $V = \frac{P}{D}$, т. е. что объемъ тѣла равенъ вѣсу, раздѣленному на его плотность. Поэтому, зная плотность тѣла и опредѣливъ его вѣсъ посредствомъ взвѣшиванія, мы можемъ получить объемъ тѣла, въ которомъ частицы матеріи распределены равномерно.

Изъ уравненія $P = VD$, мы имѣемъ $V = \frac{P}{D}$, т. е. что плотность тѣла относительно воды равна его вѣсу, раздѣленному на его объемъ. Поэтому удѣльный вѣсъ всякаго тѣла, также какъ и его относительная плотность, есть отношеніе вѣса тѣла къ его объему или, говоря другими словами, вѣсъ единицы объема.

Чтобы найти уравненіе для абсолютной плотности, положимъ, что V есть объемъ тѣла, M количество заключающейся въ немъ матеріи или масса его, а D количество матеріи въ единицѣ объема или абсолютная плотность его; понятно, что для получения количества матеріи, заключающейся въ объемѣ V , должно помножить V на D ; откуда $M = VD$. Изъ этого уравненія мы имѣемъ $D = \frac{M}{V}$, т. е. что абсолютная плотность есть отношеніе массы къ объему.

Покажемъ теперь уравненіе для абсолютнаго вѣса. Говоря о вѣсѣ тѣлъ, мы доказали, что мѣрою P служитъ произведеніе Mg , въ которомъ M означаетъ массу, пропорціональную вѣсу его, а g напряженіе тяжести на опредѣленномъ мѣстѣ; т. е. $P = Mg$. Замѣнивъ M равною ему величиною VD , получимъ $P = VDg$ — полное выраженіе абсолютнаго вѣса. Для другаго тѣла, котораго вѣсъ, плотность и объемъ выражаются буквами P' , V' и D' , получимъ также $P' = V'D'g$. При $D = D'$ будемъ имѣть $P:P' = V:V'$, а при $P = P'$ получимъ $VD = V'D'$, откуда $V:V' = D':D'$. Изъ первой пропорціи мы можемъ заключить, что при равной плотности, вѣса пропорціональны объемамъ, а изъ второй — что при равномъ вѣсѣ объемы обратно пропорціональны плотностямъ.

Свободное паденіе тѣлъ.

§ 125. Тяжесть, какъ мы уже говорили, есть притяженіе между частіцами земли и частіцами отдѣльныхъ отъ ней тѣлъ. Равное
дѣйствіе
тяжести
на сво-
бодно
падаю-
ща тѣла

Какъ величина этого притяженія зависитъ отъ числа частицъ дѣйствующихъ другъ на друга и какъ массы всѣхъ тѣлъ, находящихся на земной поверхности можно принять за бесконечно малыя сравнительно съ массою всего земнаго шара, то и притягательная сила ихъ можетъ быть принята нами за бесконечно малую въ отношеніи къ притягательной силѣ земли. Вслѣдствіе того всѣ тѣла, поднятыя кверху и предоставленныя самимъ себѣ, должны падать снова на землю.

Наблюдая за движеніемъ различныхъ тѣлъ, падающихъ къ землѣ, не трудно замѣтить различіе скорости ихъ паденія. Такъ напр свинцовая пуля падаетъ очень быстро, а кусокъ бумаги весьма медленно. Причину этого явленія, извѣстнаго почти каждому, не должно полагать въ томъ, что бумага легче свинца. И въ самомъ дѣлѣ, та же самая свинцовая пуля, вытянутая посредствомъ молота въ тонкій листъ будетъ падать также медленно, какъ и обыкновенный листъ бумаги, не взирая на то, что при этомъ измѣненіи вида пуля нисколько не потеряла въ своемъ вѣсѣ; листъ же бумаги свернутый въ трубку упадетъ скорѣе нежели въ томъ случаѣ, когда онъ имѣетъ продолговатую форму. Паденіе листа будетъ еще быстрѣе, если мы свернемъ его въ небольшой комокъ имѣющій шарообразную форму. Понятно, что во всѣхъ этихъ случаяхъ вѣсъ бумаги остается одинъ и тотъ же; слѣдовательно нельзя допустить, чтобы различіе вѣса могло служить причиною различія замѣчаемаго нами въ скоростяхъ паденія тѣлъ.

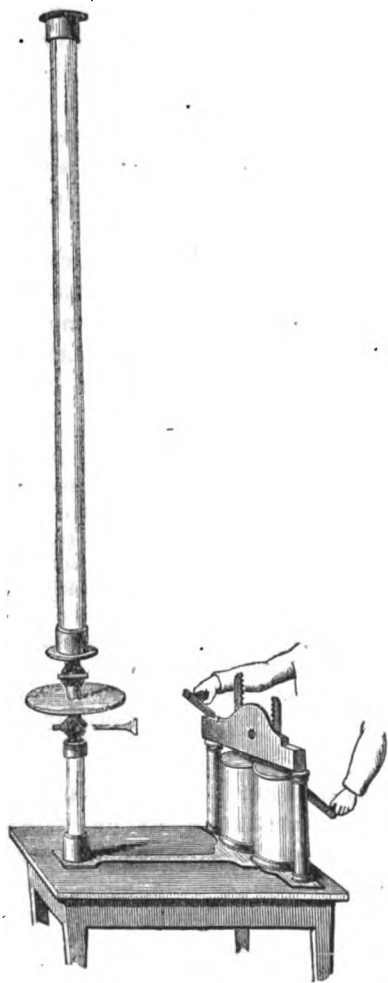
Справедливость этого заключенія можетъ быть также подтверждена слѣдующимъ рассужденіемъ. Притягательная сила земли дѣйствуетъ съ одинаково-ымъ напряженіемъ на каждую матеріальную частицу. Положимъ, что двѣ совершенно равныя частицы матеріи находятся въ одинаковомъ разстояніи надъ поверхностію земли. Понятно, что вслѣдствіе одинаковаго дѣйствія тяжести онѣ должны падать съ одинаковою скоростію. Точно также мы имѣемъ право заключить, что и тысяча отдѣльныхъ частицъ матеріи должны удовлетворять тому же самому условію. Условіе это конечно нисколько не измѣнится въ томъ случаѣ, если бы тысяча этихъ частицъ, вмѣсто раздѣленного расположенія въ пространствѣ, были соединены между собою какою нибудь связію, такъ наприм. если бы онѣ были сгруппированы силою сцѣпленія въ одну или нѣсколько отдѣльныхъ массъ.

Основываясь на этомъ, извѣстный итальянскій ученый Галилей, занимавшій въ концѣ XVI вѣка катедру математики въ пизскомъ университетѣ, первый опровергъ укоренившееся до него мнѣніе древнихъ, полагавшихъ, что скорость падающаго тѣла должна быть тѣмъ значительнѣе, чѣмъ болѣе его вѣсъ. Чтобы доказать опытомъ, что тяжесть дѣйствуетъ одинаково на всѣ тѣла, онъ сдѣлалъ нѣ-

сколько совершенно одинаковыхъ шариковъ изъ различныхъ веществъ—изъ золота, свинца, мѣди, порфира и воска и опустилъ ихъ одновременно съ вершины высокой колокольни въ Пизѣ. Оказалось, что всѣ они упали на землю въ одно время, кромѣ воскового шарика, замедленіе котораго было впрочемъ весьма незначительно въ сравненіи съ разностию вѣса его относительно другихъ шариковъ. Встрѣчаемое же нами различіе въ паденіи тѣлъ происходитъ отъ того, что всякое тѣло при паденіи должно раздвигать въ сторону частицы окружающаго его воздуха. Чѣмъ значительнѣе объемъ тѣла, тѣмъ очевидно и большій столбъ воздуха предстоитъ ему раздвигать при своемъ паденіи: всякому извѣстно, что свернутый зонтикъ падаетъ на землю скорѣе распушеннаго, хотя въ обоихъ этихъ случаяхъ вѣсъ зонтика остается одинъ и тотъ же.

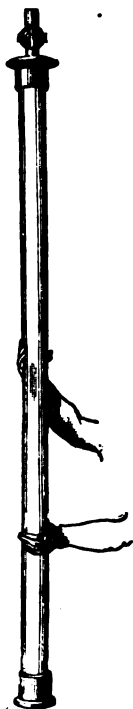
Поэтому, чтобы опредѣлить истинную скорость паденія тѣлъ, необходимо производить ихъ паденіе въ пространствѣ незаключающемъ воздуха. Для полученія такого пространства обыкновенно извлекаютъ изъ него воздухъ съ помощію воздушнаго насоса, описаніе котораго будетъ сдѣлано нами впоследствии. Самый же опытъ производятъ различными образами, изъ которыхъ мы укажемъ на слѣдующіе.

Фиг. 343.

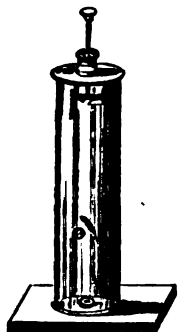


Фиг. 344.

Берутъ стеклянную трубку отъ 8-ми до 10-ти футовъ въ длину и около 3-хъ вершковъ въ поперечникъ; въ эту трубку помещаютъ различныя вещества, какъ напр. металлическія монеты, бумагу, пухъ и др., и посредствомъ насоса извлекаютъ изъ нея воздухъ (фиг. 343). Опрокидывая трубку такимъ образомъ, чтобы нижнее дно ея приходилось вверху и на оборотъ (фиг. 344), не трудно замѣтить, что болѣе плотнѣйшія тѣла будутъ падать гораздо скорѣе легчайшихъ. Но если навлечь изъ трубки воздухъ съ помощію воздушнаго насоса, то при опрокидываніи ея мы найдемъ, что всѣ различныя вещества будутъ падать одновременно кверху.



Фиг. 345.



Тотъ же самый опытъ производить въ физическихъ кабинетахъ съ помощію прибора, представленнаго на фиг. 345. Тѣла, опускаемыя книзу, кладутся въ этомъ приборѣ на небольшую дощечку, которая посредствомъ подвижнаго стержня, утвержденного въ верхней части прибора, опускается книзу и даетъ чрезъ то возможность тѣламъ начинать свое паденіе одновременно.

Изъ этихъ опытовъ слѣдуетъ, что если тяжесть дѣйствуетъ одна, безъ участія сопротивленія воздуха, то дѣйствіе ея совершается съ одинаковою силою на всѣ тѣла, не взирая ни на внутренній ихъ составъ, ни на физическія свойства.

Чтобы уничтожить всякое сомнѣніе на счетъ этого предмета, положимъ, что въ стеклянную трубку помѣщены равные по объему куски свинца и пробки. При равномъ объемѣ свинецъ вѣситъ почти въ тридцать разъ болѣе противу пробки, слѣдовательно массы этихъ веществъ будутъ относиться между собою какъ 30 къ 1, такъ что если въ кускѣ пробки заключается 100 частицъ матеріи, то въ кускѣ свинца должно заключаться ихъ 3000. Не взирая на это различіе массъ, оба эти тѣла должны падать съ одинаковою скоростію въ трубкѣ, изъ которой извлеченъ воздухъ. И въ самомъ дѣлѣ, земля дѣйствуетъ отдѣльно на каждую матеріальную частицу; слѣдовательно усиліе, производимое ею для притяженія этихъ двухъ тѣлъ, будетъ прямо пропорціонально числу заключающихся въ нихъ частицъ или, говоря другими словами, прямо пропорціонально ихъ массѣ. Поэтому напряженіе тяжести для перваго тѣла можетъ быть выражено числомъ 3000, а для втораго числомъ 100. Понятно, что дѣйствіе производимое обоими этими напряженіями будетъ одно и тоже, если первое изъ нихъ приложить къ тѣлу заключающему 3000, а второе къ тѣлу заключающему 100 частицъ матеріи. Значитъ свинецъ и пробка должны падать съ одинаковою скоростію, въ томъ случаѣ, если ничто не препятствуетъ ихъ паденію. Вслѣдствіе того они должны въ одинаковое время совершать путь, означаемый длиною трубки, изъ которой извлеченъ воздухъ.

Положимъ теперь, что воздухъ, наполняющій трубку, представляетъ сопротивленіе, способное уменьшить для каждого тѣла дѣйствіе тяжести на величину, которую мы выразимъ числомъ 50: пробка, притягиваемая напряженіемъ тяжести равнымъ 100, очевидно будетъ покоряться дѣйствію только половинной силы, между тѣмъ какъ свинецъ, притягиваемый напряженіемъ равнымъ 3000, потеряетъ только 60 часть, дѣйствующей на него силы. Понятно, что послѣднее тѣло будетъ менѣе замедлено въ своемъ паденіи и потому упадетъ скорѣе пробки.

Кто не имѣетъ въ своемъ распоряженіи воздушнаго насоса, тотъ можетъ убѣдиться въ томъ, что тѣла безъ сопротивленія воздуха должны

падать одновременно, посредствомъ слѣдующаго простаго опыта. Стоитъ взять металлическую монету: серебрянный рубль или три копейки серебромъ и положить на монету одинаковаго съ нею діаметра бумажный кружокъ; потомъ опускаютъ оба тѣла съ высоты пяти или шести футовъ. Черезъ это бумажный кружокъ, положенный на монету, будетъ непосредственно набавленъ отъ сопротивленія воздуха и мы увидимъ, что во все время паденія онъ не оставитъ монету и упадетъ книзу одновременно съ нею. Но противъ этого опыта можно сдѣлать одно замѣчаніе: при паденіи монеты постоянно образуется надъ верхнею частію ея пустота, занимаемая тотчасъ окружающимъ воздухомъ, давленіе котораго удерживаетъ бумагу въ прикосновеніи съ монетою.

Законъ
свобод-
наго па-
денія
и покр-
на нхъ.

§ 126. Какъ всѣ тѣла, не взирая на различіе ихъ массъ, падаютъ съ одинаковою скоростію, то необходимо опредѣлить величину общей скорости, соотвѣтствующей паденію всякаго, произвольно взятаго, тѣла и вмѣстѣ съ тѣмъ найти отношеніе между пространствомъ пройденнымъ падающимъ тѣломъ и временемъ, употребленнымъ имъ на прохожденіе этого пространства.

Представимъ себѣ, что съ какой нибудь высоты опущенъ камень и что непосредственно за первымъ моментомъ его паденія сила тяжести прекращаетъ свое дѣйствіе. Не взирая на это, камень будетъ продолжать свое паденіе вслѣдствіе перваго толчка, сообщеннаго ему тяжестью, а мы знаемъ, что тѣло, однажды приведенное въ движеніе стремится, по инерціи, къ сохраненію той скорости, которую оно имѣло въ моментъ прекращенія дѣйствія силы. Слѣдовательно въ предположенномъ нами случаѣ, камень долженъ бы двигаться со скоростію равномерною.

Но сдѣланное нами предположеніе не можетъ существовать на самомъ дѣлѣ. Нѣтъ никакой причины допустить, чтобы дѣйствіе тяжести совершалось только въ одинъ первый моментъ движенія; ясно, что сила эта дѣйствуетъ на тѣло во все время его паденія, сообщая ему, такъ сказать, въ каждое мгновеніе новые толчки, служащіе причиной постояннаго увеличенія скорости. Какъ дѣйствіе тяжести на незначительномъ разстояніи отъ земли, мы можемъ принять за величину постоянную, то очевидно, что всѣ эти толчки должны быть одинаковаго напряженія. Эти равные толчки, дѣйствуя послѣдовательно одинъ за другимъ, очевидно подкрѣпляютъ другъ друга и служатъ причиною того, что скорость падающаго тѣла должна быть *равноумѣренноускоренная*.

Исследуя равноумѣреннѣеускоренное движеніе, мы вывели слѣдующіе законы: во первыхъ, *конечныя скорости, приобретаемыя тѣлами, пропорціональны времени движенія*, во вторыхъ, *если раздѣлить продолженіе цѣлаго движенія на послѣдовательный рядъ равныхъ частицъ времени, 1, 2, 3, 4 и т. д. (напр. секундъ), то пространства, проходимыя въ каждую изъ этихъ слѣдующихъ другъ за другомъ, частицъ времени, будутъ относиться между собою какъ рядъ нечетныхъ*

чиселъ 1, 3, 5, 7 и д. т. Въ третьихъ, пространства, проходимыя тѣлами по прошествіи извѣстныхъ временъ, относятся между собою какъ квадраты временъ, употребленныхъ на движеніе.

Но для удостовѣренія въ томъ, что тяжесть производитъ въ дѣйствительности равноускоренное движеніе, намъ должно доказать на опытѣ, что свободное паденіе тѣлъ совершается по общимъ законамъ равноускореннаго движенія.

Желая повѣрить эти законы непосредственнымъ наблюденіемъ надъ паденіемъ тѣлъ, мы встрѣчаемъ слѣдующія затрудненія.

Подъ конечными скоростями, какъ мы уже говорили, должно разумѣть скорости, которыми обладаютъ тѣла по прекращеніи дѣйствія на нихъ силы, т. е. то число футовъ или дюймовъ или др. мѣры, которые проходятъ тѣла равномернымъ движеніемъ вслѣдствіе инерціи. Понятно, что повѣрка законовъ скоростей при обыкновенномъ паденіи могла быть произведена только въ томъ случаѣ, если бы мы въ состояніи были прекратить по произволу дѣйствіе тяжести въ тотъ моментъ, для котораго мы опредѣляемъ скорость, потому что только въ этомъ случаѣ тѣло могло бы производить послѣ этого момента равномерное движеніе, которымъ опредѣляется конечная скорость.

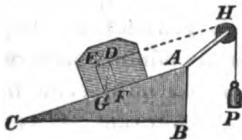
Другое неудобство мы должны встрѣтить при повѣркѣ закона опредѣляющаго отношеніе между пространствами, пройденными тѣломъ по прошествіи извѣстныхъ временъ. Положимъ, что этотъ законъ согласуется съ дѣйствіемъ тяжести и допустимъ, что тѣло, падаая секунду, проходитъ 16 футовъ (что впослѣдствіи будетъ нами доказано на самомъ дѣлѣ). Какъ пространства, проходимыя тѣлами на основаніи этого закона, должны относиться между собою какъ квадраты временъ, то очевидно, что въ двѣ секунды тѣло пройдетъ 16 футъ увеличенныхъ на квадратъ 2 или на 4, т. е. 64 фута, точно также въ 3 секунды оно пройдетъ въ 9 разъ большее пространство противу первой секунды, т. е. 144 фута, а въ четыре секунды 256 футовъ. Слѣдовательно для того, чтобы имѣть возможность наблюдать эти явленія только четыре секунды необходимо опустить тѣло съ высоты по крайней мѣрѣ въ 256 футовъ. Но кромѣ того вѣрная оцѣнка пространствъ проходимыхъ падающимъ тѣломъ, затрудняется быстротою самаго движенія: опытъ показываетъ, что скорость падающаго тѣла по прошествіи секунды равна 32 футамъ, по прошествіи двухъ секундъ скорость эта будетъ уже равняться 64 футамъ въ секунду, а по окончаніи четырехъ секундъ будетъ простирается до 120 футовъ въ секунду. Слѣдовательно, если при подобной быстротѣ движенія мы сдѣлаемъ погрѣшность при опредѣленіи времени паденія, то погрѣшность эта будетъ еще чувствительнѣе при оцѣнкѣ пространствъ, которыя на основаніи законовъ равноускореннаго движенія относятся между собою какъ квадраты временъ.

Причины эти заставляютъ насъ для изслѣдованія на опытѣ законовъ свободнаго паденія обратиться къ пособию различныхъ приборовъ, которые бы позволяли намъ замедлить паденіе, нисколько не

измѣняя напряженія тяжести на наклонной плоскости. Чтобы достигнуть этой цѣли Галилей производилъ паденіе тѣлъ по плоскости наклонной къ линіи паденія.

Если тѣло, на которое дѣйствуетъ одна или нѣсколько силъ, опирается на неподвижную плоскость, то оно будетъ оставаться въ покоѣ въ томъ случаѣ, когда направленіе равнодѣйствующей силы перпендикулярно къ плоскости. Совѣсть другое происходитъ въ томъ случаѣ, когда направленіе равнодѣйствующей наклонно къ плоскости.

Положимъ, что AC (Фиг. 346) представляетъ наклонную плоскость, на которую положено какое нибудь тѣло, и что



линія DG означаетъ какъ направленіе, такъ и величину тяжести, дѣйствующей на тѣло въ положеніи наклонномъ къ плоскости AC . Разлагая эту силу на двѣ другія: одну DF , перпендикулярную къ направленію наклонной плоскости AC , а другую ED , параллельную къ этому направ-

ленію, мы найдемъ, что первая часть встрѣтитъ сопротивленіе со стороны плоскости и произведетъ на него извѣстное давленіе, между тѣмъ какъ вторая будетъ стремиться скатывать тѣло книзу. Сравнимъ теперь силу, производящую это движеніе, съ цѣлымъ напряженіемъ тяжести, дѣйствующимъ на тѣло по отвѣсному направленію. Какъ дѣйствіе тяжести DG на тѣло не зависитъ отъ положенія наклонной плоскости, то очевидно, что на всѣхъ точкахъ послѣдней величина и направленіе тяжести будутъ оставаться постоянными. Повтому та часть тяжести ED , которая скатываетъ тѣло книзу, будетъ сохранять одну и ту же величину во все время скатыванія тѣла по наклонной плоскости.

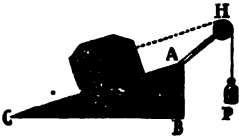
Слѣдовательно, раздѣливъ время движенія тѣла на безконечное число равныхъ моментовъ, мы имѣемъ право заключить, что въ продолженія этихъ моментовъ тѣло приобретаетъ равныя ускоренія. Понятно, что при этихъ условіяхъ движеніе его будетъ равноускоренное.

Чтобы найти отношеніе послѣдняго движенія къ тому, которое бы приобрѣло тѣло при свободномъ паденіи вслѣдствіе полного дѣйствія тяжести, должно найти отношеніе между полнымъ дѣйствіемъ тяжести DG и той силой ED , которая скатываетъ тѣло по наклонной плоскости. Сила ED есть одна изъ составляющихъ силы DG и потому очевидно менѣе послѣдней. Это показываетъ, что равноускоренное движеніе, совершаемое по наклонной плоскости, вслѣдствіе уменьшеннаго дѣйствія тяжести на тѣло должно совершаться медленнѣе, нежели въ томъ случаѣ, когда бы тѣло было подвержено полному напряженію тяжести. Понятно, что послѣднее движеніе будетъ во столько разъ скорѣе движенія по наклонной плоскости, во сколько разъ полное дѣйствіе тяжести болѣе той силы, которая скатываетъ тѣло по плоскости. Значитъ вопросъ приводится къ тому, чтобы найти отношеніе между этими силами.

Въ механикѣ же мы доказали, что сила, скатывающая тѣло по плоскости, будетъ составлять тѣмъ меньшую часть отъ полного напряженія тяжести, чѣмъ меньше плоскость наклонна къ горизонту. Примѣняя къ этому случаю извѣстный законъ механики—на сколько выигрывается въ силѣ, на столько теряется въ скорости, — мы легко поймемъ, что съ уменьшеніемъ наклоненія плоскости, скорость скатывающагося по ней тѣла будетъ уменьшаться.

Болѣе точное опредѣленіе отношенія между полнымъ напряженіемъ и силой, скатывающей тѣло по плоскости, мы можемъ найти съ помощію простаго вычисленія. Изъ подобія треугольниковъ DEG и ABC (фиг. 347), у которыхъ

Фиг. 347.



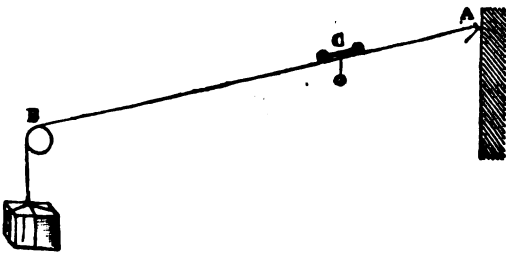
соотвѣтственные углы равны, мы можемъ вывести отношеніе $ED:DG = AB:AC$. AB есть высота наклонной плоскости, а AC ея длина; назвавъ первую чрезъ h , а второе чрезъ l , получимъ $ED:DG = h:l$, или $\frac{ED}{DG} = \frac{h}{l}$, откуда ED , т. е. величина силы скатывающей тѣло по плоскости будетъ равна $\frac{h}{l} \times DG$. Разсматривая по-

слѣднее уравненіе не трудно вывести слѣдующее заключеніе: если высота плоскости h будетъ въ 2, 3, 4... разъ меньше противу длины ея l , то и сила ED будетъ въ 2, 3, 4... раза меньше противу полного напряженія тяжести DG . Длина же наклонной плоскости, какъ показываетъ одно внимательное разсмотрѣніе чертежа, находится въ полной зависимости отъ угла ея наклоненія къ горизонту. Слѣдовательно, уменьшая уголъ, составляемый плоскостію съ горизонтомъ, мы можемъ по произволу уменьшать и самую скорость скатыванія тѣла по плоскости.

Законы же, по которымъ производится это скатываніе, будутъ очевидно одни и тѣже, какъ и при свободномъ паденіи, потому что скатывающая сила дѣйствуетъ на тѣло, какъ мы уже показали, равномерно и непрерывно во все продолженіе движенія его, и представляетъ собою ни что иное, какъ дѣйствіе тяжести въ уменьшенномъ видѣ.

Основываясь на этомъ свойствѣ, представляемомъ наклонною плос-

Фиг. 348.



костію, Галилей натянулъ крѣпко веревку между двумя неизмѣнными точками A и B (фиг. 348), изъ которыхъ одна была расположена ниже другой. На этой веревкѣ онъ помѣстилъ два соединенные между собою небольшіе блока M и N , которые могли

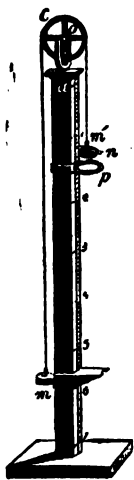
скатываться на веревкѣ безъ чувствительнаго тренія. Небольшая гиря P , привязанная къ части прибора, соединяющаго блоки, препятствовала имъ при скатываніи падать въ сторону отъ отвѣснаго направленія, проходящаго чрезъ веревку. Весь приборъ, имѣвшій видъ тележки, располагался въ верхней части веревки и потомъ въ извѣстный моментъ предоставляется самому себѣ. Замѣтивъ при скатываніи, до какой точки веревки достигнетъ блокъ M по окончаніи первой секунды, мы получимъ разстояніе, пройденное тележ-

кой во время первой секунды ея паденія. Точно также опредѣляютъ пространство, пройденное во время первыхъ двухъ, трехъ и болѣе секундъ. Наблюдая такимъ образомъ за паденіемъ тележки нашли, что пространство пройденное въ извѣстное время равно пройденному въ первую секунду пространству, помноженному на квадратъ времени движенія.

Законъ скоростей не можетъ быть повѣренъ непосредственно на наклонной плоскости, потому что нельзя прекратить въ извѣстное время дѣйствіе силы скатывающей тѣло. Впрочемъ повѣрка этого закона не представляетъ большой важности, потому что на него мы можемъ смотрѣть какъ на математическое слѣдствіе закона пространствъ.

.Но и законъ скоростей можетъ быть повѣренъ на опытѣ съ помощію машины *Атвуда*, названной по имени своего изобрѣтателя, который въ концѣ прошлаго вѣка былъ профессоромъ химіи въ Кембриджѣ. При устройствѣ своей машины Атвудъ имѣлъ цѣлю: во первыхъ, употребить для движенія такую силу, которая производила бы подобно тяжести равноускоренное движеніе, но дѣйствовала бы съ меньшимъ напряженіемъ противу тяжести; такимъ образомъ, чтобы движеніе тѣла совершалось по однимъ и тѣмъ же законамъ, но только съ такою скоростію, которая позволяла бы удобно наблюдать результаты движенія даже въ продолженіи нѣсколькихъ секундъ. Вторая цѣль при устройствѣ его машины заключалась въ томъ, чтобы въ произвольный моментъ можно было прекратить дѣйствіе силы на двигающееся тѣло и чрезъ то доставить ему возможность двигаться по инерціи съ тою скоростію, которая была приобретена имъ въ моментъ прекращенія силы. Понятно, что въ такомъ случаѣ пространство, пройденное по инерціи, выразитъ намъ конечную скорость, приобретенную имъ по прошествіи извѣстнаго времени.

Для удовлетворенія этимъ условіямъ Атвудъ устроилъ легко под-



Фиг. 349. движное на оси колесо с (Фиг. 349), на окружности котораго сдѣланъ жолобъ для помѣщенія тонкой шелковой нити. Если къ концамъ этой нити привѣсить двѣ совершенно равныя гири m и m' , то очевидно, что на нихъ мы можемъ смотрѣть какъ на двѣ равныя и параллельныя силы, приложенныя къ оконечностямъ горизонтальнаго діаметра колеса. Какъ вѣсъ нити сравнительно съ вѣсомъ гирь, можетъ быть оставленъ нами безъ вниманія, то ясно, что обѣ гири будутъ находиться въ равновѣсіи, не взирая на различіе разстоянія ихъ отъ точекъ приложенія. Но очевидно, что это равновѣсіе будетъ нарушено, если на одну изъ этихъ гирь, наприм. m' , положить небольшой прибавочный грузъ n . Послѣдній грузъ, вслѣдствіе дѣйствія на него тяжести, будетъ производить движеніе книзу и увлечетъ за собою обѣ соединенныя съ нимъ гири m и m' , изъ которыхъ первая будетъ опускаться, а вторая подни-

маться. Если бы прибавочный грузъ n падалъ одинъ, то сила тяжести дѣйствовала бы на его массу по тѣмъ же самымъ законамъ, какъ она дѣйствуетъ на всякое свободно падающее тѣло. Но какъ тяжесть на самомъ дѣлѣ приводитъ въ движеніе не только одну массу прибавочнаго груза n , но также и массы гири m' и m , то очевидно, что, распространяя свое дѣйствіе на большее число частицъ, тяжесть не въ состояніи уже будетъ сообщить имъ той скорости, которую она могла бы передать одному прибавочному грузу n . Слѣдовательно движеніе цѣлой системы будетъ замедленно. Изъ законовъ же движенія тѣлъ мы знаемъ, что если одна и таже сила приводитъ въ движеніе различныя тѣла, то скорости, сообщенныя имъ, будутъ *обратно* пропорціональны массамъ двигающихся тѣлъ. Поэтому, если масса прибавочнаго груза n равна наприм. 1 грамму, а масса обѣихъ гири m и m' равна 9 граммамъ, то общая масса, подверженная дѣйствію тяжести, будетъ въ 10 разъ болѣе прибавочнаго груза n , а слѣдовательно и скорость общей массы $n + m' + m$ будетъ въ 10 разъ менѣе противу того, когда бы тяжесть дѣйствовала на одинъ только грузъ n . Точно также оставивъ неизмѣнною массу груза n и увеличивъ общую массу гири m' и m до 19 граммовъ, мы найдемъ, что скорость движенія общей системы будетъ въ 20 разъ менѣе. Поэтому мы можемъ постепенно уменьшать скорость паденія, давая гирямъ m' и m большія массы сравнительно съ массою груза n . Не должно при этомъ упускать изъ виду, что массы m' и m не измѣняютъ законовъ паденія, потому что онѣ замедляютъ скорость одинаковымъ образомъ въ продолженіи каждой единицы времени, такъ что существуютъ тѣ же самыя отношенія между скоростями замедленными и тѣми скоростями, которыя бы приобрѣлъ грузъ n при свободномъ своемъ паденіи.

Къ вертикальному столбу, поддерживающему блокъ и имѣющему обыкновенно около 7-ми футовъ высоты, придѣланы двѣ выдающіяся металлическія пластинки, которыя могутъ быть по произволу передвигаемы по длинѣ столба. Верхняя пластинка, имѣющая видъ кольца, можетъ свободно пропускать гирю m' и задерживаетъ только прибавочный грузъ n , длина котораго обыкновенно дѣлается болѣе діаметра кольца; нижняя же пластинка назначается собственно для приостанавливанія движенія гири m' . Сторона столба, обращенная къ выдающимся частямъ пластинки, раздѣлена на равныя части, для оцѣнки пространствъ, проходимыхъ падающею гирею.

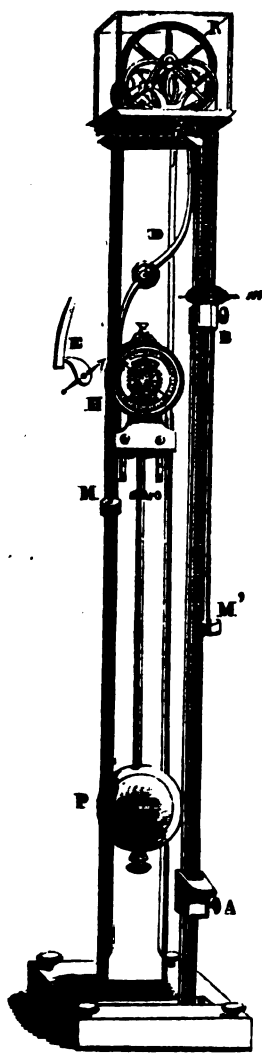
Чтобы повѣрить на машинѣ отношеніе, существующее между пройденными пространствами и временами, употребленными на прохожденіе ихъ, снимаютъ пластинку имѣющую видъ кольца и подводятъ гирю m' съ положеннымъ на нее грузомъ n къ самой вершинѣ столба до тѣхъ поръ, пока нижній край ея не будетъ находиться противу самаго нуля или начала дѣленій, проведенныхъ на брусѣ. Потомъ въ тотъ моментъ, когда бой часовъ означитъ начало секунды, предоставляютъ гирю вмѣстѣ съ грузомъ дѣйствію тяжести и замѣчаютъ ту точку дѣленія бруса, противу которой будетъ нахо-

даться нижній край гири въ то время, когда новый бой часовъ дастъ знать объ окончаніи секунды. Такимъ образомъ по дѣленіямъ бруса мы можемъ опредѣлить пространство, пройденное гирей m и грузомъ n въ первую секунду паденія. Чтобы набѣгнуть ошибки, могущей встрѣтиться при оцѣнкѣ этого разстоянія, утверждаютъ пластинку, назначенную для удержанія гири m' , въ той точкѣ, которая была замѣчена наблюдателемъ по окончаніи первой секунды, послѣ того повторяютъ снова опытъ. Если ударъ, произведенный тѣломъ, совпадаетъ съ боемъ часовъ, показывающимъ окончаніе первой секунды, то можно быть увѣреннымъ, что тѣло въ продолженіе секунды прошло въ точности то число дѣленій, которое находится между нулемъ и пластинкою. Если же ударъ не совпадаетъ съ боемъ, какъ это обыкновенно случается при опытахъ, то опускаютъ или поднимаютъ пластинку до восстановленія этого совпаденія. — Найдя такимъ образомъ пространство, соотвѣтствующее одной секундѣ, опускаютъ пластинку по длинѣ столба до тѣхъ поръ, пока разстояніе ея отъ нуля не будетъ въ четыре раза болѣе этого пространства. Предоставивъ, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, гирию и пластинку дѣйствію тяжести, мы найдемъ, что она достигнетъ до пластинки по окончаніи второй секунды. Взявши между началомъ дѣленій и пластинкой въ девять разъ болѣе пространство, мы услышимъ ударъ гири по окончаніи трехъ секундъ. Однимъ словомъ, пространство, пройденное послѣ извѣстнаго числа секундъ, выразится квадратомъ этого числа.

Для опредѣленія *законовъ скоростей*, заставляютъ двигаться гирию m' и грузъ n въ продолженіе секунды, подъ вліяніемъ дѣйствія тяжести и по прошествіи этого времени приостанавливаютъ грузъ n съ помощію кольцеобразной пластинки, которая ставится противу дѣленія, соотвѣтствующаго пространству проходимому въ первую секунду. Гиря m' , освобожденная отъ груза n и уравновѣшиваемая гирею m , очевидно перестанетъ покоряться дѣйствію тяжести, а будетъ продолжать свое движеніе по инерціи со скоростію, приобретенною ею по достиженіи кольца. Скорость эта выразится тѣмъ пространствомъ, которое пройдетъ гиря m' во вторую секунду безъ прибавочнаго груза n . Если возобновить опытъ, поставивъ кольцеобразную пластинку въ той точкѣ, до которой достигаютъ гиря m' и грузъ n по окончаніи двухъ первыхъ секундъ, и если измѣрить пространство, пройденное одною гирею m' въ слѣдующую за тѣмъ секунду, то мы получимъ скорость приобретенную по прошествіи двухъ первыхъ секундъ. Скорость эта будетъ въ два раза болѣе противу прежде полученной скорости и вообще мы найдемъ, что скорость, полученная послѣ извѣстнаго времени, равна скорости приобретенной послѣ первой единицы времени, помноженной на число единицъ времени цѣлаго движенія.

При этомъ увидимъ, что пространство, пройденное во вторую секунду по инерціи, будетъ въ два раза болѣе пространства, пройденнаго въ первую секунду, при содѣйствіи прибавочнаго груза.

Главѣйшее затрудненіе при производствѣ описанныхъ нами опытовъ на Атвудовой машинѣ, въ точномъ совпаденіи боя часовъ съ началомъ движенія. Поэтому для точныхъ опытовъ, прибору этому даютъ такое устройство, чтобы совпаденіе опредѣлялось съ помощью особеннаго механизма. Примѣромъ такого устройства служитъ машина, представленная на фигурѣ 350-й. На колоннѣ утверждаютъ часы *H*, ходъ которыхъ уравнивается маятникомъ *P*, бьющимъ секунды. Это уравниваніе совершается при помощи двухъ крючьевъ, заѣзжающихъ за зубцы колеса расположеннаго въ центрѣ часовъ. Крючья эти вмѣстѣ съ связывающей ихъ пластинкой соединены съ маятникомъ. При движеніи маятника вправо и влево, пластинка нагибается въ ту же сторону и пропускаетъ при каждомъ качаніи маятника по зубцу средняго колеса. На оси этого колеса, выходящей къ наружной сторонѣ часовъ, утверждена стрѣлка показывающая секунды. На противоположной оконечности оси съ задней стороны часовъ находится небольшой эксцентрикъ *E*, представленный особо съ лѣвой стороны колонны. Эксцентрикъ этотъ, обращающійся въ одно время со стрѣлкою, опирается объ одну изъ оконечностей составнаго рычага *D*, другой конецъ котораго поддерживаетъ пластинку *j*, на которую опирается гиря *m* во время нахождения своего противу нуля дѣленій боковой линейки.



Опираясь на прилежащую къ нему оконечность рычага, эксцентрикъ сообщаетъ движеніе рычагу, верхній конецъ котораго опускаетъ пластинку *j*, чрезъ что находящаяся на ней гиря можетъ свободно опускаться книзу. Самое же опусканіе пластинки производятъ слѣдующимъ образомъ: придерживаютъ маятникъ такимъ образомъ, чтобы стрѣлка остановилась на какомъ нибудь дѣленіи внѣ нуля, потомъ помѣщаютъ гири вмѣстѣ съ пластинкой передъ

самымъ началомъ дѣленій линейки на пластинкѣ *j* и сообщаютъ движеніе маятнику. Когда стрѣлка достигнетъ до нуля, эксцентрикъ начинаетъ двигаться, толкаетъ рычагъ, который въ свою очередь тотчасъ же опускаетъ пластинку *j*, чрезъ что гиря опускается одновременно съ прохожденіемъ стрѣлкою нулеваго дѣленія.

Того же самого результата достигаютъ посредствомъ другихъ устройствъ, изъ которыхъ мы опишемъ здѣсь одно, весьма часто встрѣчаемое въ физическихъ кабинетахъ. Оно приспособляется къ прибору, представленному на фигурѣ 351-й.

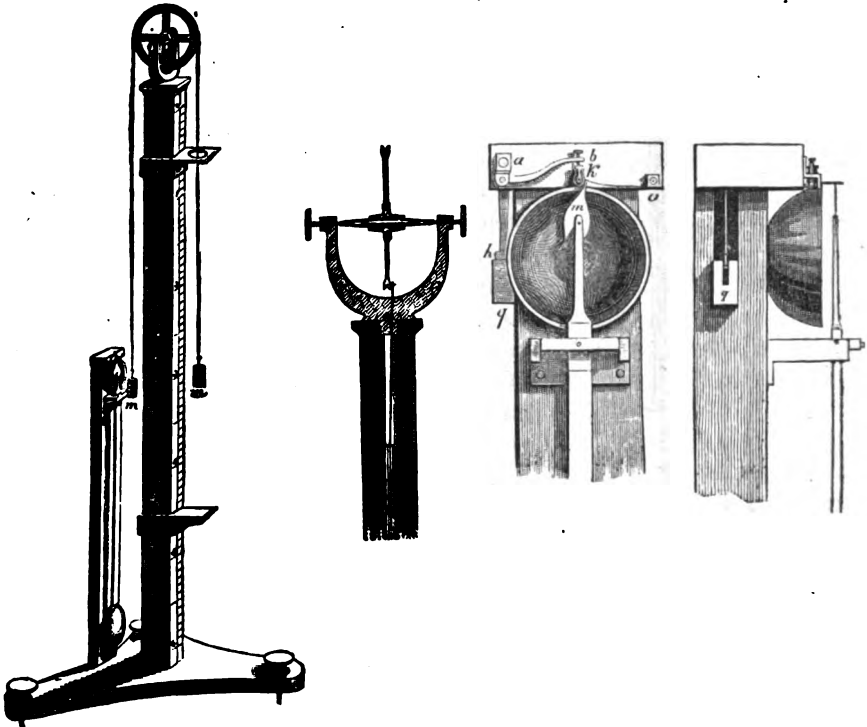
Близъ самой нижней наружной окружности блока, представленнаго на фигурѣ 352-й въ разрѣзѣ, находится небольшой отвѣсный шпинецъ, параллельный къ оси блока. Внутри столба поддерживающаго блокъ слѣлана пустота, заключающая по протяженію своей длины деревянную полосу, которая можетъ быть легко поднимается и опускаема. Къ верхней части этой полосы прикрѣпленъ стальной прутикъ, проходящій насквозь дуги, поддерживающей ось блока. Верхняя часть этого прутика задѣваетъ за отвѣсный шпинецъ и тѣмъ самымъ, при положеніи означенномъ на разсматриваемой нами фигурѣ, препятствуетъ вращенію блока на одну сторону. Понятно, что движеніе блока можетъ происходить только тогда, когда прутикъ опустится книзу и освободить налегающій на него шпинецъ.

Фиг. 351.

Фиг. 352.

Фиг. 353.

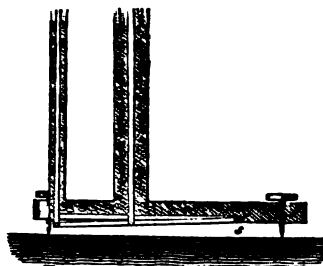
Фиг. 354.



Устройство это соединяется съ маятникомъ слѣдующимъ образомъ. Непосредственно позади верхняго конца маятника находится колоколь (фиг. 353 и 354), о который при каждомъ опусканіи маятника ударяетъ молоточекъ *k*, чрезъ что движенія маятника могутъ быть легко замѣчаемы. Для этого съ молоточкомъ соединенъ горизонтальный шпинецъ, о который ударяетъ при каждомъ опусканіи маятника металлическая пластинка *m*, прикрѣпленная къ верхней оконечности его. Вслѣдствіе того молоточекъ поднимается и подходитъ къ оконечности укрѣпленной къ точкѣ *o* пружины, которая тотчасъ же нажимаетъ его книзу.

Для того же, чтобы первый ударъ молоточка происходилъ одновременно съ прохожденіемъ падающаго тѣла чрезъ нулевую точку скалы, употребляютъ слѣдующій механизмъ. На подставкѣ, поддерживающей весь приборъ, находится горизонтальная полоса, вращающаяся въ отвѣсной плоскости около неподвижной точки s (фиг. 353). Къ горизонтальной полосѣ прикрѣплены двѣ вертикальныя, изъ которыхъ одна проходитъ внутри главнаго столба и оканчивается на вершинѣ его металлическимъ шпилькомъ, препятствующимъ вращенію блока, а другая — внутри столба, поддерживающаго маятникъ. На верхнемъ концѣ послѣдней полосы находится поперечный мѣдный брусочекъ q (фиг. 353 и 354), выходящій наружу столба. Въ прорѣзѣ этого брусочка находится штифтикъ, посредствомъ котораго можно привѣшивать q на крючекъ h . Для этого должно приподнять нѣсколько брусочекъ q , вслѣдствіе чего полоса въ главномъ столбѣ поднимется и займетъ положеніе, препятствующее

Фиг. 355.



вращенію блока. Крючекъ h и рычагъ ab прикрѣплены на одной и той же горизонтальной оси и составляютъ вмѣстѣ колѣнчатый рычагъ, одно плечо котораго влечетъ за собою влеченіе другаго. Если вывести маятникъ изъ состоянія равновѣсія и предоставить его самому себѣ, то при первомъ поднятіи молоточка, конецъ b одного плеча рычага будетъ поднятъ вверхъ и вслѣдствіе того крючекъ h освободитъ висящій на немъ поперечный брусочекъ q . Тогда полосы обоихъ столбовъ падаютъ одновременно вслѣдствіе собственного своего вѣса и движеніе массъ m и m' (фиг. 351) начинается въ тотъ моментъ, когда молоточекъ ударяетъ первый разъ по колоколу.

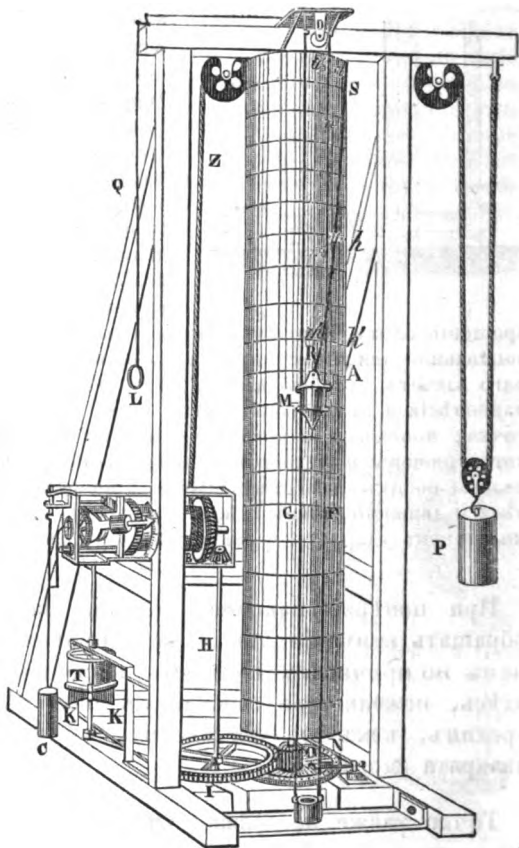
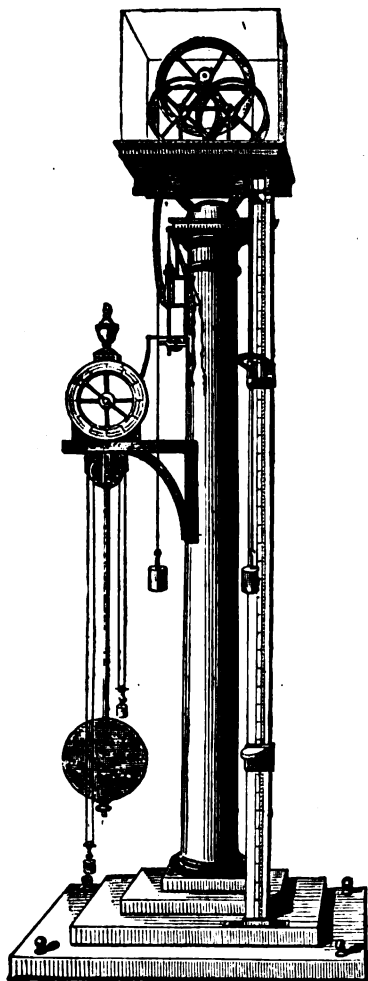
При повѣркѣ законовъ паденія на Атвудовой машинѣ должно обращать вниманіе также на сопротивленіе воздуха, которое впрочемъ по причинѣ медленности движеній бываетъ менѣе ощутительно здѣсь, нежели при свободномъ паденіи, потому что сопротивленіе срединъ, какъ мы уже знаемъ, уменьшается согласно уменьшенію квадрата скоростей.

Точно также не должно упускать изъ виду сопротивленія, представляемаго треніемъ колеса объ его ось. Въ существованіи этого тренія можно убѣдиться, положивши самый незначительный грузъ на одну изъ гирь: мы увидимъ, что обѣ гири останутся въ покоѣ, хотя по законамъ тяжести онѣ бы должны производить движеніе; слѣдовательно, если при болѣе значительномъ перевѣсѣ происходитъ движеніе гирь, то значитъ, что часть силы тяжести употребляется на преодоленіе тренія. Обстоятельство это устраняютъ различнымъ образомъ: или прибавляютъ къ перевѣсу такую часть груза, которая сама по себѣ не въ состояніи произвести движенія и которая собственно уравниваетъ треніе, или кладутъ ось колеса на систему вращающихся блоковъ, которые при обращеніи колеса вращаются сами, а мы уже знаемъ изъ законовъ тренія, что оно уменьшается при этомъ движеніи. Такой способъ расположенія колеса

представленъ на фигурѣ 356-й, представляющей Атвудову машину въ болѣе совершенномъ видѣ.

Фиг. 356.

Фиг. 357.



Моренъ, директоръ Консерваторіи Искусствъ и Ремеслъ въ Парижѣ, устроилъ недавно для доказательства законовъ паденія тѣлъ особенный приборъ съ вращающимся цилиндромъ, первая мысль о которомъ принадлежитъ Понселе.

Въ этомъ приборѣ равномерное движеніе бумажнаго цилиндра соединено съ движеніемъ падающаго тѣла, посредствомъ смоченной тушью кисти. Кисть эта, прикрѣпленная къ падающему тѣлу во время движенія его, описываетъ на прикасающейся къ ней бумагѣ цилиндра кривую линію, выражающую законы движенія.

Главнѣйшую часть этого прибора (фиг. 357) составляетъ покрытый бумагою цилиндръ *A*, свободно вращающійся на своей оси. Въ приборѣ, хранящемся въ Парижской Консерваторіи Искусствъ и Ремеслъ, приборъ этотъ имѣетъ около 40 сантиметровъ въ діаметрѣ и 2м,90 высоты. Цилиндръ приводится въ движеніе гирею *P*, сообщающею посредствомъ веревки движеніе вороту *B*, который въ свою очередь передаетъ его при помощи двухъ угловыхъ колесъ отъѣсному стержню *H* и двумъ горизонтальнымъ колесамъ *I* и *O*, вращающимъ самый цилиндръ.

Какъ при паденіи гири P движеніе ея постепенно ускоряется, то механикъ Вагнеръ, устроившій этотъ приборъ, придѣлалъ къ нему особый регуляторъ, имѣющій цѣлю доставить равномерное движеніе вороту B . Основанія, на которыхъ устроенъ регуляторъ, извѣстны въ механикѣ подъ именемъ дифференціальнаго движенія. Система эта зависитъ одновременно отъ маятника C и отъ вѣтрянницы съ крыльями K , имѣющей быстрое вращательное движеніе. Эта вѣтрянница покрывается барабаномъ T , который, смотря по скорости вращенія прибора, то поднимается, то опускается. Когда движеніе ускоряется и маятникъ качается очень скоро, то барабанъ поднимается и крылья вѣтрянницы бывають подвержены тогда дѣйствию воздуха, который, представляя большее сопротивленіе, замедляетъ движеніе ихъ. Напротивъ того, если скорость движенія уменьшается, то барабанъ опускается на вѣтрянницу, отъ чего крылья ея встрѣчаютъ уже меньшее сопротивленіе и движеніе ихъ ускоряется. Вслѣдствіе такого уравниванія, по прошествіи извѣстнаго времени, движеніе ворота получаетъ достаточную равномерность, которая обыкновенно происходитъ въ томъ случаѣ, когда гиря P опускается на 50 сантиметровъ.

Что касается до колеса N , укрѣпленнаго на оси цилиндра, то оно назначено для дѣланія замѣтокъ на длинной деревянной линейкѣ, приставляемой къ цилиндру. Посредствомъ этой линейки проводить на поверхности цилиндра двѣ системы равно отстоящихъ между собою линій: однихъ въ направленіи параллельномъ, а другихъ — въ направленіи отвѣсномъ къ оси цилиндра.

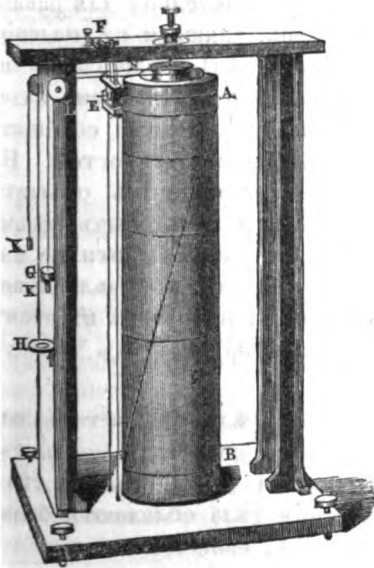
Чугунная гиря M движется между двумя отвѣсными крѣпко натянутыми желѣзными проволоками F и G . Гиря эта при вершинѣ цилиндра поддерживается щипцами D , раскрывающимися по произволу, посредствомъ опусканія желѣзной проволоки L . Къ гирѣ прикрѣплена у R кисть, описывающая во время опусканія своего книзу на поверхности вращающагося цилиндра кривую линію SR , изъ вида которой и выводить законы движенія.

Въ самомъ дѣлѣ пространство, пройденное кистью по прошествіи извѣстнаго времени, въ какойнибудь точкѣ кривой m , равно части am вертикальной линіи, проведенной на поверхности цилиндра. Но какъ движеніе цилиндра равномерно, то мы можемъ выразить время паденія тѣла, по достиженіи имъ точки m , дугою hm , считая ее отъ точки h , находящейся на вертикальной линіи и служащей началомъ движенія кисти. Точно также при другомъ положеніи m' , пройденное пространство выразится чрезъ $a'm'$, а время чрезъ $h'm'$.

Фиг. 358.

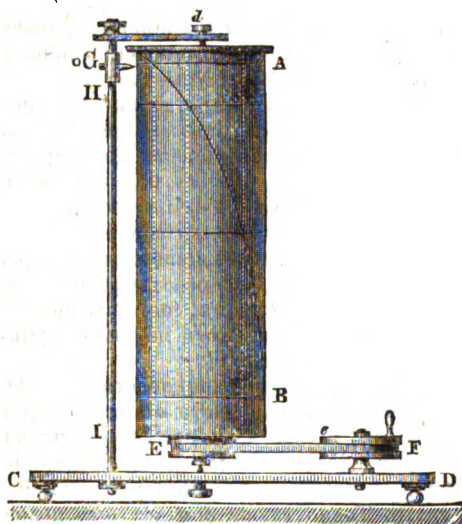
Сравнивая между собою длины $a'm'$ и am съ длинами дугъ $h'm'$ и hm найдемъ, что первыя относятся между собою какъ квадраты этихъ дугъ, а это значитъ, что пройденныя пространства относятся между собою, какъ квадраты времени.

Дороговизна этого прибора заставила извѣстнаго парижскаго оптика Секретана, устроить для физическихъ кабинетовъ менѣе сложный приборъ, вполне удовлетворяющій своему назначенію. Онъ состоитъ изъ вращающагося на отвѣсной оси бумажнаго цилиндра AB (фиг. 358). Верхняя часть этого цилиндра снабжена желобомъ, который обхватывается нитію. Нить эта проходитъ чрезъ два блока, изъ которыхъ одинъ L находится на передней, а другой на задней сторонѣ тѣла отвѣснаго бруса. Къ концамъ нитей прикрѣплены двѣ равныя гири, изъ которыхъ одна означена на фигурѣ буквою K . Понятно, что обѣ гири будутъ поддерживать другъ друга въ равновѣсіи, но если мы на одну изъ



никъ *И* положимъ прибавочный грузъ *G*, то гиря вѣстѣ съ грузомъ будетъ производить равноускоренное движеніе, сообщая въ тоже время вращеніе цилиндру, которое не будетъ равномерно дѣтѣхъ поръ, пока прибавочный грузъ *G* не задержится кольцеобразною пластинкою *Н* и пока гири не начнутъ двигаться равномерно по одной инерціи. Когда наблюдатель услышитъ ударъ прибавочнаго груза *G* объ кольцо, онъ опускаетъ тотчасъ гирию *E*, которая снабжена, какъ и въ машинѣ Морена, кистью смоченною тушью. Понятно, что кисть эта при паденіи своемъ опишетъ на вращающемся равномерно цилиндрѣ кривую линію, которая будетъ имѣть одинаковыя свойства съ разсмотрѣнною нами кривою линіею въ приборѣ Морена.

Фиг. 359.



Секретанъ устроилъ подобный приборъ нѣсколько иначе. Онъ располагаетъ цилиндръ (фиг. 359) на центробѣжной машинѣ и послѣ известнаго числа оборотовъ предоставляетъ цилиндръ самому себѣ. Послѣдній, вслѣдствіе инерціи, начинаетъ производить равномерное движеніе; тогда опускаютъ гирию съ кисточкою, которая чертитъ на цилиндрѣ параболу точно также, какъ и въ предшествующихъ случаяхъ.

Вслѣдствіи, въ статьѣ объ электричествѣ, мы будемъ имѣть случай говорить о приборахъ, которые могутъ быть также приспособлены къ опредѣленію паденія тѣлъ.

Посредствомъ разсмотрѣнныхъ нами способовъ, мы можемъ подтвердить на опытѣ, что законы выведенные умозрительно для равноускореннаго движенія, могутъ быть отнесены также и къ паденію тѣлъ, производимому тяжестью. И въ самомъ дѣлѣ, если скорости, приобретаемыя тѣлами, относятся между собою какъ времена паденія, то очевидно, что сила, производящая паденіе, должна сообщать тѣламъ въ равныя времена одинаковыя приращенія скоростей. Но мы должны здѣсь замѣтить, что во всѣхъ предъидущихъ опытахъ пространства, проходимыя падающими тѣлами, должны быть весьма малы. Для болѣе значительныхъ пространствъ, законы эти не могутъ оставаться неизмѣнными, потому что тяжесть, направленіе которой измѣняется согласно квадрату разстоянія, не можетъ въ этомъ случаѣ дѣйствовать съ одинаковою силою на тѣло во всѣхъ точкахъ его пути.

Законы эти примѣняются къ паденію *всѣхъ* тѣлъ въ пустотѣ, потому что тяжесть сообщаетъ всѣмъ имъ одинаковую скорость. Приблизительно можно примѣнить эти законы и къ паденію тѣлъ въ воздухѣ въ томъ случаѣ, когда падающія тѣла обладаютъ большимъ удѣльнымъ вѣсомъ, какъ напр. желѣзо, свинецъ.

Изъ законовъ паденія тѣлъ наибольшую важность представляетъ законъ, опредѣляющій зависимость *пройденнаго пространства отъ квадрата времени*.

На основаніи этого закона, если бы мы знали время, употребленное тѣломъ на паденіе съ нѣкоторой высоты, то легко могли бы опредѣлять и самую высоту. Для этого стоитъ только знать пространство пройденное тѣломъ въ единицу времени. Изъ опытовъ на Атвудовой машинѣ можно найти, что пространство, пройденное тѣломъ въ первую секунду паденія, почти равно 16,1 футовъ.

Положимъ теперь, что время паденія равно 6 секундамъ: если тѣло въ продолженіи одной секунды проходитъ около 16 футовъ, то на основаніи предъидущаго, пространство это будетъ относиться къ искомому пространству, которое мы назовемъ чрезъ x , какъ квадратъ времени, употребленнаго на прохожденіе 16 футовъ, къ квадрату времени, требуемаго на прохожденіе искомага пространства, т. е. $16 : x = 1^2 : 6^2$, откуда $x = 576$ фут.

Точно также зная высоту, съ которой падаетъ тѣло вслѣдствіе тяжести, можно найти время паденія; такъ напр. положимъ, что пространство, пройденное тѣломъ равно 1024 фут., рассуждая какъ и въ предъидущемъ случаѣ, получимъ $16 : 1024 = 1^2 : x^2$, откуда $x^2 = 64$, а $x = 8$ секундамъ.

Подобныя задачи легко могутъ быть разрѣшены съ помощію формулъ, выведенныхъ нами въ механической статьѣ: $v = gt$, $s = \frac{1}{2}gt^2$ и $v = \sqrt{2gs}$, въ которыхъ v выражаетъ скорость по прошествіи t секундъ, g — скорость прибрѣтенную въ первую секунду, а s — пространство, совершенное въ t секундъ. При разрѣшеніи задачъ, относящихся къ паденію тѣлъ, необходимо знать величину g . Если пространство, пройденное въ первую секунду паденія, равно 16 фут., то g или скорость прибрѣтенная въ первую секунду, будетъ равна 32 фут., потому что на основаніи законовъ равноускореннаго движенія, пространство, пройденное тѣломъ при этомъ движеніи, равно половинѣ пространства, совершеннаго тѣломъ въ тоже самое время равномернымъ движеніемъ, а пространство это и выражаетъ намъ конечную скорость g .

Дѣйствіе тяжести на тѣла, движущіяся по инерціи.

§ 127. Брошенныя тѣла приводятся въ движеніе какой нибудь силой, которая, вслѣдствіе закона инерціи, должна двигать ихъ равномерно по направленію прямой линіи, если бы дѣйствіе тяжести не измѣняло какъ скорости самаго движенія, такъ и направленія его, въ томъ случаѣ, когда оно не совпадаетъ съ направленіемъ дѣйствія тяжести. Сила, приводящая тѣло въ движеніе, называется *метательною*.

Для легчайшаго вывода законовъ метательнаго движенія, мы должны допустить нѣкоторыя предположенія. Такимъ образомъ мы предполагаемъ: во 1-хъ, что брошенное тѣло двигается въ безвоздушномъ пространствѣ; во 2-хъ, мы оставляемъ безъ вниманія уменьшенія вѣса падающаго тѣла, по мѣрѣ удаленія его отъ средоточія земли, и въ 3-хъ, принимаемъ широту полета за самую незначительную сравнительно съ величиною земнаго радіуса: вслѣдствіе чего допускаемъ, что направленія тяжести для всѣхъ точекъ пути, описываемаго брошеннымъ тѣломъ, сходятся по направленію къ центру земли подъ весьма малыми углами, позволяющими принимать ихъ, безъ значительной погрѣшности, за параллельныя линіи. Оба послѣднія условія во многихъ случаяхъ такъ мало уклоняются отъ истины, что даже самыя точныя наблюденія не бываютъ въ состояніи открыть этой разницы.

Метательное движеніе можетъ происходить или въ одномъ направленіи съ дѣйствіемъ тяжести, или же составлять уголъ съ горизонтомъ.

Отъ-
но къ
горизонту.

1-ое. Если тѣло съ извѣстною скоростію будетъ брошено по отвѣсному направленію вверхъ, то дѣйствіе тяжести уже не будетъ увеличивать ни скорости, ни высоты его паденія, а на оборотъ будетъ постепенно уменьшать послѣднія, сообразно съ изложенными нами законами свободнаго паденія тѣла.

Если бы тѣло было брошено вверхъ со скоростію 150 футовъ, то, не подвергаясь дѣйствію тяжести, оно должно подниматься равномерно, проходя въ секунду 160 футовъ. Но такъ какъ тяжесть сообщаящая всякому падающему тѣлу въ 1, 2, 3, 4, 5 и т. д. секундъ конечныя скорости 32, 64, 96, 128, 160 и т. д. футовъ, дѣйствуетъ въ этомъ случаѣ противоположно направленію движенія, то очевидно, что скорость поднимающагося тѣла по окончаніи 1-й секунды будетъ 160—32 или 128 футовъ, 2-ой секунды—160—64 или 96 ф., 3-й сек. 160—96 или 64 фута., 4-ой сек. 160—128 или 32 фут. и, наконецъ, 5-ой сек. 160—160 или 0 фут.

Естественно, что по достиженіи этой скорости тѣло будетъ подлежать только одному дѣйствію тяжести, и не имѣя возможности продолжать далѣе своего полета, должно опускаться книзу. Описанное нами поднятіе тѣла, представляетъ примѣръ *равноускорительнаго* движенія, потому что скорость его уменьшается въ каждую секунду ровно 32 фута.

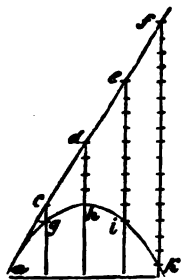
Самая высота поднятія тѣла въ извѣстное время, опредѣляется слѣдующимъ образомъ. Если бы дѣйствіе тяжести въ приведенномъ выше примѣрѣ не дѣйствовало на тѣло, то оно по прошествіи 1, 2, 3 и т. д. секундъ достигло бы высоты 160, $160 + 160$ или 320, $160 + 160 + 160$ или 480 фут. и т. д. Но такъ какъ тяжесть уменьшаетъ скорость полета, то, вслѣдствіе выведеннаго нами, высота паденія тѣла должна уменьшиться въ 1-ю сек. на 16 ф., во 2-ю 4 раза 16 или 64 ф., въ 3-ю на 9 разъ 16 или 144 фут. и т. д. Поэтому высота, достигаемая тѣломъ по прошествіи 1-й секунды, бу-

детъ 160—16 или 144, 2-ой сек. 320—64 или 256 ф. 3-й секунды 480—144 или 336 ф. и т. д. По прошествіи 5 секундъ тѣло достигло бы до высоты 800, но такъ какъ дѣйствіе тяжести уменьшаетъ высоту полета на 16×25 , то оно поднимется только на 800—400 или на 400 ф. Достигнувъ этой высоты тѣло, какъ мы уже сказали, будетъ опускаться книзу по тѣмъ же самымъ законамъ и употребить на паденіе свое столько же времени, сколько и на поднятіе.

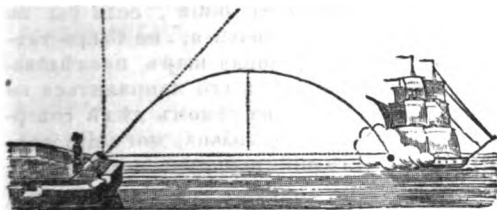
Такъ какъ при возвращеніи къ землѣ падающее тѣло ускоряетъ свое движеніе, подъ тѣмъ же самымъ напряженіемъ тяжести, которое прежде уменьшало его скорость, то очевидно, что при паденіи своемъ на землю оно достигнетъ той самой скорости, съ которою было брошено кверху. Слѣдовательно, что бы бросить тѣло отвѣсно до высоты 170 фут. надлежитъ сообщить ему при началѣ ту самую скорость, которой оно должно достигнуть при паденіи своемъ съ высоты 170 ф. Не должно впрочемъ упускать изъ виду, что при повтореніи этого на опытѣ всегда надлежитъ принимать во вниманіе и самое сопротивленіе воздуха.

Если же тѣло будетъ брошено отвѣсно книзу, то оно опустится не только отъ дѣйствія тяжести, какъ тѣло предоставленное самому себѣ, но также и отъ силы, сообщенной ему при началѣ полета.

2-е. Всякое тѣло, брошенное или *подъ угломъ къ горизонту* или *наклонно къ послѣднему*, опишетъ во время своего полета кривую линію, отъ совокупнаго вліянія тяжести и метательной силы (Фиг. 360). Начертаніе этой линіи въ первомъ случаѣ легко можетъ быть выведено нами изъ законовъ свободного паденія тѣлъ.



Фиг. 361.

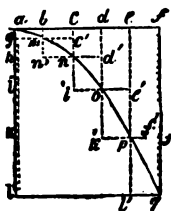


ее понизится въ точку *h* на 4.16 или на 64 ф. ниже точки *d*. Въ третью секунду она будетъ находиться въ точкѣ *i*, отстоящей отъ *d* на 9.16 ф. и т. д. Соединивъ между собою точки *a*, *d*, *g*, *h*, *i* и *k*, мы получимъ кривую линію, означающую путь бомбы и называемую *параболою*. Самая высшая точка этой линіи должна находиться по-

средины ея. Очевидно, что точка эта бываетъ тѣмъ выше отъ горизонта, чѣмъ уголъ возвышенія *jak* ближе подходитъ къ прямому и на оборотъ. Ширина же полета, обозначаемая горизонтальной линіей *ak*, бываетъ самая большая при уголѣ возвышенія въ 45° . На фигурѣ 361-й представленъ примѣръ подобнаго движенія.

Если же изъ какой нибудь возвышенной точки *a* (фиг. 362) было бы брошено тѣло по направленію параллельному къ горизонту, то оно опишетъ только одну половину параболы, называемую *второй* ея.

Фиг. 362.



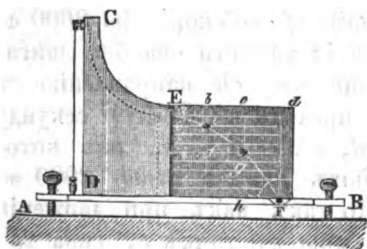
Фиг. 363.



Начертаніе этой вѣтви можетъ быть по предъидущему легко объяснено 362-ю фигурою. И въ самомъ дѣлѣ точки *m, n, o, p* и *q*, означающія полетъ тѣла, опредѣляются діагоналями параллелограммовъ, построенныхъ на линіяхъ *ab, mc', nd', oe', pf'*, показывающихъ направленіе метательной силы и на линіяхъ *ag, tn', ni', ok', pl'*, представляющихъ направленіе тяжести въ каждую послѣдующую секунду полета. На фиг. 363-й представленъ примѣръ подобнаго движенія.

Для повѣрки на опытѣ законовъ брошенныхъ тѣлъ, употребляютъ приборъ представленный на фигурѣ 364-й.

Фиг. 364.



часть же подверженъ дѣйствію тяжести, которая, уклоняя шаръ послѣдовательно все болѣе и болѣе отъ направленія *Ed*, заставитъ его направиться по параболѣ *aF*. Чтобы убѣдиться въ томъ, что путь его на самомъ дѣлѣ совершается по этой линіи, придѣлываютъ въ точкахъ *i* и *g* кольца, могущія свободно пропускать шаръ: мы увидимъ, что послѣдній при движеніи своемъ пройдетъ черезъ эти кольца.

Примѣненія законовъ брошенныхъ тѣлъ. § 128. Выведенные нами законы имѣютъ весьма важное примѣненіе при стрѣльбѣ. Съ этою цѣлію, какъ извѣстно, употребляютъ различные орудія, изъ которыхъ мы упомянемъ здѣсь объ оружіяхъ и артиллерійскихъ орудіяхъ. Первыми пользуются, какъ извѣстно, для попаданія въ предметы близкіе, между тѣмъ какъ послѣднія служатъ для предметовъ отдаленныхъ. Въ обоихъ случаяхъ тѣла, совершающія полетъ, какъ напр: пули, ядра и др. при-

водятся въ движеніе упругостію газовъ, происходящихъ вслѣдствіе сожженія пороха, который помѣщается внутри ружья или орудія, непосредственно возлѣ пули или ядра. Вслѣдствіе упругости газовъ, послѣднія тѣла движутся по внутренней пустотѣ ружей или орудій съ постепенно возрастающею скоростью на всемъ продолженіи этой пустоты, называемой каналомъ. Освобождаясь отъ ускоряющаго дѣйствія газовъ, какъ пули, такъ и ядра должны бы двигаться на основаніи инерціи съ тою скоростью, которая была имъ сообщена въ послѣдній моментъ дѣйствія силы и по тому направленію, по которому совершалось движеніе ихъ въ каналахъ. Но какъ скорость, такъ и направленіе летящихъ тѣлъ, измѣняются на самомъ дѣлѣ отъ сопротивленія воздуха и отъ притяженія оказываемаго землею.

На основаніи законовъ, выведенныхъ нами выше, дѣйствіе тяжести заставляетъ всякое летящее тѣло описывать параболическія линіи, фигуры которыхъ измѣняются болѣе или менѣе отъ сопротивленія воздуха.

Поэтому мы не попали бы никогда въ отдаленную точку въ томъ случаѣ, если бы направили каналъ ружья или орудія по прямой линіи, проходящей чрезъ эту точку. Обстоятельство это, извѣстное каждому стрѣлку, заставляетъ какъ ружьямъ, такъ и орудіямъ придавать особенныя устройства.

На фигурѣ 365-й АВ представляетъ разрѣзъ ружья, на верхней части которой.

Фиг. 365.



раго находятся два возвышенія *C* и *D*. Положимъ, что полетъ пули совершается по направленію кривой линіи *BEGFH*, которая пересѣкается въ точкахъ *E* и *F* прямую линію *CDEF*, направленную чрезъ верхнія точки возвышеній. Понятно, что если цѣль находится на прямой линіи между *D* и *E*, то должно направить дуло такъ, чтобы приподнялась линія выстрѣла, т. е. должно прицѣливаться нѣсколько выше точки, въ которую желаютъ попасть. Если точка эта находится въ *E* или въ *F*, то прицѣливаются прямо на нее; при нахожденіи точки между *E* и *F* прицѣливаются нѣсколько ниже и наконецъ прицѣливаются выше точки, если она находится по ту сторону *F*. Изъ всего этого слѣдуетъ, что для мѣткости выстрѣловъ, каждый стрѣлокъ долженъ знать хорошо точки пересѣченія полета пули, пущенной изъ его ружья, съ линіею, по которой происходятъ прицѣливаніе.

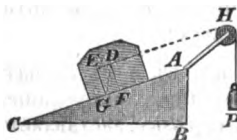
При выстрѣлахъ изъ артиллерійскихъ орудій, даютъ послѣднимъ извѣстное наклоненіе къ горизонту. Величина этого наклоненія зависитъ отъ отдаленія того мѣста, въ которое желаютъ попасть ядромъ или другимъ снарядомъ. Пущенный изъ орудія снарядъ летитъ всегда по дугѣ, направленіе которой бываетъ тѣмъ выше надъ горизонтомъ, чѣмъ значительнѣе уголъ наклоненія самаго орудія.

Дѣйствіе тяжести на тѣла, движущіяся по наклонной плоскости и по дугѣ круга.

Движе-
ніе по
наклон-
ной
плоско-
сти и по
кривой
линии.

§ 129. Всякое тѣло, находящееся на наклонной плоскости, быва-
етъ подвержено дѣйствию тяжести DG (фиг. 366), которое въ на-
стоящемъ случаѣ, какъ мы уже видѣли, можетъ

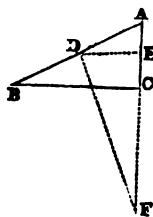
Фиг. 366.



быть разложено на двѣ составляющія: одну DF перпендикулярную къ плоскости и другую DE параллельную къ послѣдней. Первая изъ этихъ составляющихъ ограничивается давленіемъ на плоскость, между тѣмъ какъ вторая произ-
водитъ скатываніе тѣла. Какъ послѣдняя сила составляетъ только извѣстную часть отъ полного напряженія тяже-
сти, то очевидно, что движеніе тѣла, хотя и будетъ совершаться по общимъ законамъ дѣйствія тяжести, т. е. равноускоренно; но дви-
женіе это будетъ совершаться гораздо медленнѣе противу того, если бы на тѣло дѣйствовало полное напряженіе тяжести, т. е. когда бы тѣло падало свободно въ пространствѣ.

Основываясь на этомъ, съ перваго взгляда кажется, что и самая скорость, пріобрѣтенная тѣломъ по достиженіи низшей точки на-
клонной точки, должна быть менѣе той скорости, которую пріобрѣ-
таетъ тѣло падающее отвѣсно съ той же высоты по достиженіи
основанія наклонной плоскости. Но на самомъ дѣлѣ выходитъ иначе,
въ чемъ мы можемъ убѣдиться съ помощію слѣдующаго рассу-
жденія.

Мы уже говорили, что сила, скатывающая тѣло по плоскости, во-
столько разъ менѣе цѣлаго напряженія тяжести, во сколько высота
плоскости менѣе длины ея. Положимъ, что высота AC наклонной
Фиг. 367.



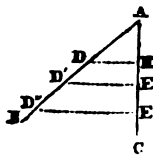
плоскости (фиг. 367), составляетъ одну треть ея дли-
ны AB . Ясно, что и сила, скатывающая тѣло, будетъ
второе менѣе цѣлаго напряженія тяжести, а слѣдова-
тельно и скорость, которую пріобрѣтетъ тѣло въ
концѣ одной секунды, должна быть второе меньше
той скорости, которую бы пріобрѣло тѣло при сво-
бодномъ паденіи по вертикальной линіи. Точно также
и пространство, пройденное тѣломъ во время первой
секунды своего движенія по плоскости, будетъ второе
меньше того пространства, которое бы оно прошло при вертикаль-
номъ паденіи. Если принять AD равнымъ трети того пространства,
которое проходитъ тѣло при свободномъ паденіи въ одну секунду, то
проведя перпендикуляръ къ линіи AB до пересѣченія съ продол-
женною линіею AC , мы получимъ на основаніи равенства треуголь-
никовъ ABC и ADF , что AD составляетъ треть отъ AF . Слѣдова-

тельно AF будетъ выражать пространство, пройденное свободно падающимъ тѣломъ въ первую секунду его паденія. Значитъ тѣло, скатывающееся изъ точки A , придетъ по истеченіи одной секунды въ точку D , тогда какъ при вертикальномъ паденіи оно достигло бы въ тотъ же самый моментъ до точки F .

Проведя горизонтальную линію DE , мы найдемъ, что отношеніе между AD и AE будетъ тоже, что между AC и AB , т. е. AE будетъ составлять *треть* отъ AD . Но какъ AD составляетъ *треть* отъ AF , то AE будетъ равно *одной девятой* AF . Примѣняя къ настоящему случаю законъ пропорціональности пространствъ квадратамъ временъ, употребленнымъ на ихъ прохожденіе, найдемъ, что тѣло, падающее отвѣсно съ точки A , достигло бы точки E въ концѣ $\frac{1}{3}$ секунды, потому что по окончаніи секунды оно проходитъ пространство AF . Поэтому и скорость, которую приобретаетъ тѣло, достигнувъ до точки E , будетъ втрое менѣ той, которую оно приобретаетъ по достиженіи точки F . Но мы уже сказали, что при скатываніи по наклонной плоскости, скорость тѣла въ точкѣ D , по прошествіи одной секунды скатыванія, будетъ втрое менѣ той скорости, которую бы оно имѣло въ точкѣ F по прошествіи секунды при вертикальномъ своемъ паденіи. Следовательно скорости тѣла въ точкахъ D и E должны быть совершенно одинаковы.

Что мы сказали о скорости, приобретенной тѣломъ по прошествіи первой секунды скатыванія по наклонной плоскости, то очевидно можно применить и къ скорости, которую бы приобрѣло тѣло во *всякое* другое время. Поэтому, если два тѣла падаютъ изъ одной

Фиг. 368.

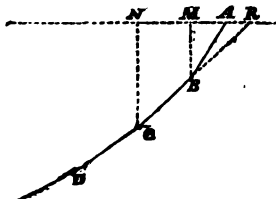


точки A (фиг. 368), вслѣдствіе дѣйствія тяжести — одно по наклонной плоскости AB , а другое по направленію отвѣсной линіи AC , то скорости, приобретаемыя тѣломъ въ точкахъ D, D', D'' , будутъ взаимно равны скоростямъ втораго тѣла въ точкахъ E, E', E'' , расположенныхъ въ однихъ горизонтальныхъ плоскостяхъ съ первыми точками.

На этомъ основаніи мы имѣемъ право заключить, что скорость, приобретаемая въ какой нибудь извѣстный моментъ времени тѣломъ, скатывающимся по наклонной плоскости отъ дѣйствія тяжести, есть ничто иное, какъ скорость, на которую опустилось бы тѣло, падая свободно по направленію отвѣсной линіи.

Чтобы опредѣлить какимъ образомъ совершается паденіе тѣла по направленію кривой линіи, раздѣлимъ эту линію на части $AB, CD...$

Фиг. 369.

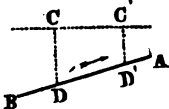


(фиг. 369), изъ которыхъ каждую можно принять за небольшую прямую линію. Каждую изъ послѣднихъ мы можемъ принять за наклонную плоскость. Если тѣло начинаетъ двигаться отъ A , то по достиженіи точки B оно на основаніи предыдущаго, приобретаетъ скорость, соответствующую высотѣ BM . Носитъ того оно приметъ направленіе BC и будетъ находится при тѣхъ же условіяхъ,

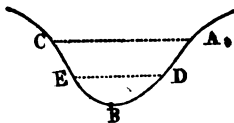
какъ и въ томъ случаѣ, если бы оно падало изъ точки R по наклонной плоскости RBC ; поэтому по достиженіи точки C оно будетъ имѣть скорость, соответствующую высотѣ CN . Продолжая такимъ образомъ слѣдить за паденіемъ тѣла по различнымъ частямъ, на которыя мы раздѣлили кривую линію, найдемъ, что въ каждой точкѣ ея оно будетъ имѣть скорость, соответствующую отвѣсной высотѣ начальной точки A надъ данною точкою.

Если тѣло будетъ брошено кверху по направленію наклонной плоскости, то очевидно, что оно бы двигалось равномерно со скоростію, приобретенною въ послѣдній моментъ дѣйствія силы, если бы во время этого движенія не дѣйствовала на него сила тяжести. Последняя сила, въ настоящемъ случаѣ, дѣйствуетъ по тѣмъ же самымъ законамъ, какъ и при скатываніи тѣла по наклонной плоскости, съ тою только разницею, что при поднятіи она замедляетъ движеніе тѣла. И въ самомъ дѣлѣ, та часть тяжести, которая при паденіи ускорала скатываніе, будетъ одинаковымъ образомъ уменьшать скорость восхожденія, т. е. уменьшеніе испытываемое тѣломъ, поднимающимся отъ точки D къ D' (фиг. 370), будетъ совершенно равно

Фиг. 370. увеличенію той скорости, которую бы оно приобрѣтало при прохожденіи того же самого пути $D'D$ по противоположному направленію. Слѣдовательно, если въ D тѣло имѣло скорость, соответствующую высотѣ CD , то въ D' оно будетъ имѣть скорость, соответствующую высотѣ $C'D'$; при этомъ очевидно мы предполагаемъ, что точки C' и C лежатъ на одной горизонтальной линіи.



Зная, какимъ образомъ совершается опусканіе и поднятіе тѣла по наклонной плоскости, мы можемъ опредѣлить движеніе тѣла по кривымъ линіямъ различной формы. Если тѣло, падающее изъ точки A , движется по линіи ABC (фиг. 371), то скорость его будетъ постепенно ускоряться до тѣхъ поръ, пока оно не достигнетъ самой низшей точки B , въ которой оно будетъ имѣть скорость, соответствующую высотѣ горизонтальной линіи AC надъ точкою B . Вслѣдствіе приобретенной скорости тѣло начнетъ подниматься по направленію къ точкѣ C ; но какъ тяжесть на этомъ пути будетъ постоянно заставлять тѣло опускаться книзу, то очевидно, что движеніе его будетъ замедляться. Поэтому скорость тѣла будетъ постепенно уменьшаться. Какъ это уменьшеніе совершается по тѣмъ же законамъ, по которымъ происходило прежде увеличеніе скорости, въ томъ случаѣ, когда кривая линія BC имѣетъ совершенно одинаковое расположеніе съ линіею BA , то очевидно, что по достиженіи точки D оно будетъ имѣть ту самую скорость, которою обладало во время прохожденія точки E , находящейся въ одной горизонтальной плоскости съ точкою E . Слѣдовательно по достиженіи точки C , лежащей въ одной горизонтальной плоскости съ точкою A , скорость его слѣдуетъ равною нулю. Тогда

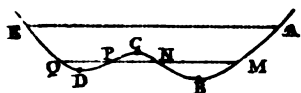


Фиг. 371.

тѣло будетъ покоряться только одному дѣйствию тяжести, которая заставитъ его вновь опускаться къ точкѣ *B*. По достиженіи послѣдней точки тѣло, вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости, поднимется къ *A*, потомъ снова опустится въ противоположную сторону и т. д., повторяя это движеніе взадъ и впередъ до тѣхъ поръ, пока сопротивление воздуха и треніе, замедляющія постепенно оба эти движенія, не прекратятъ ихъ наконецъ совершенно.

Изъ сдѣланнаго нами разсмотрѣнія слѣдуетъ, что скорость, полученная отъ дѣйствія тяжести, опускающимся тѣломъ, вполне достаточна для того, чтобы привести тоже самое тѣло и въ тоже самое время на ту же высоту.

Если бы тѣло двигалось по кривой *ABCDE* (фиг. 372), опускаясь изъ точки *A*, то оно опустилось бы до точки *B*, поднялось бы до *C*, прошло бы эту точку для того, чтобы снова опуститься до *D* и опять бы поднялось до точки *E*, лежащей въ одной горизонтальной линіи съ точкою *A*. Какъ скорость



тѣла по достиженіи послѣдней точки сдѣлается равною нулю, то оно, вслѣдствіе дѣйствія тяжести, начнетъ опускаться и пройдетъ путь *EDCBA*, и т. д. При этомъ движеніи скорости тѣла въ точкахъ *M*, *N*, *P* и *Q*, лежащихъ на одной горизонтальной линіи, будутъ очевидно равны между собою.

Опредѣленіе напряженія тяжести.

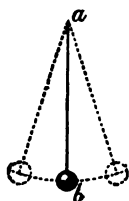
§ 130. Вслѣдствіе сказаннаго нами, мы можемъ смотрѣть на тяжесть на одномъ и томъ же мѣстѣ земли, для высотъ мало удаленныхъ отъ земной поверхности, какъ на силу равноускоряющую. Какъ всѣ тѣла падаютъ въ пустотѣ съ одинаковою скоростью, то очевидно, что мѣрою напряженія тяжести можетъ намъ служить скорость, сообщаемая ею въ одну секунду всякому тѣлу падающему въ пустотѣ.

Скорость эта, обыкновенно означаемая буквою *g*, какъ показываютъ опыты, равна у насъ въ Петербургѣ 32,2 фут., что равно почти 4,9 метра.

Но болѣе точное опредѣленіе скорости производится посредствомъ особеннаго прибора, называемаго *маятникомъ*.

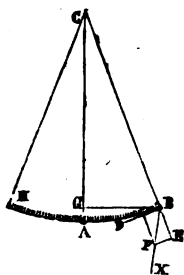
Маят-
никъ.

§ 131. Подъ маятникомъ разумѣютъ всякое тяжелое тѣло b (фиг. 373), соединенное посредствомъ нити или негибкаго прута съ неподвижною точкою a , которая позволя-



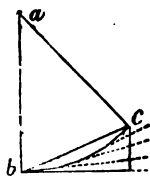
еть ему двигаться на вѣсу свободно взадъ и впередъ. Тѣло, привѣшенное такимъ образомъ къ неподвижной оси, будетъ находиться въ равновѣсїи, когда точка привѣса, центръ тяжести тѣла и центръ земли будутъ находиться на одной прямой линїи, т. е. когда направленіе нити будетъ совпадать съ направлениемъ продолженнаго земнаго радіуса, потому что въ этомъ случаѣ нить, укрѣпленная въ томъ же самомъ направленїи, уничтожаетъ сдѣвленїемъ своихъ частицъ напряженїе тяжести, притягивающей тѣло къ центру земли. Если же вывести тѣло изъ этого положенїя и привести его въ точку B (фиг. 374), уклонивъ чрезъ

Фиг. 374.



то маятникъ отъ отвѣса на уголь o и потомъ предоставить его самому себѣ, то дѣйствїе тяжести не будетъ уже уничтожаться сопротивленїемъ оси. Тяжесть въ этомъ случаѣ будетъ дѣйствовать на тѣло по направленїю отвѣсной линїи BX съ извѣстнымъ напряженїемъ BF . Если разложить это напряженїе тяжести на двѣ составляющїя силы: BE , совпадающую съ направлениемъ нити BC , и BD , перпендикулярную къ последнему направленїю, то легко видѣть, что первая составляющая будетъ уничтожаться сопротивленїемъ, представляемымъ сдѣвленїемъ частицъ нити, и что тѣло будетъ подвержено только одному дѣйствїю составляющей BD , стремящейся приводить его къ отвѣсному положенїю AC . Какъ разстоянїе тѣла отъ неподвижной точки во время этого движенїя остается постоянно одно и тоже, то очевидно, что тѣло будетъ совершать свое движенїе по дугѣ круга, радіусъ котораго есть линїя, соединяющая тѣло съ точкою привѣса и называемая длиною маятника. Въ каждой точкѣ этой дуги тяжесть будетъ доставлять новое приращенїе скорости тѣла и потому движенїе его будетъ ускоренное. Но это ускоренїе движенїя не будетъ происходить равномерно, какъ при движенїи тѣла по наклонной плоскости. И въ самомъ дѣлѣ, принявъ дугу, описываемую маятникомъ, за совокуп-

Фиг. 375.



ность множества самыхъ малыхъ линїй, легко замѣтить, что наклоненїе этихъ линїй къ горизонту постоянно уменьшается, начиная отъ c до b (фиг. 375) и въ точкѣ b уничтожается совершенно. Понятно, что вмѣстѣ съ этимъ уменьшенїемъ угла склоненїя линїй, составляющихъ дугу движенїя, и самая скорость движенїя маятника не можетъ быть равномерною, какъ это бываетъ при паденїи тѣла, по наклонной плоскости cb , при которой уголъ склоненїя остается постоянно одинъ и тотъ же.

Въ этой *неравноплотности* движенія маятника мы можемъ убѣдиться еще болѣе, если опредѣлить силу движущую его въ зависимости отъ угла отклоненія.

Проведя изъ точки *B* (фиг. 374) линію *BG* отвѣсную къ *AC*, мы получимъ треугольникъ *CBG*, подобный треугольнику *EBF*, въ которомъ $EF=BD$, а *BF* = напряженію тяжести, выражаемому произведеніемъ изъ массы тѣла на величину притяженія земли. Изъ подобія этихъ треугольниковъ мы получимъ пропорцію $BD:BF=BG:BC$, откуда $BD=BF \cdot \frac{BG}{BC}$. Изъ этого выраженія слѣдуетъ, что движущая сила дѣйствуетъ *постоянно*, какъ составляющая полного напряженія тяжести и что поэтому движеніе маятника, во время приближенія его къ вертикальной линіи, должно быть ускоренное, но при этомъ приростаніе скоростей будетъ постоянно уменьшаться, потому что движущая сила *BD* дѣлается тѣмъ менѣе, чѣмъ менѣе самая величина *BG*, выражающая отстояніе маятника отъ положенія его равновѣсія.

Какъ во время приближенія маятника къ положенію его равновѣсія тяжесть дѣйствуетъ на него непрерывно, то очевидно, что приростаніе скоростей будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока маятникъ не достигнетъ отвѣсной линіи, на которой дѣйствіе тяжести будетъ вдругъ уничтожено сопротивленіемъ нити. Сопротивленіе это можетъ прекратить дѣйствіе тяжести въ моментъ вступленія тѣла на отвѣсную линію, но очевидно, что оно не можетъ уничтожить той скорости, которую приобрѣло тѣло до достиженія этой линіи. Свойство инерціи заставляетъ тѣло продолжать движеніе по другую сторону отвѣсной линіи съ тою наибольшею скоростію, которую оно приобрѣло въ послѣднюю частицу времени предъ достиженіемъ отвѣсной линіи.

Какъ связь тѣла съ осью движенія будетъ оставаться таже самая, то очевидно, что оно будетъ двигаться по дугѣ того же круга, но движеніе его будетъ уже равноукосненное, потому что по оставленіи отвѣсной линіи, одна изъ составляющихъ полного напряженія тяжести, тотчасъ начнетъ на него дѣйствовать, стремясь возвращать его въ положеніе равновѣсія. Какъ стремленіе это повторяется въ каждой точкѣ дальнѣйшаго пути, описываемого тѣломъ по дугѣ, то очевидно, что скорость, сохраняемая имъ по инерціи, будетъ постоянно уменьшаться. Но для приведенія этой скорости къ нулю, т. е. для совершеннаго уничтоженія ея необходимо, чтобы тяжесть дѣйствовала на тѣло тоже самое время, какое оно употребило прежде для приведенія этой скорости отъ нуля до наибольшаго предѣла, т. е. до той скорости, до которой достигло тѣло въ моментъ вступленія его въ точку *A*. Это значитъ, что для приведенія къ нулю скорости, сохраняемой тѣломъ по инерціи, тяжесть должна дѣйствовать во все время движенія его по дугѣ *АН*, равной дугѣ *AB*.

Впрочемъ въ справедливости этого мы можемъ убѣдиться также, припомнивъ законы движенія тѣла по дугѣ круга, гдѣ какъ мы видѣли, скорость, полученная отъ дѣйствія тяжести опускающимся тѣломъ, вполнѣ достаточна для того, чтобы привести тоже самое тѣло и въ тоже самое время на ту же высоту. Послѣ побѣжденія скорости сохраняемой тѣломъ по инерціи, оно будетъ повиноваться

въ точкѣ *H* только одному дѣйствию тяжести и придетъ въ то самое положеніе, въ которомъ оно было во время нахождения своего въ точкѣ *B*. Тѣло начнетъ опускаться, достигнетъ отвѣсной линіи и потомъ поднимется снова, производя при паденіи равноускоренное, а при поднятіи равноускоренное движеніе; при прохожденіи же отвѣсной линіи оно будетъ сохранять наибольшую скорость. Величина дуги *BH*, выраженная въ градусахъ, минутахъ или секундахъ, называется *величиною* или *длиною размаха*, а самое движеніе по дугѣ *колебаніемъ* или *качаніемъ маятника*.

Въ прежнее время физики разумѣли подъ колебаніемъ два движенія маятника по дугѣ, т. е. движеніе отъ *B* до *H* и потомъ отъ *H* до *B*. Поэтому при чтеніи старинныхъ наблюдателей надъ маятникомъ, должно обращать вниманіе на то, какое именно колебаніе означено въ нихъ: простое или двойное.

Вслѣдствіе приведеннаго нами разсужденія понятно, что колебанія, при которыхъ величины размаха сохраняютъ одну и ту же величину, должны продолжаться до тѣхъ поръ, пока какія нибудь важнѣйшія причины не измѣнятъ или наконецъ не прекратятъ его совершенно. Этого нельзя доказать непосредственнымъ опытомъ, потому что на поверхности земли нельзя произвести ни одного движенія такимъ образомъ, чтобы оно не встрѣчало сопротивленія. Препятствія, встрѣчаемыя при движеніи маятника, заключаются въ сопротивленіи воздуха и въ треніи на точкѣ привѣса. Оба эти препятствія постоянно уменьшаютъ величины размаха маятника, который приходитъ наконецъ въ состояніе равновѣсія, означаемое, какъ мы уже говорили отвѣснымъ положеніемъ. Но что безъ этихъ сопротивленій маятникъ долженъ дѣйствительно удовлетворять выведеннымъ нами условіямъ, видно изъ слѣдующаго обстоятельства: по мѣрѣ уменьшенія сопротивленій посредствомъ удобнаго привѣшиванія и придачи приличной формы колеблющемуся тѣлу, колебанія его продолжаются гораздо большее время и величины размаха все менѣе и менѣе разнятся между собою.

ЗАКОНЫ
ДВИЖЕ-
НІЯ МАГ-
НИТНОГО
МАЯТ-
НИКА.

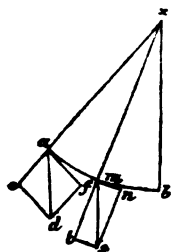
§ 132. Маятникъ представляетъ намъ примѣръ колебаній, производимыхъ тяжестію. Понятно, что такіа колебанія можетъ производить и всякая другая непрерывно дѣйствующая сила. Такъ напр. магнитная стрѣлка, выведенная изъ положенія равновѣсія, колеблется вслѣдствіе постоянного дѣйствія на нее магнитнаго притяженія земли; упругая, натянутая струна колеблется вслѣдствіе частичной силы, постоянно стремящейся привести ее въ состояніе равновѣсія. Силы, производящія эти колебанія, совершенно различны какъ по своей природѣ, такъ и по величинѣ, но онѣ сходны между собою въ томъ отношеніи, что постоянно стремятся привести въ состояніе равновѣсія тѣло, выведенное изъ этого положенія. Поэтому законы, выведенные для колебательнаго движенія, не ограничиваются однимъ примѣненіемъ къ движеніямъ маятника, производимымъ тяжестію, но имѣютъ обширное приложеніе и для другихъ физическихъ явленій.

Какъ вообще въ научныхъ изслѣдованіяхъ, такъ и теперь, для изученія законовъ колебаній маятника, разсмотрѣніе должно начинаться съ простѣйшихъ случаевъ и отъ нихъ уже переходитъ къ болѣе сложнымъ. Самый простѣйшій случай очевидно представляетъ намъ колебаніе одной матеріальной точки. Вообще говоря, матеріальную точку нельзя представить себѣ колеблющеюся подобно маятнику, если она не привѣшена на какой нибудь нити или негибкомъ прутѣ, т. е. если она не соединена съ осью привѣса цѣлымъ рядомъ физическихъ точекъ, которыя приводятся въ колебательное движеніе вмѣстѣ съ привѣшенною къ нимъ точкою. Понятно, что вслѣдствіе такого отношенія матеріальной точки къ точкамъ, служащимъ связью, послѣднія не могутъ не оказывать вліянія на ея качанія. При всемъ томъ вѣтъ никакого затрудненія представить себѣ идеальный маятникъ, состоящій только изъ одной матеріальной точки, лежащей на нерастяжимой и неизмѣющей вѣса нити. Такой маятникъ, котораго физически представить невозможно, называется *математическимъ* или *ярымъ* маятникомъ, въ отличіе отъ маятника, висѣщаго на прутѣ или нити и называемаго *сложнымъ* или *физическимъ*. Какъ каждая точка физическаго маятника имѣетъ вѣсъ, то мы можемъ принять его за совокупность различной длины математическихъ маятниковъ, соединенныхъ между собою неизмѣннымъ образомъ.

Сперва обратимся къ изученію законовъ колебанія математическаго маятника и для повѣрки ихъ на опытѣ будемъ ограничиваться такимъ маятникомъ, который наиболѣе приближается къ математическому. Для этого берутъ самую тонкую нить, къ нижнему концу которой привѣшенъ шарикъ или двойной конусъ. Самыя нити дѣлаютъ изъ тонкихъ металлическихъ проволокъ или изъ волоконъ алое; послѣднія были употреблены французскими академиками при опытахъ ихъ подъ экваторомъ и Цахомъ въ Готѣ. Привѣшиваемая же масса должна состоять изъ вещества, имѣющаго по возможности большій относительный вѣсъ, какъ напр. свинецъ, латунь, серебро и платина.

Первый изъ этихъ законовъ состоитъ въ томъ, что времена колебаній одного и того же математическаго маятника не зависятъ отъ величины дугъ колебаній, если только эти дуги не превышаютъ 5 градусовъ.

Основаніе этого закона выводится изъ положеній прямолинейнаго
Фиг. 376. движенія. Пусть x (фиг. 376) представляетъ точку

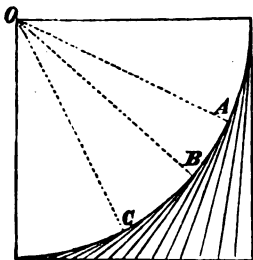


Часть I.

движенія. Пусть x (фиг. 376) представляет точку привѣса математическаго маятника xb , а уголъ axb первоначальный уголъ отклоненія. Тяжесть дѣйствуетъ на матеріальный пунктъ въ точкѣ a по вертикальному направленію ad . Но какъ a должна оставаться на дугѣ amb , то движеніе, направляемое непрерывно по касательнымъ къ дугѣ, будетъ проходить, какъ мы уже видѣли, вслѣдствіе силы, составляющей извѣстную часть отъ полного напряженія тяжести. Часть эта получается отъ разложе-

ніа силы ad на двѣ составляющія ae и af , перпендикулярныя другъ къ другу, изъ которыхъ первая вытягиваетъ нить, а вторая производитъ движеніе. Если взять другое положеніе маятника, напр. когда онъ отклонится отъ xb только на уголъ txb , то тяжесть будетъ дѣйствовать на тотъ же самый матеріальный пунктъ въ точкѣ t одинаковымъ образомъ, какъ и въ томъ случаѣ, когда онъ находился въ точкѣ a ; вслѣдствіе чего мы можемъ принять силу ta равною и параллельною ad . Если разложить ta на составляющія tn и tm , то tn представитъ часть силы тяжести, употребляемой для приведенія въ движеніе точки t по направленію касательному къ дугѣ.

Посмотримъ теперь, въ какомъ отношеніи между собою находятся напряженія силъ tn и af . Раздѣливъ дугу amb на множество прямыхъ линій, мы можемъ принять ее за рядъ наклонныхъ плоскостей (фиг. 377), у которыхъ уголъ наклоненія постоянно увеличивается по мѣрѣ отклоненія его отъ точки,



означающей равновѣсіе маятника. Вмѣстѣ съ увеличеніемъ угловъ наклоненія, будетъ также увеличиваться и величина той части тяжести, которая употребляется для скатыванія тѣла. Углы же наклоненія увеличиваются по мѣрѣ увеличенія угла отклоненія маятника; слѣдовательно вмѣстѣ съ увеличеніемъ угла отклоненія должна увеличиваться и величина двигающихъ силъ. Разсматривая отношеніе между углами отклоненія и двигающими силами съ математическою строгостію, найдемъ, что между

обѣими этими величинами не существуетъ точной пропорціональности. Но погрѣшность, происходящая при допущеніи этого отношенія, будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ незначительнѣе самые углы отклоненія и наконецъ для угловъ отклоненія, равныхъ малому числу градусовъ, она такъ мала, что ею даже можно пренебречь совершенно при практическихъ примѣненіяхъ маятника. Такъ напр. если углы отклоненія axb и txb (фиг. 376) не превышаютъ 5 градусовъ, то можно принять, что силы af и tn , скатывающія матеріальный пунктъ по дугѣ amb , относятся между собою какъ самые углы отклоненія: если уголъ axb вдвое болѣе угла txb , то и af будетъ вдвое болѣе tn . Если мы будемъ разсматривать такіе малые моменты времени, что пространства, пройденныя въ теченіи ихъ матеріальнымъ пунктомъ, находящимся въ a и въ t , можно принять за безконечно малыя части относительно путей amb и bt , т. е. когда эти пространства можно считать за прямыя линіи, на протяженіи которыхъ напряженіе силъ af и tn почти совершенно остается неизмѣннымъ, то на основаніи выведеннаго нами отношенія между линіями af и tn , пространство, пройденное матеріальнымъ пунктомъ въ первый моментъ времени въ точкѣ a , будетъ вдвое болѣе пространства, пройденнаго имъ въ тоже время въ точкѣ t . Понятно, что тоже самое отношеніе

между пространствами должно существовать и для вторыхъ моментовъ движенія матеріальнаго пункта изъ точекъ a и m . Точно такимъ же родомъ можемъ прийти къ заключенію, что пространство, пройденное матеріальнымъ пунктомъ, опускающимся изъ точки a въ три первые момента времени, будутъ въ два раза болѣе пути, описаннаго въ тоже самое время матеріальнымъ пунктомъ, опускающимся изъ точки m . Однимъ словомъ, тоже самое отношеніе должно существовать между пространствами, проходимыми въ равныя времена матеріальнымъ пунктомъ, опускающимся изъ точекъ a и m . Поэтому дуга mb будетъ пройдена въ тоже самое время, въ которое опишется и вдвое большая дуга ab . Какъ силы, производящія движеніе маятника по дугѣ, пропорціональны угламъ отклоненія непревышающимъ извѣстнаго предѣла, то очевидно, что результатъ получился бы тотъ же самый, если бы при нашемъ разсужденіи мы взяли другія количественныя отношенія между величинами ab и mb : мы нашли бы, что большая и меньшія дуги отклоненія описываются однимъ и тѣмъ же маятникомъ въ равныя времена.

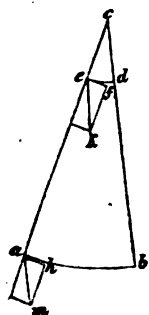
Законъ этотъ, называемый *изохронизмомъ* малыхъ качаній маятника, былъ показанъ впервые *Галилеемъ*.

Для повѣрки этого закона на опытѣ должно опредѣлить съ точностію время, потребное для совершенія маятникомъ нѣсколькихъ сотенъ колебаній. Если наблюдать время отъ начала движенія, когда дуги имѣютъ напр. отъ 4° до 5° , потомъ когда онѣ простираются отъ 2° до 3° и наконецъ когда колебанія сдѣлаются такъ малы, что должно наблюдать ихъ съ помощію лупы, то найдемъ всѣ эти три рода качаній *изохроническими*.

Второй законъ движенія маятника показываетъ, въ какой зависимости находится продолжительность одного колебанія отъ длины маятника. Его можно выразить слѣдующимъ образомъ: *продолжительность одного колебанія неравныя по длинѣ маятниковъ, пропорціональна квадратнымъ корнямъ изъ длины ихъ*. Такъ напр. если длина одного маятника относится къ длинѣ другаго, какъ 1 къ 4 и слѣдовательно, если квадратные корни изъ длины ихъ относятся какъ 1 къ 2, то и продолжительность одного колебанія втораго маятника, будетъ вдвое болѣе противу перваго.

Пусть cd и cb (фиг. 378) будутъ два математическіе маятника,

Фиг. 378.

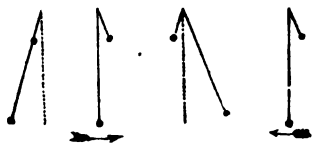


которыхъ длины относятся какъ 1 къ 4 и положимъ, что оба маятника отклонены отъ положенія равновѣсія на одинъ и тотъ же уголъ. Дѣйствіе тяжести am на матеріальный пунктъ въ точкѣ a , равно совершенно дѣйствію тяжести на одинаковый матеріальный пунктъ, находящійся въ точкѣ e . Поэтому составляющія силы ef и ah , которыми опредѣляется движеніе по дугамъ ed и ab , также равны. Хотя эти силы, какъ и самая тяжесть, отъ разложенія которой онѣ образовались, должны дѣйствовать непрерывно, но величина ихъ измѣняется въ различныхъ

точкахъ дугъ, по которымъ проходятъ матеріальныя пункты, подверженныя дѣйствию силъ ef и ah . И въ самомъ дѣлѣ, когда оба эти пункта достигнутъ низшихъ точекъ, соответственныхъ имъ дугъ, то силы, обуславливающія движеніе ихъ, будутъ составлять уже меньшія части отъ цѣлаго напряженія тяжести, сравнительно съ тѣми частями, которыя соответствуютъ высшимъ точкамъ тѣхъ же самыхъ дугъ. Но на протяженіи весьма малаго пути, измѣненія въ величинѣ составляющихъ силъ будутъ весьма малы и конечно мы можемъ вообразить себѣ этотъ путь столь малымъ, что на протяженіи его составляющія силы будутъ дѣйствовать неизмѣнно и равномерно.

При такомъ предположеніи, на основаніи дѣйствія равноускорительныхъ силъ, пространства пройденныя въ неравныя времена относятся между собою какъ квадраты временъ, такъ что въ продолженіи вдвое большаго времени, должно быть пройдено въ четыре раза большее пространство. Изъ простыхъ началъ геометріи извѣстно, что дуги ab и ed пропорціональны радіусамъ, которые въ избранномъ нами примѣрѣ относятся какъ 4 къ 1. Поэтому матеріальный пунктъ, находящійся въ a , употребитъ вдвое времени противу матеріальнаго пункта, находящагося въ точкѣ e , для описанія одинаковаго центральнаго угла. Тоже самое должно быть и для всякаго другаго центральнаго угла, описываемаго матеріальными пунктами, находящимися въ точкахъ a и e . Поэтому мы можемъ сказать вообще, что для прохожденія дуги ab , соответствующей тому же углу при c , которому соответствуетъ и дуга ed , одинъ и тотъ же матеріальный пунктъ долженъ употребитъ вдвое болѣе времени, нежели для прохожденія дуги ed . Слѣдовательно, если длины маятниковъ относятся какъ 1 къ 4, то времена колебаній ихъ относятся какъ 1 къ 2, т. е. какъ квадратные корни изъ ихъ длины.

Законъ этотъ можетъ быть повѣренъ на опытѣ слѣдующимъ образомъ. Берутъ два маятника, изъ которыхъ одинъ въ четыре раза длиннѣе противу другаго и привѣшиваютъ ихъ къ двумъ точкамъ одной и той же горизонтальной линіи такимъ образомъ, чтобы одинъ изъ нихъ лежалъ позади другаго. Если вывести оба эти маятника изъ ихъ положеній равновѣсія, въ одну сторону и на одинаковое число градусовъ, какъ показываетъ фиг. 379, и потомъ въ одно и тоже время предоставить ихъ самимъ себѣ, то найдемъ, что они будутъ принимать послѣдовательно, относительно другъ друга, положенія, представленныя на фигурахъ 380, 381 и 382. Послѣ полного Фиг. 379, 380, 381 и 382. колебанія короткаго маятника, длинный

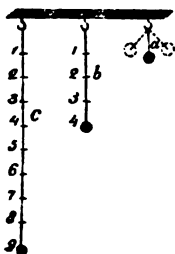


сдѣлаетъ только половину качанія (фиг. 380); когда же послѣдній окончитъ колебаніе, первый придетъ въ точку, служившую началомъ его движенія (фиг. 381). Во время нахождения длиннаго маятника по срединѣ обратнаго своего пути, короткій окончитъ третіе колебаніе (фиг. 382) и

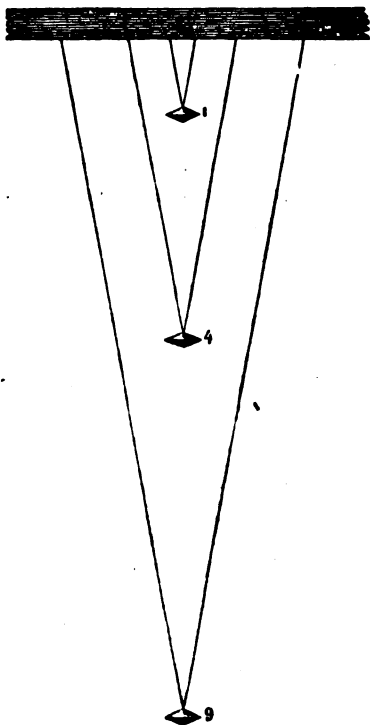
наконецъ, большой маятникъ придетъ къ начальному положенію своему въ одно время съ короткимъ, такъ что оба они будутъ теперь относительно другъ друга какъ и при началѣ движенія (фиг. 379). Опытъ этотъ показываетъ ясно, что когда длинный маятникъ дѣлаетъ одно колебаніе, короткий оканчиваетъ два колебанія.

Точно также опытъ этотъ можетъ быть повѣренъ посредствомъ привѣшивавій, означенныхъ на фиг. 383 и 384, изъ которыхъ послѣднее привѣшиваніе наиболѣе удобно для практическаго употребленія.

Фиг. 383.



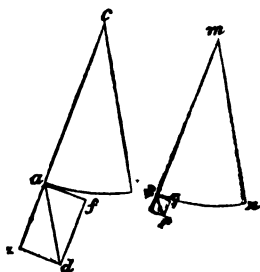
Фиг. 384.



Третій законъ движенія маятника даетъ отношеніе между продолжительностію одного колебанія и величиною силы, производящей послѣднее. Законъ этотъ состоитъ въ томъ, что *время одного колебанія обратно пропорціональны квадратнымъ корнямъ силъ, приводящихъ маятникъ въ движеніе*. Такъ напр. если силы, дѣйствующія на маятникъ одной и той же длины, относятся между собою какъ 1 къ 4 и слѣдовательно корни ихъ какъ 1 къ 2, то продолжительность одного колебанія маятника отъ первой силы будетъ относиться къ продолжительности одного его колебанія, производимаго второй силой, не какъ 1 къ 2, но какъ 2 къ 1. Поэтому маятникъ, приводимый въ движеніе тяжестью, которой напряженіе было бы въ 4 раза болѣе, противу дѣйствительно существующей на поверхности земли, окончитъ одно колебаніе въ половину времени, необходимаго

тому же маятнику для окончанія одного колебанія на земной поверхности.

Справедливость этого третьяго закона, подобно двумъ первымъ, можно вывести изъ положеній прямолинейнаго движенія. Пусть *сб* (Фиг. 385 и 386).



и *тп* (Фиг. 385 и 386) будутъ два математическіе маятника равной длины, отклоненные отъ своего положенія на одинъ и тотъ же уголъ. Положимъ, что сила *ад*, дѣйствующая въ точкѣ *а*, въ четыре раза болѣе силы *зр*, дѣйствующей въ *з* на матеріальный пунктъ, одинаковый по величинѣ съ пунктомъ находящимся въ *а*. Поэтому и составляющія силы *аф* и *зг*, производящія движеніе матеріальныхъ пунктовъ въ первые моменты времени по дугамъ *аб* и *зн*, относятся между собою какъ 4 къ 1. Для весьма малыхъ промежутковъ времени можно разсматривать дѣйствіе этихъ силъ какъ равноѣрно-ускорительное. При такомъ предположеніи пути, проходимые матеріальными пунктами, находящимися въ *з* и въ *а* въ неравные времена, относятся какъ квадраты этихъ временъ. Слѣдовательно если *ω* выражаетъ длину пути, совершеннаго пунктомъ двигающимся изъ *з* въ одинъ изъ весьма малыхъ промежутковъ времени, то длина пути пройденнаго въ два такіе промежутка будетъ уже *4ω*. Но путь, описываемый пунктомъ, двигающимся изъ *а* въ первый промежутокъ времени, также равенъ *4ω*, потому что *аф* въ четыре раза болѣе *зг*; значитъ первый пунктъ проходитъ въ два промежутка времени такую дугу, которую второй пунктъ описываетъ въ одинъ промежутокъ времени. Такимъ же образомъ дойдемъ до того, что для описанія дуги *зн* необходимо вдвое болѣе времени, чѣмъ для описанія одинаковой дуги *аб*, проходимой подъ вліяніемъ въ четыре раза большей силы. И такъ, если дѣйствующія силы относятся между собою какъ 4 къ 1, то времена колебаній маятника относятся какъ 1 къ 2, т. е. обратно пропорціонально квадратнымъ корнямъ этихъ силъ.

Законъ этотъ показываетъ намъ, что маятникъ можетъ быть употребленъ для опредѣленія напряженія тяжести.

Оба послѣдніе закона можно выразить помощію одной математической формулы. Означивъ чрезъ *α* время, въ продолженіе котораго маятникъ, имѣющій единицу длины, совершаетъ полное колебаніе, т. е. описываетъ дугу, которой величина равна *2.аб* (Фиг. 378), и положимъ, что на него дѣйствуетъ сила, напряженіе которой способно сообщить свободно падающей матеріальной точкѣ ускореніе равное одному футу. Тогда время, которое долженъ употребить, для совершенія одного полнаго колебанія, маятникъ, имѣющій длину *l* и подверженный дѣйствію силы, способной сообщить въ одну секунду ускореніе равное *g* футамъ, выразится уравненіемъ $t = \alpha \sqrt{\frac{l}{g}}$, и это уравненіе выражаетъ математическимъ языкомъ тоже самое, что было прежде сказано словами, т. е. что продолжительность одного колебанія *t* возрастаетъ въ отношеніи квадратнаго корня изъ длины маятника *l* и уменьшается въ отношеніи квадратнаго

корня изъ силы, за мѣру которой здѣсь принято ускореніе, сообщаемое ею. Для длины маятника l' и для силы съ ускореніемъ g' , продолжительность одного колебанія t' опредѣлится уравненіемъ $t' = \alpha \sqrt{\frac{l'}{g'}}$. Поэтому $t : t' = \frac{\sqrt{l}}{\sqrt{g}} : \frac{\sqrt{l'}}{\sqrt{g'}}$; это уравненіе еще очевиднѣе выражаетъ математическимъ языкомъ законы выведенные для маятника. Здѣсь не показывается чему равно α , но значеніе его легко опредѣлить посредствомъ опыта. Въ самомъ дѣлѣ, опредѣливъ время одного колебанія t для маятника, имѣющаго длину l и колеблющагося подъ вліяніемъ силы, которая сообщаетъ ускореніе $= g$ футамъ, получимъ изъ уравненія $t = \alpha \sqrt{\frac{l}{g}}$ величины t , l и g , съ помощію которыхъ найдется и α . Но величину α можно вывести также и теоретически, потому что съ помощію высшаго анализа можно вычислить время t , потребное для совершенія полного колебанія, при произвольномъ значеніи l и g , а потому и для того случая, когда l и g равны единицѣ. Такимъ образомъ найдемъ, что $\alpha = \pi$ и потому $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, гдѣ π есть отношеніе окружности къ діаметру, принятому равнымъ 2, т. е. $\pi = 3,1416$.

Если исключить величину g изъ этого уравненія, полученнаго для времени колебанія t , то получимъ: $g = \frac{\pi^2 \cdot l}{t^2}$. Въ частномъ случаѣ, когда $\pi =$ единицѣ времени, т. е. когда оно равно одной секундѣ, g будетъ равно $\pi^2 \cdot l = 3,1416^2 \cdot l = 9,8696 \cdot l$.

Какъ въ этомъ послѣднемъ уравненіи величина l выражаетъ длину такого маятника, котораго качанія совершаются ровно въ одну секунду, т. е. длину секунднаго маятника, то выведенный нами результатъ можетъ быть выраженъ такимъ образомъ: *скорость, которую приобретаетъ тѣло въ одну секунду, при свободномъ паденіи подъ вліяніемъ тяжести, равна произведенію изъ длины секунднаго маятника на число 9,8696*. Поэтому, если длина секунднаго маятника можетъ быть измѣрена точно, до одной сотой части линіи, то употребивъ ее для вычисленія ускоренія g , мы получимъ величину послѣдняго гораздо точнѣе, нежели изъ другихъ способовъ, употребленныхъ съ тою же цѣлію, какъ то посредствомъ измѣренія пространства въ прямыхъ опытахъ паденія тѣлъ по наклонной плоскости и на Атвудовой машинѣ.

Изъ наблюденій опредѣлено, что длина секунднаго маятника въ Петербургѣ равна 97,17 дюйма. Принимая $\pi = 3,14$ и подставляя эти числа въ уравненіе, выведенное для g , получимъ, что послѣдняя величина равна въ Петербургѣ 32,2 фута.

§ 133. Показанные нами законы относятся къ математическому маятнику. Только въ этомъ случаѣ величина ускоренія g , выведенная, при помощи вычисленій, въ зависимости отъ длины секунднаго маятника ($g = l \cdot 9,8696$, гдѣ l есть длина секунднаго маятника), имѣетъ точное значеніе. Конечно, представить себѣ подобный маятникъ легко, но устроить его невозможно, потому что онъ долженъ, какъ мы уже знаемъ, состоять изъ простой невѣсомой нити, оканчивающейся только однимъ матеріальнымъ пунктомъ.

Физическій маятникъ.

Сколько бы мы не приближались къ математическому маятнику искусственнымъ образомъ, но никогда не можемъ достигнуть въ точности до него, потому что какъ бы ни была тонка нить, связывающая матеріальный пунктъ съ точкою привѣса, во всякомъ случаѣ

она будетъ состоятъ изъ болѣе или менѣе совокупности матеріальныхъ точекъ. Однимъ словомъ, всякій составленный нами маятникъ можетъ быть только сложный, а не математическій.

Для разсмотрѣнія движенія сложнаго маятника, обратимся сперва **Фиг. 387.** къ самому простѣйшему случаю и для того представимъ себѣ такой маятникъ, который состоитъ только изъ двухъ матеріальныхъ частицъ m и n (фиг. 387). На основаніи втораго закона, показывающаго, что времена качаній относятся между собою какъ корни квадратные изъ длинны маятниковъ: частица m , находящаяся ближе къ точкѣ привѣса, должна бы качаться быстрѣе противу частицы n , но какъ обѣ частицы мы предполагаемъ соединенными между собою, то очевидно, что m должно ускорять движеніе n и на оборотъ, движеніе n будетъ замедляться частицею m . Поэтому общія ихъ качанія будутъ совершаться съ нѣкоторою скоростію, заключающеюся между скоростями, съ которыми качались бы частицы m и n каждая отдѣльно. Значитъ качанія обѣихъ, соединенныхъ между собою частицъ m и n , будутъ соответствовать качаніямъ простаго маятника, который длиннѣе fm и короче fn .

Тоже самое происходитъ и во всякомъ физическомъ маятникѣ: частицы, лежащія близъ точки его опоры, имѣютъ стремленіе качаться быстрѣе отдаленныхъ, но какъ всѣ онѣ находятся между собою въ связи, то очевидно, что качаніе ихъ должно совершаться одновременно. Поэтому въ каждомъ сложномъ маятникѣ необходимо должна быть точка, которой движеніе не ускоряется, не замедляется прочею массою и которая, слѣдовательно, движется точно также, какъ простой маятникъ, равный по длинѣ разстоянію этой точки отъ оси привѣса. Такая точка называется *центромъ качанія*. Когда говорится о длинѣ сложнаго маятника, то подъ этимъ разумѣется разстояніе центра качанія отъ точки привѣса, или что одно и тоже, длина математическаго маятника, совершающаго свои качанія въ одно время съ даннымъ физическимъ.

Опредѣленіе
длины и
продолжитель-
ности колеба-
нія физическаго
маятника.

§ 134. Какъ при опытахъ можно употреблять только сложный маятникъ, то для опредѣленія посредствомъ маятника напряженія тяжести, которая согласно приведенному нами математическому разсмотрѣнію, находится въ зависимости отъ длины секунднаго маятника, представляется два затрудненія: *вопервыхъ*, найти длину простаго маятника, совершающаго свои качанія также скоро, какъ и сложный маятникъ, употребленный для наблюденія, и *вовторыхъ*, опредѣлить съ достаточною точностію продолжительность одного колебанія. Длину простаго маятника, соответствующаго физическому, находятъ или приблизительно посредствомъ опыта, или болѣе точнымъ образомъ съ помощію вычисленій.

Въ первомъ случаѣ берутъ такой физическій маятникъ, который ближе всего подходитъ къ математическому и который, какъ мы го-

ворили выше, долженъ состоятъ изъ тончайшей нити съ небольшимъ платиновымъ шарикомъ. Если такой маятникъ повѣсить возлѣ какого нибудь сложнаго и потомъ укорачивать или удлинять первый до тѣхъ поръ, пока оба они не будутъ совершать своихъ качаній одновременно, то очевидно, что мы получимъ приблизительно длину простаго или математическаго маятника, котораго качанія будутъ имѣть одинаковую продолжительность со сложнымъ. Длина этого простаго маятника и выразитъ намъ приблизительно разстояніе центра качаній сложнаго маятника отъ точки его привѣса.

Для болѣе точнаго опредѣленія центра качанія, прибѣгаютъ къ помощи вычисленій, основанныхъ на законахъ инерціи.

Изъ общихъ законовъ движенія и равновѣсія, мы видѣли, что подъ моментомъ инерціи какой нибудь массы, разумѣется произведеніе изъ массы на квадратъ ея разстоянія отъ оси вращенія.

Изъ закона моментовъ инерціи слѣдуетъ, что двѣ произвольно взятые массы могутъ только въ такомъ случаѣ совершать движенія около точки вращенія съ одинаковою угловою скоростью, когда онѣ находятся между собою въ обратномъ отношеніи ихъ квадратовъ разстояній отъ оси вращенія.

Понятно, что законы моментовъ инерціи, выведенные для всякой произвольной силы, какъ напр. для толчка или удара, могутъ быть примѣнены и къ дѣйствию силы, производящей равноускоренное движеніе, какъ напр. къ смѣлу тяжести въ томъ случаѣ, если она дѣйствуетъ на какую нибудь массу, прикрѣпленную къ оконечности рычага, другая оконечность котораго представляетъ ось вращенія.

Положимъ, что чрезъ с (фиг. 388) проходитъ ось вращенія тѣла, состоящаго изъ

Фиг. 388.

матеріальныхъ точекъ m, m_1, m_2 , и т. д. разстоянія этихъ точекъ отъ оси вращенія с пусть будутъ по порядку r, r_1, r_2 , и т. д.; a — центръ тяжести тѣла, котораго разстояніе ac отъ оси вращенія с равно Z и наконецъ Q вѣсъ маятника. Моменты инерціи матеріальныхъ точекъ m, m_1, m_2 будутъ по порядку $mr^2, m_1r_1^2, m_2r_2^2$. Моментъ инерціи массы M , которая приведена къ разстоянію отъ оси вращенія равному единицѣ длины есть $M \cdot 1^2$, т. е. M . — Если масса M должна замѣнить матеріальныя частицы, то $M = mr^2 + m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + \dots$. Этотъ рядъ имѣетъ столько членовъ, сколько въ тѣлѣ матеріальныхъ точекъ. — Сумму ихъ обыкновенно означаютъ буквою S , кото-

рую ставятъ передъ первымъ членомъ. Поэтому $M = Smr^2$. — Движущая сила въ настоящемъ случаѣ есть вѣсъ тѣла Q , точка же приложенія этой силы находится въ центрѣ тяжести a . — Отъ дѣйствія Q на точку a происходитъ извѣстное дѣйствіе P на разстояніи равномъ единицѣ длины. Такъ какъ оба эти дѣйствія должны быть одинаковы, то по законамъ рычаговъ получимъ $P \cdot 1 = ac \cdot Q$, изъ которыхъ послѣднее есть ничто иное какъ $z \cdot Q$. Поэтому движеніе физическаго маятника будетъ точно такое же, какъ и движеніе простаго маятника, котораго длина равна единицы длины, матеріальная точка есть масса $M = Smr^2$, а движущая сила — $P = z \cdot Q$. Слѣдовательно постоянное давленіе на единицу массы этого маятника, а вмѣстѣ съ тѣмъ и ускореніе матеріальной его точки будетъ $\frac{z \cdot Q}{S mr^2}$. Какъ Q есть вѣсъ массы маятника,

масса котораго равна Sm , то будемъ имѣть также $Sm = \frac{Q}{g}$, а слѣдовательно

$Q = g Sm$. Подставляя эту величину въ уравненіе $\frac{z \cdot Q}{S mr^2}$, получимъ $\frac{z \cdot g Sm}{S mr^2}$.

Результатъ этотъ можетъ быть выраженъ слѣдующимъ образомъ: простой маятникъ, равный по длинѣ одному футу, совершаетъ колебанія одновременно

Часть I.

36

съ физическимъ маятникомъ, если сила, дѣйствующая на простой маятникъ, производить ускореніе равное $\frac{z \cdot gSm}{Smr^2}$. Ускореніе же для простаго маятника, равнаго по длинѣ одному футу, есть одно только ускореніе силы тяжести, которое постоу должно быть равно g . Представимъ теперь себѣ, что съ простымъ маятникомъ, ускореніе котораго мы опредѣлили, соединенъ прутыкъ неимѣющій никакого вѣса и равный по длинѣ y ; тогда ускореніе при круговомъ движеніи точки, удаленной отъ s на y футовъ будетъ также въ y разъ болѣе нежели ускореніе точки, отстоящей отъ s только на одинъ футъ, т. е. ускореніе ея будетъ $y \cdot \frac{zgSm}{Smr^2}$. Если y должно имѣть такую величину, чтобы

конечная точка этой линіи имѣла ускореніе равное g , то получимъ $y \cdot \frac{zgSm}{Smr^2} = g$,

откуда $y = \frac{Smr^2}{zSm}$. Поэтому неимѣющій вѣса пруть, котораго длина равна y совершаетъ колебаніе одновременно съ физическимъ маятникомъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ онъ одновремененъ также и съ математическимъ маятникомъ. Значитъ, что длина математическаго маятника, который совершаетъ колебанія въ одно время съ физическимъ, выражается уравненіемъ $y = \frac{Smr^2}{z \cdot Sm}$, т. е. длина физическаго маятника, совершающаго свои качанія одновременно съ математическимъ,

равна суммѣ моментоев инерціи всѣхъ точекъ ея, раздѣленной на произведение изъ массы на разстояніе центра тяжести ея отъ оси вращенія. Последнее произведение, представляющее статическій моментъ центра тяжести, есть ничто иное какъ сумма статическихъ моментоевъ всѣхъ точекъ массы относительно ихъ общей оси вращенія: т. е. $z \cdot Sm = mx + m'z' + \dots$

Если же мы имѣемъ маятникъ, у котораго часть массы находится надъ осью вращенія, то моменты вращенія точекъ, лежащихъ надъ осью, будутъ противоположны моментамъ вращенія точекъ, находящихся подъ осью. На этомъ основаніи статическіе моменты частицъ, лежащихъ надъ осью войдутъ въ знаменатель, выведенной нами, дроби $y = \frac{Smr^2}{z \cdot Sm}$ съ отрицательнымъ знакомъ;

такъ напр., если имѣемъ двѣ матеріальныя части m и m' , изъ которыхъ послѣдняя лежитъ надъ осью вращенія, то вмѣсто $z \cdot Sm = mx + m'z'$ получимъ $mx - m'z'$. Отъ введенія отрицательной величины въ знаменатель величина его уменьшится, а съ уменьшеніемъ знаменателя самая дробь, выражающая длину физическаго маятника, увеличится. Значитъ, когда часть массы находится надъ осью вращенія, то длина маятника становится большею и слѣдовательно качанія его дѣлаются медленнѣе.

Не должно полагать, чтобы центръ качанія совпадалъ съ центромъ тяжести Фиг. 389. физическаго маятника. Мы можемъ легко убѣдиться въ справедливости этого изъ разсмотрѣнія качаній такого маятника, у котораго часть массы находится надъ точкою привѣса. Маятникъ этотъ будетъ качаться гораздо медленнѣе нежели въ томъ случаѣ, когда бы центръ тяжести его совпадалъ съ центромъ качанія. На фиг. 389 представленъ снабженный дѣленіями прямой пруть, по срединѣ котораго находится трехсторонняя ось a на подобіе оси коромысла вѣсовъ. Если выше и ниже этой оси въ разстояніи 1 дециметра прикрѣпить къ пруту двѣ свинцовыя гири, c и d , каждую въ 2 фунта вѣсу, то пруть съ находящимися на немъ гирями будетъ находиться въ состояніи безразличнаго равновѣсія, потому что общій центръ тяжести всѣхъ составляющихъ его точекъ будетъ совпадать съ осью вращенія. Если же къ нижнему концу прута прикрѣпить небольшой противовѣсъ, то вся система точекъ составитъ маятникъ. Качанія этого маятника будутъ несравненно медленнѣе противу качаній простаго маятника, котораго длина равна ab , потому что единственная сила, приводящая въ движеніе всю



систему, есть дѣйствіе тяжести на нижній противовѣсъ: послѣдній долженъ привести въ движеніе не только свою собственную массу (какъ это было при простомъ маятникѣ, у котораго центр качаній совпадаетъ съ центромъ тяжести), но также массы гирь c и d .

Этимъ объясняется, почему коромысло, на которое мы можемъ смотрѣть какъ на маятникъ, качается весьма медленно, не взирая на то, что центръ тяжести его лежитъ весьма близко подъ точкою привѣса. Медленность его качаній, зависящая отъ увеличенія разстоянія между осью и центромъ качаній, происходитъ отъ того, что послѣдняя точка лежитъ ниже центра тяжести. И въ самомъ дѣлѣ, если бы оба эти центра совпадали между собою, то качанія коромысла совершались бы гораздо скорѣе противу того, какъ они происходятъ на самомъ дѣлѣ.

Съ помощію вычисленій можно доказать, что центръ качанія во всякомъ сложномъ маятникѣ долженъ находиться ниже центра тяжести и различіе между разстояніями обѣихъ этихъ точекъ отъ оси вращенія бываетъ тѣмъ менше, чѣмъ болѣе центръ тяжести удаленъ отъ точки привѣса. Вотъ почему при употребленіи небольшого шарика, привѣшеннаго къ тонкой и очень длинной нити, мы можемъ безъ замѣтной погрѣшности принять центръ тяжести шарика за центръ качанія, и слѣдовательно удаленіе этого центра качанія отъ точки привѣса принимать за истинную длину маятника.

Центръ качанія имѣетъ весьма важное свойство для всѣхъ практическихъ примѣненій маятника. Именно, если извѣстно положеніе центра качаній маятника, то послѣдній можно привѣсить за центръ качанія его и на этой новой оси вращенія онъ будетъ совершать колебанія одновременно съ первымъ своимъ положеніемъ.

Не вдаваясь въ математическое доказательство этого свойства, мы докажемъ справедливость его по крайней мѣрѣ на одномъ частномъ примѣрѣ.

Положимъ, что у насъ есть маятникъ, состоящій изъ двухъ равныхъ массъ m , укрѣпленныхъ въ разстояніи 80 и 120 сантиметровъ отъ оси вращенія. Мы знаемъ, что длина простаго маятника, одновременнаго по качаніямъ съ физическимъ, будетъ равна суммѣ моментовъ инерціи всѣхъ точекъ послѣдняго раздѣленной на произведеніе изъ массы его на разстояніе центра тяжести отъ оси вращенія или, говоря другими словами, раздѣленной на сумму статическихъ моментовъ всѣхъ точекъ его относительно оси вращенія.

Основываясь на этомъ, для взятаго нами случая длина простаго маятника будетъ:
$$\frac{m \cdot 120^2 + m \cdot 80^2}{m \cdot 120 + m \cdot 80} = \frac{12^2 + 8^2}{12 + 8} \cdot 10 = 104 \text{ сантиметрамъ.}$$

Повѣряя опытомъ выведенный нами результатъ, увидимъ, что качанія маятника, состоящаго изъ двухъ шариковъ, которые привѣшены на упомянутыхъ разстояніяхъ, будутъ равны качаніямъ приближительнаго простаго маятника, имѣющаго 104 сантиметра длины.

Въ выбранномъ нами случаѣ, разстояніе центра качаній отъ нижняго шарика будетъ равно 120 — 104 или 16 сант., а отъ верхняго — 104 — 80 или 24 сантиметрамъ.

Положимъ, что взятый нами маятникъ перевернуть и что центръ его качанія сдѣлался точкою привѣса; въ этомъ случаѣ мы будемъ имѣть маятникъ, состоящій изъ двухъ равныхъ массъ, изъ которыхъ одна находится на 24 сантиметра ниже, а другая на 16 сантиметровъ выше точки привѣса. Поэтому теперь длина простаго маятника будетъ
$$\frac{24^2 + 16^2}{24 + 16} = \frac{832}{8} = 104 \text{ сантиметрамъ.}$$
 Слѣдовательно прежняя точка привѣса сдѣлалась, въ самомъ дѣлѣ, при оборачиваніи центромъ качанія.

Если бы надобно было подтвердить опытомъ это свойство центра качанія, то очевидно, что нельзя было бы употребить маятникъ, состоящій изъ двухъ шариковъ, висящихъ на нити, а нужно взять маятникъ, состоящій изъ неглубока прута, вѣсъ котораго долженъ быть весьма незначителенъ, сравнительно съ прикрѣпленными къ нему массами.

Фиг. 390. Маятнику, устраиваемому для этой цѣли, обыкновенно даютъ слѣдующіе размѣры. Деревянная полоса (фиг. 390), имѣющая 1 сантиметръ въ толщину и 2 въ ширину, раздѣлена на сантиметры. Къ ней придѣланы два лезвія a и b , въ разстояніи 104 сантиметровъ другъ отъ друга. Къ дереву, посредствомъ рамокъ, прикрѣпляются два чечевицеобразныя свинцовыя тѣла, изъ которыхъ каждое имѣетъ около 4 фунтовъ вѣсу (вѣсъ обоихъ чечевицъ долженъ быть совершенно одинаковъ). Каждая чечевица можетъ двигаться по деревянной полосѣ и быть закрѣплена посредствомъ винтовъ въ какомъ угодно мѣстѣ полосы. Сперва ставятъ чечевицы такимъ образомъ, чтобы ребро одной изъ нихъ отстояло отъ лезвія a ровно на 180, а другой на 120 сантиметровъ. Если бы полоса не имѣла вѣса и чечевицы были бы только тяжелыя точки, то центръ качанія пришелся бы противу точки b , т. е. въ 104 сантиметрахъ отъ a . Хотя условіе это и не можетъ быть выполнено въ точности, однакоже центръ качанія устройства такимъ образомъ маятника, лежитъ такъ близко отъ b , что разность между этими точками едва замѣтна. Эта незначительность разности происходитъ отъ того, что вѣсъ полосы весьма малъ въ отношеніи къ массѣ чечевицъ и что ошибка, происходящая при представленіи массы каждой чечевицы сосредоточенною въ ея центрѣ тяжести, весьма незначительна, если разстоянія ихъ отъ b не велики.

Маятникъ этотъ, привѣшенный къ точкѣ a , совершаетъ 59 качаній въ одну минуту; столько же качаній онъ дѣлаетъ и въ томъ случаѣ, когда перевернуть его и привѣсить въ b .

Это свойство центра качанія, выведенное нами для маятника, состоящаго изъ двухъ частицъ, можетъ быть доказано съ помощію высшей математики и для всякаго сложнаго маятника.

Свойствомъ этимъ пользуются для опредѣленія на опытѣ длины математическаго маятника, совершающаго одновременныя качанія съ даннымъ физическимъ.

Фиг. 391. скимъ. И въ самомъ дѣлѣ, если мы посредствомъ опыта найдемъ въ маятникѣ двѣ такія точки, которыя могутъ служить попеременно осями вращенія для доставленія маятнику одновременныхъ качаній, то разстояніе между этими точками укажетъ намъ длину математическаго маятника, совершающаго одинаковое число качаній съ даннымъ физическимъ. На это обстоятельство первый обратилъ вниманіе, въ началѣ настоящаго столѣтія, тюбингенскій астрономъ Боненбергеръ, а практическое примѣненіе его было сдѣлано Англичаниномъ Катеромъ, который впрочемъ не зналъ о мысли Боненбергера.

Чтобы опредѣлить посредствомъ перевертыванія длину математическаго маятника, соотвѣтствующаго данному физическому, Катеръ употребляетъ слѣдующій способъ. Къ правильно обдѣланной металлической полосѣ (фиг. 391) прикрѣпляются двѣ призмы a и b , обращенныя другъ къ другу острыми ребрами. Призмы эти располагаются такимъ образомъ, чтобы маятникъ на ребрѣ a совершалъ колебанія въ одно и тоже время, какъ и на ребрѣ b . Условіе это будетъ достигнуто въ томъ случаѣ, если второе ребро проходитъ именно чрезъ центръ качанія (b) маятника, висящаго на ребрѣ a .

Если мы желаемъ произвести подобное опредѣленіе длины математическаго маятника на такой полосѣ, къ которой заранее придѣланы призмы a и b , то прибѣгають къ помощи подвижныхъ гирь c и w . Гири эти передвигаютъ по длинѣ маятника до тѣхъ поръ, пока онъ на обоихъ точкахъ привѣса a и b не будетъ качаться одновременно.

Устроенный такимъ образомъ маятникъ, у котораго разстояніе между осями равно длинѣ простаго маятника, совершающаго одновременныя съ нимъ качанія, называется *возвратнымъ маятникомъ*.

Зная какимъ образомъ посредствомъ вычисленій и опытовъ опредѣлять длину простаго маятника, совершающаго одновременныя качанія съ даннымъ физическимъ, мы можемъ теперь опредѣлить продолжительность одного колебанія физическаго маятника. На основаніи законовъ качанія математическаго маятника мы знаемъ, что продолжительность одного колебанія его при длинѣ l равна $\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$. Слѣдовательно для полученія продолжительности одного колебанія физическаго маятника, должно въ приведенной нами величинѣ $\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, подставить вмѣсто l равную ему величину $\frac{S m r^2}{z \cdot S m}$; чрезъ что получимъ

$$t = \pi \sqrt{\frac{S m r^2}{g \cdot z S m}}$$

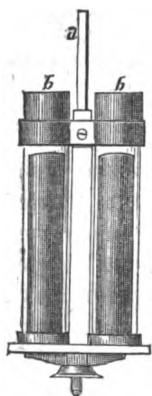
§ 135. При устройствѣ физическаго маятника должно также обра- Устрой-
ство фи-
зическа-
го маят-
ника.
щать вниманіе и на тѣ обстоятельства, которыя замедляютъ движе-
ніе его: это треніе въ точкѣ привѣса и сопротивле-
ніе воздуха. Но какъ препятствія эти нельзя устра-
нить совершенно, то по крайней мѣрѣ стараются ихъ
Фиг. 392. уменьшить по возможности. Съ этою цѣлю маятнику
даютъ обыкновенно форму тонкаго прута ab (фиг. 392),
вверху котораго для уменьшенія тренія прикрѣп-
лена стальная призма c , лежащая во время качаній
острымъ ребромъ на агатовой плоскости. Внизу же
маятника прикрѣплено чечевицеобразное тѣло o , ко-
торое по причинѣ достаточнаго своего вѣса и за-
остренной формы, удобно разсѣкаетъ окружающій
воздухъ.



Какъ всѣ тѣла расширяются отъ теплоты, то очевидно, что и длина маятника должна увеличиваться при возвышеніи температуры, точно также какъ эта длина уменьшается при пониженіи послѣдней. Понятно, что въ первомъ случаѣ качанія маятника будутъ совершаться медленно, а во второмъ — скорѣе. Такъ напр. нашли по опыту, что при измѣненіи температуры на 5° Р. маятникъ, состоящій изъ мѣднаго прута, измѣнялъ свой ходъ на $5''$, 5, изъ стальнаго прута на $3''$, 6, а изъ стекляннаго на $1''$, 6. Чтобы устранить это вліяніе температуры на маятникъ и чрезъ то доставить качаніямъ его по возможности большую равномерность, берутъ для прута такія вещества, которыхъ расширеніе весьма незначительно при обыкновенной температурѣ воздуха, какъ напр. хорошо высушенную ель или сосну; выбранное для прута дерево пропитываютъ масломъ и для предохраненія отъ дѣйствія влажности, которая могла бы увеличивать вѣсъ маятника и заставлять его качаться скорѣе нормальнаго своего положенія, покрываютъ поверхность прута лакомъ или обтягиваютъ поверхность ея золотыми листиками. Но какъ при этомъ нельзя достигнуть совершенно цѣли, то прибѣгаютъ къ такъ называемому *вознагражденію*; которое основывается на различіи расширенія тѣлъ отъ теплоты.

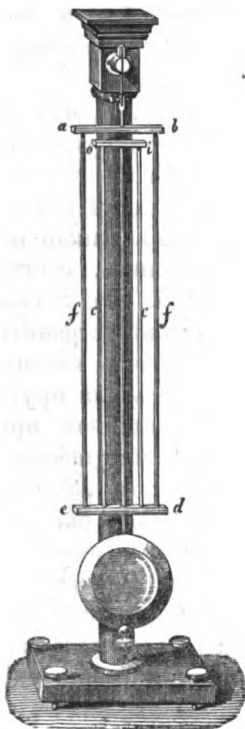
Для этого составляютъ маятникъ изъ нѣсколькихъ частей различно разширяющихся при одной и той же температурѣ и рассчитываютъ такъ, чтобы во время каждаго измѣненія температуры одни части его понижались, а другія возвышались. Мы укажемъ здѣсь на два способа вознагражденія.

Первый способъ наиболѣе простѣйшій и употребительный въ настоящее время, предложенъ англійскимъ механикомъ Грезомъ. Къ оконечности желѣзной полосы, составляющей прутъ маятника, при-



Фиг. 393. дѣланы два *стеклянные* сосуда (фиг. 393), наполненные ртутью, металломъ, разширеніе котораго весьма значительно. Эти сосуды съ ртутью, имѣющею большой удѣльный вѣсъ, замѣняютъ мѣсто чечевицы. Когда желѣзная полоса удлиняется книзу отъ дѣйствія теплоты, въ то же время ртуть разширяется въ 17 разъ сильнѣе вверхъ. При разширеніи желѣза увеличивается длина многихъ математическихъ маятниковъ входящихъ въ составъ его, но взаимнѣ того разширеніе ртути значительно укорачиваетъ длину другихъ математическихъ маятниковъ желѣзной полосы. При опытахъ должно опредѣлить, какое именно количество ртути необходимо для того, чтобы колебанія маятника сохраняли одинаковую продолжительность при всѣхъ измѣненіяхъ температуры воздуха. Такой маятникъ называется собственно *вознаградительнымъ*.

Фиг. 394.



Другой же родъ вознагражденія представляетъ, такъ называемый, *уравнительный* маятникъ, состоящій изъ нѣсколькихъ полосъ двухъ различно разширяющихся металловъ, какъ напр. мѣди и стали. На фигурѣ 394-й представленъ маятникъ, состоящій изъ трехъ стальныхъ и двухъ цинковыхъ полосъ. Изъ стали состоятъ двѣ наружныя полосы и самый прутъ маятника, къ которому привѣшена чечевица; двѣ же среднія полосы *с* и *с* сдѣланы изъ цинка. Какъ цинкъ разширяется почти въ два раза болѣе противу стали, то легко понять, что посредствомъ меньшаго числа цинковыхъ полосъ, вытягивающихся вверхъ и слѣдовательно поднимающихъ прутъ маятника, можно *уравнивать* пониженіе удлиняющихся стальныхъ полосъ, если только дадимъ длинамъ полосъ размѣры соответственные различному разширенію ихъ.

Намъ остается прибавить здѣсь еще одно обстоятельство, имѣющее вліяніе на продолжительность колебаній маятника. Какъ маятникъ

окруженъ воздухомъ, поддерживающимъ совсѣхъ сторонъ частицы его, то очевидно, что чрезъ это должно уменьшаться дѣйствіе на него тяжести. Вслѣдствіе того происходитъ потеря вѣса, которая какъ мы увидимъ впослѣдствіи равна вѣсу равнаго по объему количества воздуха. Съ потерей же вѣса маятникъ долженъ качаться медленнѣе. До Бесселя полагали, что только необходимо знать потерю вѣса маятника въ воздухѣ для вычисленія уменьшенія скорости, производимой сопротивленіемъ послѣдняго. Это предположеніе основывали на томъ, что сопротивленіе воздуха, уменьшающее скорость маятника при опускающемся движеніи и слѣдовательно увеличивающее продолжительность его, по той же самой причинѣ уменьшаетъ продолжительность поднимающагося движенія. Но при этомъ упускали изъ виду, что при колебаніяхъ маятника происходятъ сжатія и разширенія воздуха, окружающаго его. Вслѣдствіе того образуются новыя колебанія, которыя должны быть принимаемы въ расчетъ при опредѣленіи колебаній самаго маятника.

Съ помощію опытовъ и вычисленій, основанныхъ на приведенномъ нами обстоятельстве, которое было предложено Бесселемъ, найдено, что маятникъ, который по старымъ вычисленіямъ долженъ терять только 6 секундъ въ 24 часа, терялъ въ дѣйствительности около 10 секундъ.

§ 136. Теперь обратимся къ примѣненіямъ маятника. Примѣненія ^{Примѣненія маятника.} эти играютъ весьма важную роль какъ въ общежитіи, такъ и при ученыхъ изслѣдованіяхъ.

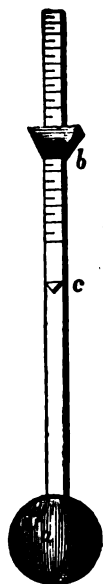
Начнемъ здѣсь съ примѣненій, встрѣчающихся въ общежитіи.

1) Мы встрѣчаемъ замѣчательное примѣненіе законовъ качаній маятника при ходьбѣ человѣка. Примѣненіе это, замѣченное впервые братьями Веберами, заключается въ слѣдующемъ. Каждая изъ нашихъ ногъ, поднятая отъ земли и предоставленная самой себѣ, качается на подобіе маятника; такъ напр. если мы при ходьбѣ выдвигаемъ лѣвую ногу впередъ, то съ нею подается впередъ и все тѣло вмѣстѣ съ частями, къ которымъ прикрѣплены кости ногъ. Вслѣдствіе того правая нога, выходящая изъ вертикальнаго положенія, должна падать подобно маятнику книзу и при небольшомъ участіи со стороны мускуловъ, будетъ подвигаться впередъ. Съ выдвиганіемъ правой ноги подается на нее все тѣло, а лѣвая нога остается назадъ и при продолженіи ходьбы повторяетъ тоже, что сказано нами о правой ногѣ. Эти качанія ногъ, основанныя на законахъ движенія маятника, значительно содѣйствуютъ напряженію мускуловъ.

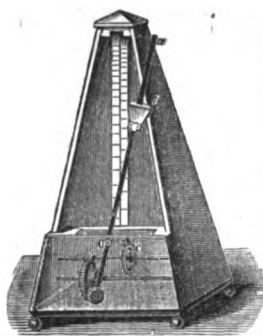
Если стоять одною ногою на возвышеніи и предоставить другой ногѣ качаться взадъ и впередъ вслѣдствіе своей тяжести, употребляя при этомъ небольшое усиліе для воспрепятствованія совершенному прекращенію этихъ колебаній, то колебанія ноги дадутъ продолжительность времени, опредѣляющую скорость нашего хода. При скорой ходьбѣ, выдвигающаяся нога опускается на землю, послѣ совершенія точкою своего прикрѣпленія половины поднимающагося качанія; вслѣдъ за тѣмъ, покоившаяся нога производитъ точно такое же качаніе. Поэтому мы дѣлаемъ два шага въ то самое время, въ которое нога, качающаяся какъ маятникъ, совершаетъ полное колебаніе. При медленной ходьбѣ, мы покоимся большее время на той ногѣ, которая опирается на землю и поэтому нога движущаяся совершаетъ болѣе половины колебанія.

2) На законахъ качанія физическаго маятника основано устройство *метро-*

Фиг. 395.



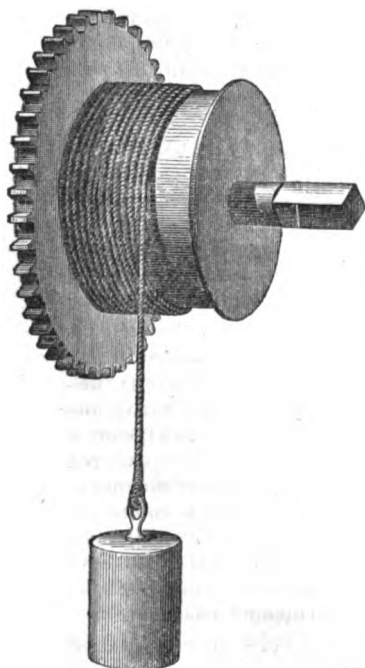
Фиг. 396.



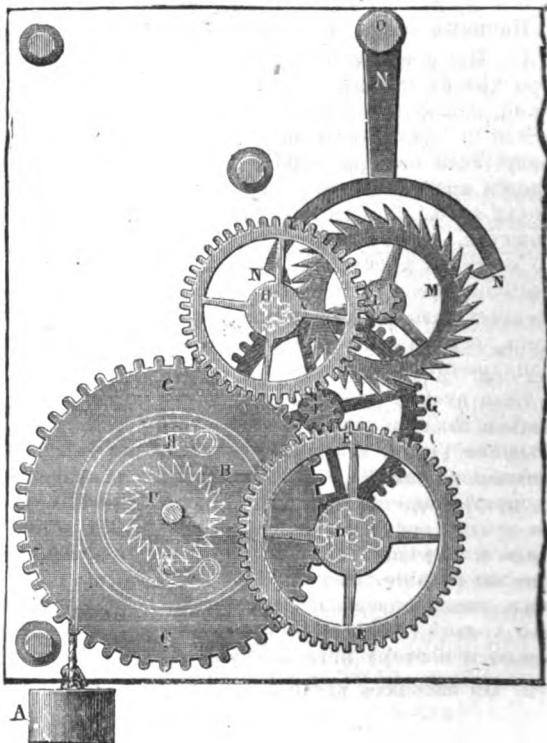
шую дугу должна описывать гири b , отъ того, что сопротивление ея должно быть побуждаемо тяжестью во все время движения прута. Большая же или меньшая величина дуги зависитъ отъ большаго или меньшаго удаленія гири отъ оси вращения. Слѣдовательно, передвигая гири по дѣленіямъ, мы будемъ въ состояніи по произволу замедлять и ускорять качанія прута. Фигура 396-я представляетъ тактомѣръ въ томъ видѣ, какъ его обыкновенно употребляютъ на практикѣ.

3) Но болѣе важное примѣненіе маятника встрѣчаемъ мы въ приборахъ, употребляемыхъ для измѣренія времени и извѣстныхъ подъ названіемъ *стѣнныхъ часовъ*. Примѣненіе это было сдѣлано впервые *Гюйенсомъ*. Система колесъ, управляющая движеніемъ минутной и часовой стрѣлокъ, приводится сама въ движеніе посредствомъ небольшого вала (фиг. 397), на который намотана цѣпь. Побуждаемая тяжестью гири, опускается книзу и приводитъ при этомъ валъ во вращеніе по направленію своего движенія. Соединеніе вала съ колесами представлено на фигурѣ 398-й.

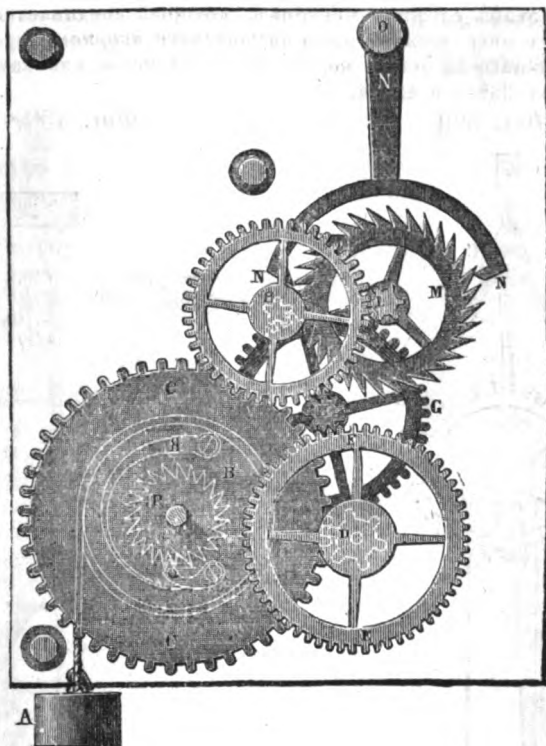
Фиг. 397.



Фиг. 398.



Гиря *A*, какъ мы уже сказали, при паденіи своемъ обращаетъ валъ, приводящій въ движеніе соединенное съ нимъ колесо *C* вмѣстѣ съ остальною системою колесъ. Вслѣдствіе паденія гири цѣпь, приводящая въ движеніе валъ, опускается книзу и чтобы снова намотать ее на валъ, обращаютъ послѣдній въ противоположную сторону посредствомъ ключа. При этомъ движеніи прекратился бы ходъ часовъ, если бы для воспрепятствованія обратному вращенію системы колесъ не было особеннаго механизма, заключающагося въ слѣдующемъ: главное колесо *C* и валъ *B*, хотя и имѣютъ по положенію своему

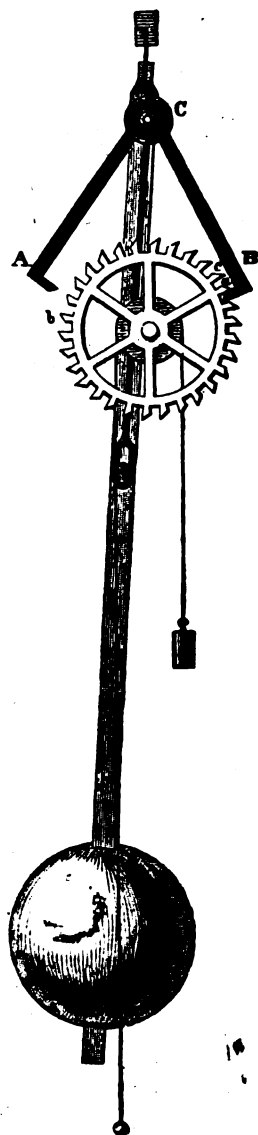


одну общую ось, но могутъ двигаться независимо другъ отъ друга. Поэтому колесо *C* можетъ не принимать участія при обратномъ вращеніи вала, заводимаго ключемъ. Но чтобы при развертываніи цѣпи, обвивающей валъ, происходило также движеніе колеса *C*, соединеннаго съ остальною системою колесъ, придѣлываютъ къ валу зубчатое колесо *P*, а къ колесу *C* зубецъ *Q*, который посредствомъ пружины *R*, насаженной на колесо *C*, входитъ въ углубленіе, образуемое зубцами колеса *P*. Съ помощію этого устройства колесо *C* находится въ постоянномъ движеніи, за выключеніемъ того времени, въ продолженіи котораго ключъ поворачиваетъ валъ въ обратную сторону, для наворачиванія на него цѣпи. Зубцы колеса *C* захватываютъ за соотвѣтственные углубленія шестерни *D*, чрезъ что происходитъ вращеніе колеса *E*, на оси котораго находится шестерня. Зубцы же колеса *E* задираютъ за шестерню *F* и приводятъ въ вращеніе прикасающееся къ ней колесо, которое въ свою очередь, посредствомъ шестерни *H*, передаетъ это движеніе соотвѣтственному колесу *G*; послѣднее, сообщаясь съ шестернею *L*, вращаетъ колесо *M*, снабженное удлиненными зубцами. Примѣняя къ этой системѣ колесъ разсмотрѣнные вами въ механической статьѣ законы движенія зубчатыхъ колесъ, мы увидимъ, что всѣ колеса, составляющія механизмъ часовъ, должны двигаться съ различною скоростію и что наибольшую скоростію должно обладать колесо *M*. Эта неравномѣрность движенія колесъ, уравновѣшивается нѣ-

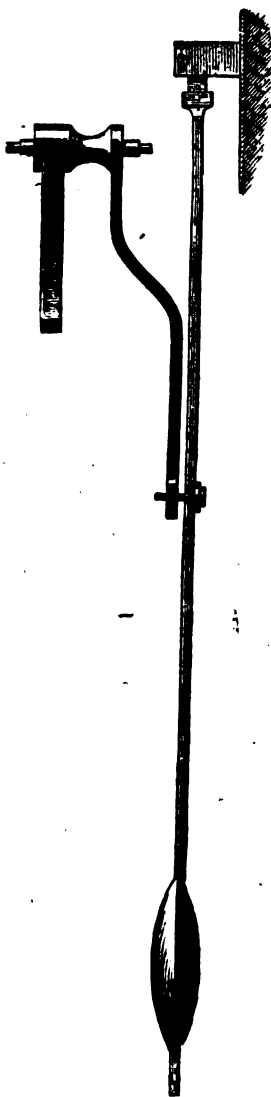
сколько треніемъ, происходящимъ между взаимно прикасающимися зубцами. Но треніе никогда не можетъ быть такъ распредѣлено, чтобы посредствомъ его возможно было достигнуть равномерности въ движеніи зубчатыхъ колесъ. Сверхъ того, самое опусканіе гири *A*, при всей медленности его, совершается по законамъ равноускореннаго движенія, а слѣдовательно неравномѣрно. Эта неравномѣрность движенія гири передается движенію всего механизма. Поэтому для доставленія послѣднему равномернаго хода, должно придать къ системѣ зубчатыхъ колесъ регуляторъ.

Регуляторомъ этимъ служитъ маятникъ, который соединяется съ системою зубчатыхъ колесъ посредствомъ такъ называемаго *якорнаго спуска* (*échappement à ancre*), задѣвающей за зубцы колеса *M*. Соединеніе маятника со спускомъ видно изъ фигуръ 399-й и 400-й.

Фиг. 399.



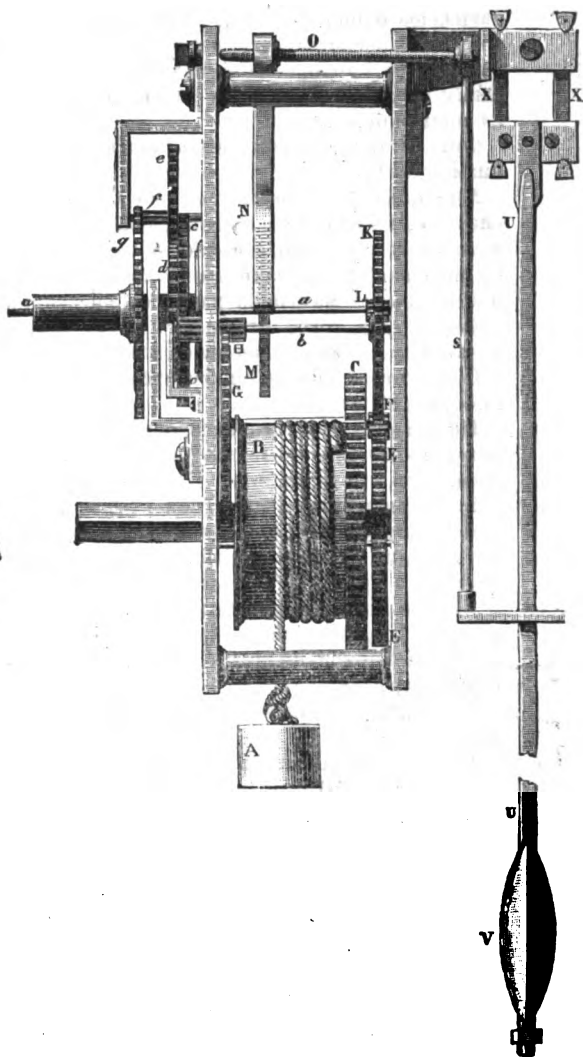
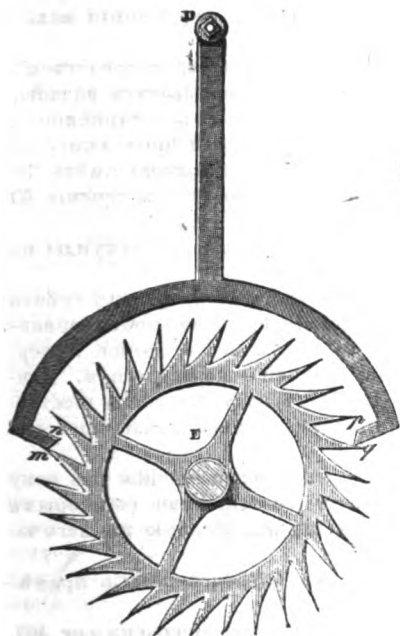
Фиг. 400.



Трение между колесами рассчитано относительно гири такимъ образомъ, чтобы движеніе ихъ совершалось нѣсколько скорѣе противу того, какъ требуетъ ходъ часовъ. Но эта скорость движенія приостанавливается и уравнивается маятникомъ, якорь котораго захватываетъ за зубцы прикасающагося къ нему колеса *E* (фиг. 401).

Фиг. 401.

Фиг. 402.



Во время качанія якоря взадъ и впередъ, зубцы колеса *E* задѣваютъ при одномъ колебаніи за нижнюю часть *m* лѣваго зубца, а при слѣдующемъ за верхнюю часть *p* праваго зубца. Черезъ это при каждомъ качаніи маятника происходитъ мгновенное приостанавливаніе въ движеніи сообщающагося съ нимъ колеса. Понятно, что во время полного оборота колеса, всѣ зубцы его перебиваются въ сообщеніи съ обоими зубцами якоря; слѣдовательно, когда маятникъ сдѣлаетъ въ два раза большее число колебаній противу числа зубцовъ колеса.

Изъ этого видно, что отъ прибавленія маятника къ часовому механизму время обращенія составляющихъ его колесъ можетъ быть опредѣлено съ точностію, при чемъ самый маятникъ получаетъ постоянно толчки, которые поддерживаютъ движеніе его.

Поэтому продолжительность качанія маятника, а слѣдовательно и необходимая длина его, опредѣляется по числу зубцовъ прикасающагося къ нему колеса, такимъ образомъ, чтобы продолжительность каждаго качанія маятника равнялась одной секундѣ. Какъ это условіе не можетъ быть достигнуто въ точности посредствомъ одного разсчитыванія, то придаютъ маятнику такое устройство, которое бы позволяло по произволу увеличивать и уменьшать длину его: для этого тяжесть, находящаяся на оконечности маятника, дѣлается подвижною.

Фигура 402-я показываетъ намъ, въ боковомъ разрѣзѣ, внутренній механизмъ часовъ.

Маятникъ *U*, котораго тяжесть *У* можетъ быть устанавливаема посредствомъ винтовъ, виситъ на подпоркахъ *XX*. Прутъ маятника захватывается вилкою, которая съ помощію стержня *S* передаетъ движенія его оси *O* и соединенному съ нею якорю *N*, захватывающему за зубцы колеса *M*. Если продолжительность качанія маятника равна одной секундѣ, то колесо *M* должно имѣть 30 зубцовъ, для того, чтобы оно могло сдѣлать полный оборотъ въ теченіи 60 качаній маятника, совершающихся въ минуту.

Ось *a* этого колеса снабжается стрѣлкой, которая показываетъ секунды на циферблатѣ часовъ.

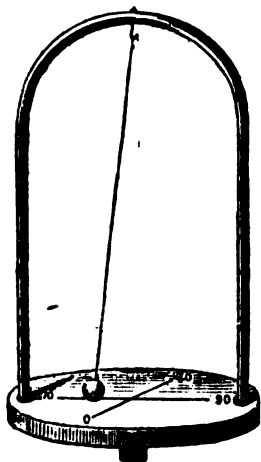
На той же самой оси насаженъ пустой внутри цилиндръ, внутреннія стѣнки котораго могутъ скользить безъ большаго затрудненія по поверхности прикасающейся къ нимъ оси. Къ этому цилиндру, съ наружной стороны циферблата, прикрѣплена минутная стрѣлка, а со внутренней — колеса *c* и *d*. Движеніе, соответствующее минутной стрѣлкѣ, цилиндръ получаетъ отъ шестерни *H*, одна часть которой находится во внутреннемъ ящикѣ, заключающемъ валъ *B*, а другая захватываетъ зубцы колеса *C*.

Другое колесо *d* доставляетъ движеніе колесу *e* и прикасающейся къ нему шестернѣ *f*, которая вращаетъ колесо *g*. Колесо это, соединенное со вторымъ пустымъ внутри цилиндромъ, приводитъ въ движеніе насаженную на него часовую стрѣлку.

4) Движеніе маятника представляетъ намъ одинъ изъ очевидныхъ признаковъ инерціи.

Мы можемъ доказать это посредствомъ прибора, представленнаго на фиг. 403.

Фиг. 403.



Онъ состоитъ изъ утвержденной на горизонтальной доскѣ металлической дуги, къ срединѣ которой привѣшена нитка, снабженная на концѣ небольшимъ свинцовымъ шарикомъ. Приборъ этотъ обыкновенно утверждаютъ на вращающейся оси центробѣжной машины, такимъ образомъ, чтобы ось эта совпадала съ отвѣснымъ положеніемъ маятника, находящагося въ равновѣсіи.

Если вывести маятникъ изъ состоянія равновѣсія и дать ему толчекъ по направленію, означенному линіею, проходящей чрезъ 0 и 180°, то плоскость его качаній будетъ находиться по направленію этой линіи во все продолженіе совершаемаго имъ движенія.

Если вращать медленно кругъ на вертикальной оси, то плоскость качаній маятника останется также неизмѣнною, какъ и при состояніи покоя. Мы увидимъ, что по совершеніи кругомъ четверти оборота, діаметръ его, соответствующій 90° и 270°, расположится на томъ мѣстѣ, гдѣ

прежде находился диаметръ, лежавшій противу 0° и 180° ; слѣдовательно по совершеніи четверти оборота маятникъ будетъ качаться въ плоскости металлической дуги, къ которой онъ привѣшенъ. Поэтому плоскость качаній маятника будетъ казаться намъ повернутою на 90° относительно круга, совершившаго въ дѣйствительности вращеніе на центробѣжной машинѣ, вмѣстѣ съ утвержденною къ нему дугою.

Если вращеніе круга будетъ совершаться по тому же направленію, то дуги отъ 90° — 180° и отъ 180° — 270° , будутъ проходить постепенно мимо плоскости качанія. При этомъ намъ будетъ постоянно казаться, что плоскость качаній маятника вращается относительно круга въ противоположную сторону, такъ напр. если кругъ движется справа на лѣво, то намъ будетъ казаться, что плоскость качаній вращается слѣва на право.

Это показываетъ намъ, что маятникъ, производящій колебанія въ опредѣленной плоскости, сохраняетъ по инерціи плоскость своихъ качаній до тѣхъ поръ, пока посторонняя сила не выведетъ его изъ этого положенія. Тоже самое свойство будетъ намъ представлять относительно земной поверхности, плоскость качаній маятника, повѣшеннаго на полюсѣ по направленію земной оси. Положимъ, что маятникъ приведенъ въ движеніе въ плоскости земнаго меридіана, проходящаго чрезъ 0° и 180° . На основаніи доказаннаго нами неизмѣннаго сохраненія плоскости качаній онъ будетъ двигаться постоянно въ одной плоскости, не взирая на то, что плоскость меридіана (0° — 180°) сама будетъ вѣдѣнъ свое положеніе, вращаясь вокругъ земной оси, продолженіе которой, какъ мы уже сказали, соотвѣтствуетъ состоянію равновѣсія маятника. При постоянномъ вращеніи земли всѣ меридіаны будутъ постепенно проходить чрезъ плоскость качаній маятника; между тѣмъ какъ относительно земной поверхности будетъ казаться, что вращается плоскость качаній маятника и при томъ по направленію отъ востока на западъ, потому что земля вращается въ противоположную сторону.

Маятникъ, повѣшенный въ какомъ либо мѣстѣ экватора, не будетъ уже обнаруживать подобнаго кажущагося вращенія плоскости своихъ качаній. Если на экваторѣ привести маятникъ въ движеніе по направленію плоскости меридіана, то плоскость качаній будетъ двигаться вмѣстѣ съ меридіаномъ вокругъ земной оси. Поэтому, если бы въ описанномъ приборѣ мы провели линію совпадающую съ меридіаномъ и доставили маятнику толчекъ по направленію этой линіи, то плоскость качанія будетъ проходить по направленію этой линіи.

Въ промежуточныхъ же мѣстахъ между полюсомъ и экваторомъ плоскость качанія маятника, вслѣдствіе вращенія земли на оси будетъ обнаруживать это вращеніе въ сѣверномъ полушаріи по направленію на Востокъ, Югъ, Западъ и т. д., а на южномъ по направленію на Востокъ, Сѣверъ, Западъ и т. д. Величина этого вращенія, для одного и того же времени будетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ ближе мы будемъ подходить къ одному изъ полюсовъ. На полюсѣ движущееся вращеніе плоскости качанія маятника должно равняться 15° въ часъ.

Посредствомъ вычисленія можно опредѣлить, что для каждаго мѣста, котораго широта b извѣстна, кажущееся вращеніе будетъ равно $15 \cdot \sin b^\circ$.

Одинъ изъ современныхъ французскихъ ученыхъ Фуко первый напалъ на счастливую мысль, что подобное вращеніе плоскости качаній маятника должно быть необходимымъ слѣдствіемъ вращенія земли на оси и что маятникъ, совершающій качанія въ продолженіи извѣстнаго времени, представляетъ намъ прямое доказательство вращенія земли на своей оси. Опыты, произведенные какъ самимъ Фуко, такъ и другими учеными, вполне подтверждали его предположеніе.

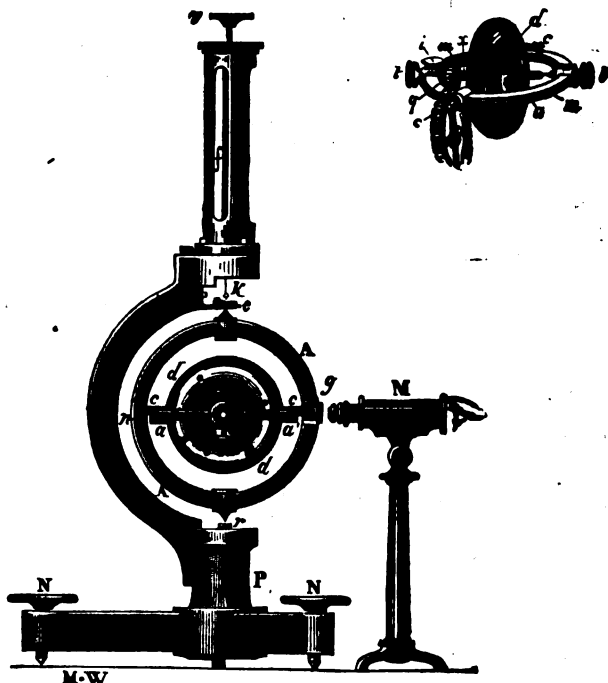
Основываясь на сохраненіи плоскости качаній маятника, Фуко устроилъ въ недавнее время приборъ *ироскопъ*, доказывающій еще очевиднѣе маятника суточное вращеніе земли. Для перехода отъ неизмѣнной плоскости качаній

маятника къ плоскости вращенія тѣла надлежало продолжить дугу описываемую маятникомъ до образованія круга и по направленію послѣдняго взять вращающееся тѣло.

Тѣло это, какъ показываютъ фиг. 404 и 405, состоитъ изъ массивнаго бронзоваго кольца d , свободно вращающагося вокругъ горизонтальной оси, проходящей чрезъ центръ кольца и перпендикулярной къ плоскости большаго круга его. Ось эта служитъ горизонтальнымъ діаметромъ поддерживающему ее цилиндрическому кругу, который для большаго яснаго представленъ особо на фиг. 404. На этой оси устроена шестерня q (фиг. 405), приводимая въ дви-

Фиг. 404.

Фиг. 405.



женіе системою зубчатыхъ колесъ, устроенныхъ на особомъ станкѣ, который не представленъ на чертежѣ. На наружной оконечности горизонтальнаго круга aa , по направленію діаметра перпендикулярнаго къ оси тѣла dd , прифѣланы два выступа c и e , посредствомъ которыхъ какъ тѣло dd , такъ и обхватывающій его горизонтальный кругъ, утверждены въ вертикальномъ наружномъ кругѣ AA . Послѣдній кругъ виситъ на нити, перпендикулярной къ линіи ce , и съ помощію особеннаго механизма, постоянно сохраняетъ отвѣсное положеніе.

Вслѣдствіе такого расположенія осей, понятно, что ось tt массивнаго тѣла можетъ принимать различныя направленія въ пространствѣ, потому что при каждомъ положеніи ея будетъ поддержанъ центръ тяжести вращающагося тѣла.

Таковы главнѣйшія основанія прибора, посредствомъ котораго обнаруживаются слѣдующія явленія:

Равновѣсіе различныхъ частей этого прибора устроено такимъ образомъ, что во время сохраненія имъ спокойнаго состоянія, незначительное дуновеніе или треніе достаточны для нарушенія положенія частей его, которыя въ это время участвуютъ въ общемъ движеніи земли вокругъ ея оси. Приведемъ те-

перъ во вращеніе массивное тѣло *dd*. Для этого отдѣляютъ его отъ вертикальнаго круга *AA* и ставятъ на станокъ съ зубчатыми колесами, такъ чтобы шестерня *q* (фиг. 405) задѣвала верхнее колесо зубчатой системы, посредствомъ которой доставляется быстрое вращеніе тѣлу *dd*. При опытахъ своихъ Фуко доставлялъ ему до 150 оборотовъ въ секунду. Приведа такимъ образомъ во вращеніе тѣло *dd*, вносятъ его снова въ общій приборъ, гдѣ оно продолжаетъ пропавшій сообщенный ему вращеніе. Вслѣдствіе инерціи, постоянно увеличивающейся при вращеніи, тѣло *dd* будетъ удерживать ту плоскость, по направленію которой привелъ его въ движеніе. Горизонтальный кругъ, поддерживающій тѣло *dd* и слѣдовательно связанный съ нимъ, выводится съ большимъ усиленіемъ изъ своего равновѣсія. Наружный же кругъ не производитъ никакого движенія, потому что для перемѣщенія своего относительно вертикальной оси привѣса, онъ долженъ увлечь плоскость вращающагося тѣла, которое стремится сохранять неизмѣнное положеніе по инерціи. Такимъ образомъ приборъ, обладавшій въ состояніи покоя способностію къ воспринятію движенія, приобретаетъ устойчивость во время вращенія массивнаго тѣла и эта устойчивость есть ни что иное, какъ слѣдствіе инерціи, увеличивающейся съ постепеннымъ ускореніемъ вращенія. Если при вращеніи круга обращать основаніе прибора вокругъ вертикальной линіи, проходящей чрезъ отвѣсную нить, на которой повѣшенъ наружный кругъ *AA* (фиг. 404), то послѣдній останется также въ покоѣ.

Очевидно, что тоже самое вліяніе должна оказывать на приборъ и земля при суточномъ вращеніи своемъ отъ запада къ востоку: она поворачиваетъ основаніе, на которомъ покоится приборъ и наблюдателя вокругъ отвѣсной линіи, на величину равную угловому движенію земли во время наблюденія, помноженному на синусъ широты наблюдаемаго мѣста. Она увлечетъ при этомъ движеніи центръ тяжести тѣла *AA*, нѣсколько неизмѣняя направленія, сохраняемаго осью при вращеніи его. Непзмѣнность положенія этой оси даетъ намъ самое очевидное подтвержденіе вращенія земли по направленію отъ запада къ востоку и въ самомъ дѣлѣ, приблизивъ зрительную трубку *M* къ ребру вертикальнаго круга *AA*, къ наружной части котораго придѣлана пластинка *g* съ мелкими отвѣсными дѣленіями, мы увидимъ, что послѣднія будутъ послѣдовательно проходить чрезъ среднюю нить трубы отъ востока къ западу или отъ запада къ востоку, если мы возьмемъ трубу, дающую обратныя положенія предметовъ. А этого кажущагося движенія въ противную сторону вращенія земли и должно было ожидать, потому что во время опыта ось вращенія тѣла *dd*, а слѣдовательно и кругъ *AA*, оставались въ неизмѣнномъ положеніи, между тѣмъ какъ наблюдатель и труба подвинулись вмѣстѣ съ землею, на которой они стоятъ, отъ запада къ востоку.

Но кромѣ того приборъ даетъ результаты, происходящія отъ совокупнаго движенія земли съ движеніемъ прибора. Для этого приводятъ массивное тѣло *dd* во вращеніе; по доставленіи оси его горизонтальности, прикрѣпляютъ обхватывающій его кругъ ко внутренней части наружнаго круга *AA*. Послѣ того устанавливаютъ кругъ въ какомъ нибудь положеніи, напр. въ плоскости перваго вертикала, которая должна поэтому заключать и ось вращающагося тѣла *dd*, и предоставляютъ весь приборъ самому себѣ. Тогда увидимъ, что большой кругъ оставитъ плоскость перваго вертикала и направившись къ плоскости перваго меридіана, остановится въ ней послѣ извѣстнаго числа колебаній. Какое бы не было направленіе, сообщаемое въ началѣ вращенію тѣла *dd*, большой кругъ постоянно приходитъ въ плоскость меридіана.

Самое направленіе земной оси можетъ быть указываемо приборомъ. Для этого устанавливаютъ тѣло *dd*, вращающееся на горизонтальной оси, въ плоскости меридіана; обхватывающій же его кругъ приводятъ въ такое положеніе, чтобы ось вращенія тѣла двигалась въ плоскости, лежащей неподвижно надъ поверхностію земли. Мы увидимъ тогда, что ось вращенія тѣла *dd* увлечетъ за собою обхватывающій его кругъ и установится въ направленіи параллельномъ къ земной оси.

Такимъ образомъ съ помощію гироскопа Фуко, мы можемъ опредѣлять: 1) какъ направленіе, такъ и количество суточного вращенія земли; 2) положеніе плоскости меридіана; 3) направленіе земной оси. Эти результаты, полученные изъ прибора Фуко, дѣлаютъ его весьма полезнымъ для употребленія на морѣ, потому что посредствомъ его, безъ помощи астрономическихъ наблюденій, можно во всякое время дня и ночи находить широту мѣста. Съ помощію этого прибора можно доказать законъ сохраненія площади вращенія, служащій основаніемъ всѣмъ тремъ упомянутымъ выше опредѣленіямъ. — Послѣдній законъ, какъ необходимое слѣдствіе свойства инерціи, представляется самымъ очевиднымъ образомъ на приборѣ Фуко. И въ самомъ дѣлѣ, если, приведя массивное тѣло во вращеніе, мы посредствомъ системы зубчатыхъ колесъ дадимъ прибору такое положеніе, при которомъ центръ тяжести его будетъ внѣ отвѣсной линіи, опредѣляемой нитію f , то площадь вращенія сохранятъ свое положеніе съ такою силою, что не взирая на довольно значительный вѣсъ прибора и на уклоненіе массы его отъ направленія нити f , всѣ части прибора остаются въ неизмѣнномъ положеніи. Видя этотъ опытъ, нельзя не убѣдиться въ существованіи свойства инерціи и въ справедливости вывода изъ послѣдняго свойства различныхъ явленій, какъ-то: ударовъ, получаемыхъ при выскакиваніи изъ быстро движущагося экипажа и др. т. п.

Посредствомъ маятника мы убѣждаемся въ существованіи притяженія между массами тѣлъ. И въ самомъ дѣлѣ, какъ мы видѣли изъ опыта Мэсклейна (Maskelyne), маятникъ въблизи высокихъ горъ уклоняется отъ вертикальнаго положенія, что очевидно можетъ произойти только вслѣдствіе притяженія, оказываемаго массою горы на массу, составляющую тяжелый пунктъ маятника

Перейдемъ теперь къ примѣненію маятника къ *опредѣленію законовъ тяжести*.

При изслѣдованіи качаній маятника мы показали, что длина секунднаго маятника, совершающаго 60 качаній въ минуту, помноженная на постоянное число 9,8696, можетъ служить намъ лучшимъ средствомъ для опредѣленія напряженія тяжести.

Кромѣ того, при опредѣленіи законовъ дѣйствія тяжести, маятникъ представляетъ намъ слѣдующія услуги:

1) Маятникъ, находящійся въ состояніи равновѣсія, указываетъ намъ направленіе дѣйствія тяжести. Самый отвѣсъ есть ничто иное, какъ маятникъ въ состояніи равновѣсія.

2) Если взять равной длины маятники, шарики которыхъ состоятъ изъ различныхъ тѣлъ, напр. изъ металла, воску или дерева, то найдемъ, что всѣ они будутъ имѣть одинаковую продолжительность качаній. Значитъ, продолжительность качаній не зависитъ ни отъ вѣса, ни отъ вещества шариковъ. А какъ продолжительность качаній находится въ прямой зависимости отъ дѣйствія тяжести, то очевидно, что тяжесть дѣйствуетъ съ одинаковою силою на всѣ тѣла, независимо отъ вѣса и состава ихъ.

Для лучшаго понятія выведеннаго нами заключенія, стоитъ только припомнить сказанное нами выше, объ образѣ дѣйствія тяжести. Если тяжесть производитъ качанія маятника, то она дѣйствуетъ на каждый атомъ матеріи, составляющей шарикъ; каждый атомъ послѣдняго побуждается къ движенію собственною тяжестію своею и слѣдовательно прибавленіе числа атомовъ не должно оказывать вліянія

на скорость качанія. Если бы можно было повѣсить на ниткѣ, не нѣвѣющей вѣса, одинъ атомъ желѣза, то онъ долженъ качаться такъ же скоро, какъ и въ томъ случаѣ, когда бы къ ниткѣ было привѣшено два, три, четыре атома, или наконецъ весь желѣзный шарикъ. Нѣтъ никакого основанія допустить, чтобы тяжесть дѣйствовала на восковой атомъ иначе, нежели на желѣзный. Въ справедливости этого убѣждаютъ насъ и опыты надъ качаніемъ различныхъ шариковъ. Опыты эти доказываютъ намъ равное дѣйствіе тяжести на всѣ тѣла, гораздо лучше противу паденія тѣлъ въ безвоздушномъ пространствѣ, потому что въ последнемъ случаѣ мы можемъ наблюдать дѣйствіе тяжести только въ продолженіи чрезвычайно малаго времени, тогда какъ въ первомъ случаѣ наблюденіе можетъ происходить въ теченіи цѣлыхъ часовъ.

3) Если мы будемъ сравнивать между собою качанія одного и того же маятника при небольшихъ дугахъ, то увидимъ, что продолжительность качаній его, во всякое время, для одного и того же мѣста земли, будетъ одинакова. Мы уже показали выше, что напряженіе тяжести или скорость, приобретаемая тѣломъ при свободномъ паденіи въ единицу времени, можетъ быть опредѣлена умноженіемъ длины секунднаго маятника на число 9,8696; значитъ, напряженіе тяжести для одного и того же мѣста, остается всегда постояннымъ.

4) Если бы секунднй маятникъ, совершающій при извѣстной длинѣ 60 качаній въ минуту, на извѣстномъ мѣстѣ земли, удовлетворялъ бы этому условію и на остальныхъ точкахъ земной поверхности, то мы имѣли бы право заключить, что и напряженіе дѣйствія тяжести (g) одинаково повсюду. Но опытъ убѣждаетъ насъ въ противномъ. Изслѣдованія надъ качаніями маятника показали: а) что маятникъ на вершинѣ горы качается медленнѣе, чѣмъ у подношья ея; б) что по мѣрѣ приближенія отъ экватора къ полюсамъ качанія одного и того же маятника приобретаютъ постепенно болѣшую скорость. Такъ напр. маятникъ, бьющій въ Парижѣ секунды, дѣлаетъ въ сутки 126-ю колебаніями менѣе подъ экваторомъ. Явленіе это было замѣчено впервые французскимъ астрономомъ Риче еще въ 1672 году, во время путешествія его въ Кайену. Онъ нашелъ, что въ последнемъ пунктѣ, лежащемъ на 5° къ сѣверу отъ экватора, секунднй маятникъ, хорошо регулированный въ Парижѣ, ежедневно отставалъ на двѣ минуты слишкомъ, такъ что должно было уменьшить длину маятника на $\frac{5}{4}$ линій для того, чтобы онъ снова отбивалъ точно секунды. Тѣ же часы, привезенные обратно въ Парижъ, уходили впередъ и для поправки хода ихъ должно было дать маятнику снова прежнюю его длину. Это показало, что дѣйствіе тяжести подъ экваторомъ слабѣе, нежели въ мѣстахъ ближайшихъ къ полюсу и что вмѣстѣ съ тѣмъ, маятникъ можетъ служить для измѣренія этого различнаго распредѣленія силы тяжести на земной поверхности. Для опредѣленія этихъ различій, ученые старались опредѣлить съ точностію длину секунднаго маятника для разныхъ мѣстъ земли. Но не взирая на многочисленность произведенныхъ

опытовъ, только въ настоящемъ столѣтіи удалось ученымъ достигнуть до точныхъ результатовъ при опредѣленіи длины секунднаго маятника, чему не мало помогли съ одной стороны техническія улучшения въ самомъ устройствѣ маятника, а съ другой — развитіе высшей математики, которое позволило принимать при вычисленіяхъ во вниманіе и обстоятельства, служащія препятствіями для произведенія точныхъ наблюдений. Измѣренія англійскихъ ученыхъ Катера и Сэбина (Sabine), французскихъ астрономовъ Араго и Біо и нѣмецкаго астронома Бесселя, при опредѣленіи длины секунднаго маятника, были произведены съ такою точностію, которая не уступаетъ самымъ лучшимъ астрономическимъ измѣреніямъ. Изъ этихъ измѣреній получены слѣдующіе результаты:

Длина секунднаго маятника равна :

подъ экваторомъ при поверхности моря . . . 0,98245 метра,
 подъ географическою широтою $= 48^{\circ}50'14''$,
 на парижской обсерваторіи 0,99385 метра,
 подъ географическою широтою $= 51^{\circ}31'8''$,
 на лондонской обсерваторіи 0,99412 метра,
 подъ географическою широтою $= 54^{\circ}42'50''$,
 при поверхности моря у Кенигсберга. . 0,99441 метра.

Вычисленное по этимъ даннымъ ускореніе g изъ уравненія $g = 9,8696.l$, дало слѣдующіе результаты:

подъ экваторомъ $g = 9,8696 \cdot 0,98245 \text{ метра} = 32,3212 \text{ баден. фута.}$
 въ Парижѣ . . $g = 9,8696 \cdot 0,99385 \text{ »} = 32,6965 \text{ »}$
 въ Лондонѣ . . $g = 9,8696 \cdot 0,99412 \text{ »} = 32,7147 \text{ »}$
 въ Кенигсбергѣ $g = 9,8696 \cdot 0,99441 \text{ »} = 32,7039 \text{ »}$

Пространство, проходимое свободно падающимъ тѣломъ въ первую секунду, равно, какъ мы уже знаемъ, половинѣ скорости (g), приобрѣтенной въ первую секунду; поэтому, чтобы получить въ числахъ пространства, проходимыя свободно падающими тѣлами въ первую секунду времени, для приведенныхъ выше мѣстъ, стоитъ только раздѣлять пополамъ числа, выведенныя для g . Изъ этихъ чиселъ видно, что пространство это имѣетъ наименьшую величину подъ экваторомъ и что разность между пространствами, проходимыми тѣлами подъ экваторомъ и подъ широтою Кенигсберга, составляетъ около $\frac{1}{3}$ фута.

Здѣсь приведены результаты измѣреній для немногихъ мѣстъ земной поверхности. Вообще же точныя наблюденія надъ маятникомъ были произведены для двадцати, или около того, пунктовъ и слѣдовательно для такого числа мѣстъ извѣстны истинныя величины ускореній при свободномъ паденіи тѣлъ, а слѣдовательно и величины разности этихъ ускореній.

Основываясь на постоянности длины секунднаго маятника на каждомъ мѣстѣ земли, было предложеніе принять эту мѣру за единицу длины; но предложеніе это не было принято, потому что для опредѣленія длины секунднаго маятника, входитъ еще одинъ посторонній элементъ — время.

§ 137. Показавъ такимъ образомъ различіе дѣйствіе тяжести на земной поверхности, намъ остается рассмотретьъ причины, произво-
 дящія эти измѣненія въ напряженіи тяжести.

Причина замедленія качаній маятника по мѣрѣ удаленія его отъ центра земли, заключается въ слѣдующемъ:

Притяженіе земли дѣйствуетъ, какъ мы уже говорили, такимъ образомъ, какъ бы вся масса земнаго шара была сосредоточена въ его центрѣ. Какъ это притяженіе, согласно закону Ньютона, дѣйствуетъ обратно пропорціонально квадратамъ разстояній, то очевидно, что притяженіе земли должно увеличиваться или уменьшаться, по мѣрѣ приближенія или удаленія тѣла отъ поверхности земли. Если это измѣненіе при значительности земнаго радіуса и останется незамѣтнымъ для тѣла, приближающихся или удаляющихся на незначительное разстояніе отъ земной поверхности, то для значительныхъ высотъ величина измѣненія бываетъ ощутительна, такъ что при точныхъ вычисленіяхъ нельзя уже ея пренебрегать.

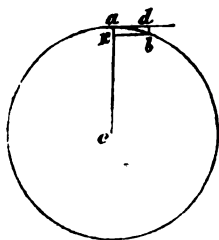
Что же касается до другихъ причинъ измѣненія напряженія тяжести на земной поверхности, то они происходятъ отъ вращенія ея на оси и отъ самой фигуры земли.

Продолжительность полнаго обращенія земли на оси, называется звѣздными сутками: оно равно 86164 секундамъ, слѣдовательно 236-ю секундами менѣе противу такъ называемыхъ среднихъ солнечныхъ сутокъ. Всѣ точки земли, за выключеніемъ точекъ лежащихъ на оси, описываютъ въ это время круги различнаго діаметра, смотря по различію отвѣснаго удаленія вращающихся точекъ отъ земной оси. Но какъ каждая точка, вращающаяся около центра, на основаніи законовъ выведенныхъ нами въ механикѣ, пріобрѣтаетъ центробѣжную силу, заключающуюся собственно въ давленіи, оказываемомъ точкою по направленію противоположному отъ центра, то очевидно, что при вращеніи земли всѣ точки ея будутъ обладать центробѣжной силой. Сила эта, какъ мы видѣли въ механикѣ, увеличивается по мѣрѣ увеличенія квадрата скорости вращающагося тѣла. Скорости же точекъ экватора, очевидно значительнѣе скорости другихъ точекъ земной поверхности, потому что каждая точка экватора въ теченіи сутокъ описываетъ путь, котораго величина значительнѣе путей, описываемыхъ въ тоже время точками лежащими внѣ экватора. Слѣдовательно точки, лежащія подъ экваторомъ, будутъ обладать наибольшею центробѣжною силой противу остальныхъ точекъ земной поверхности. А какъ центробѣжная сила дѣйствуетъ по противоположному направленію съ силой притягивающей каждую частицу къ центру земли, то значить, что напряженіе тяжести подъ экваторомъ должно быть уменьшено на величину дѣйствующей здѣсь центробѣжной силы. Опредѣленіе величины этого уменьшенія производится слѣдующимъ образомъ. Величина экватора простирается до 40070000 метровъ. Путь этотъ проходится каждою точкою экватора въ 88164 секунды; слѣдовательно пространство пройденное въ

Обстоя-
тельствъ
имѣю-
щихъ
вліаніе
на раз-
личіе
дѣй-
ствія тя-
жести.

одну секунду равно 1550 фут. Положимъ, что кругъ представленный на фигурѣ 406-й есть экваторъ или такой

Фиг. 406.



на фигурѣ 406-й есть экваторъ или такой кругъ, котораго окружность равна приблизительно 40070000 метрамъ. Если, начиная отъ *a*, взять дугу *ab* равною 155 фут., то отвѣсное разстояніе (*bd*) точки *b* отъ касательной *ad*, выразитъ намъ величину, на которую бы вслѣдствіе центробѣжной силы удалась бы въ секунду точка экватора отъ центра земли, въ томъ случаѣ, когда бы эта точка была предоставлена самой себѣ и не удерживалась бы дѣйствіемъ тяжести на земной поверхности. Понятно, что въ какомъ бы большомъ размѣрѣ мы не начертили фигуру, всегда взятые нами размѣры будутъ ничтожны сравнительно съ тѣми величинами, которыя выражаются линіями чертежа. Поэтому, посредствомъ простаго измѣренія линіи *db* на чертежѣ, мы не въ состояніи будемъ даже приблизительно дойти до точнаго результата. Намъ остается прибѣгнуть къ помощи вычисленій, которыя показываютъ намъ, что величина центробѣжной силы подъ экваторомъ равна $\frac{1}{289}$ части полнаго ея напряженія. Число 289 есть квадратъ 17; слѣдовательно, если бы вращеніе земли было въ 17 разъ болѣе того, какъ оно совершается въ дѣйствительности, то центробѣжная сила на экваторѣ равнялась бы напряженію тяжести. Если примѣнить величину центробѣжной силы подъ экваторомъ къ тѣлу, вѣсящему тамъ *p* фунтовъ, то получимъ, что сила эта будетъ равна $\frac{1}{289} \cdot p$, или что одно и то же $\frac{1}{289}$ части вѣса этого тѣла.

Самое же полученіе величины центробѣжной силы производится слѣдующимъ образомъ. Въ механикѣ (§ 65) мы показали, что *величина центростремительной силы, въ извѣстную единицу времени, равна квадрату пройденной дуги, раздѣленному на удвоенное разстояніе дуги отъ центра движенія*, что величина центростремительной силы для одного и того же центрального движенія равна центробѣжной силѣ.

Положимъ, что тѣло, вѣсящее *p* фунтовъ, движется съ равномерною скоростью *v* по кругу, котораго радіусъ *r*, и что во время *t* оно описываетъ дугу *ab*; слѣдовательно $ab = v \cdot t$. Если время *t* весьма мало сравнительно со временемъ полнаго обращенія, то мы можемъ принять безъ чувствительной погрѣшности *ab* за прямую линію, а *bd* за линію параллельную къ *ak*. Поэтому линія *ab* выражаетъ діагональ параллелограмма *adkb*; одна сторона *ad* этого параллелограмма выражаетъ величину и направленіе движенія, которое бы приняло тѣло по инерціи, если бы не дѣйствовала на него центростремительная сила, а другая *ak* даетъ намъ самую величину центростремительной силы, притягивающей тѣло къ центру *c* въ продолженіи времени *t*. Если означимъ величину этого притяженія чрезъ *P*, то на основаніи § 41-го получимъ, что $ak = \frac{1}{2} \cdot \frac{P}{p} \cdot gt^2$.

На основаніи выведенной нами величины для центростремительной силы (§ 65) получимъ $ak = \frac{ab^2}{2r}$. Какъ $ab = v \cdot t$, то $ak = \frac{v^2 t^2}{2r}$. Сравнивши между собою

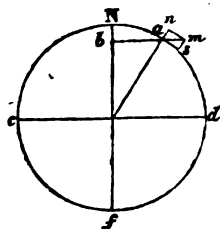
обѣ величины, полученные для *ak*, будемъ имѣть $\frac{v^2 t^2}{2r} = \frac{1}{2} \cdot \frac{P}{p} \cdot gt^2$, откуда по сокращеніи общихъ величинъ и по умноженіи обонхъ членовъ на 2 получимъ

$\frac{v^2}{r} = \frac{P}{p} \cdot g$. Изъ этого уравненія величина $P = \frac{v^2 p}{r \cdot g}$. Понятно, что ту же самую величину должна имѣть и центробѣжная сила. Если вмѣсто v , r и g вставить величины соотвѣтствующія имъ въ выбранномъ нами примѣрѣ вращенія земли, т. е. $v = 1550$, $r = 40070000$ и g ускореніе тѣла падающаго подъ экваторомъ $= 32,6$, то получимъ, что центробѣжная сила подъ экваторомъ равна $\frac{1550^2 \cdot p}{133566666.32 \cdot b} = \frac{1}{289} \cdot p$.

Если величина центробѣжной силы, или говоря другими словами, силы стремящейся удалять тѣло отъ центра движенія, равна подъ экваторомъ $\frac{1}{289}$ части опредѣленнаго тамъ вѣса тѣла, то ясно, что величина притяженія этого тѣла подъ экваторомъ, должна уменьшаться $\frac{1}{289}$ частью полнаго ея напряженія. Слѣдовательно, если бы не существовало центробѣжной силы, то величина полнаго напряженія тяжести z на тѣло, вѣсящее подъ экваторомъ p фунтовъ, могла быть опредѣлена изъ уравненія $z = p + \frac{1}{289} \cdot p$; откуда $p = \frac{289}{290} z$, т. е. вѣсъ всякаго тѣла подъ экваторомъ уменьшается на $\frac{1}{289}$ часть противу того, какимъ бы онъ былъ въ томъ случаѣ, если бы земля не производила вращательнаго движенія на оси. Поэтому тѣло вѣсящее 290 фунтовъ у полюсовъ, гдѣ центробѣжная сила равна 0, будетъ у экватора оказывать на чашки вѣсовъ давленіе равное 289 фунтамъ. Это измѣненіе въ величинѣ вѣса подъ экваторомъ не можетъ быть опредѣлено посредствомъ взвѣшиванія на обыкновенныхъ вѣсахъ, потому что и противовѣсы или гири, уравновѣшивающія тѣло подъ экваторомъ, принимаютъ участіе въ общемъ вращеніи земли, а слѣдовательно приобретаютъ также центробѣжную силу и претерпѣваютъ одинаковое уменьшеніе вѣса со сравниваемыми съ ними тѣлами. Мы можемъ показать это измѣненіе посредствомъ динамометра или точнѣе посредствомъ качаній маятника, которыхъ продолжительность зависитъ отъ величины напряженія тяжести.

Мѣста, лежащія къ сѣверу или къ югу отъ экватора, находятся въ меньшемъ удаленіи отъ земной оси противъ точекъ экватора. Поэтому при вращеніи земли всѣ эти мѣста обладаютъ меньшею скоростію, а слѣдовательно и меньшею центробѣжною силой. Если

Фиг. 407.



точка a (фиг. 407) лежитъ въ такомъ удаленіи къ сѣверу отъ экватора, что отвѣсное разстояніе ея ab отъ земной оси составляетъ половину того же разстоянія подъ экваторомъ, то и центробѣжная сила въ a , будетъ въ половину меньше противу центробѣжной силы въ d . Но дѣйствіе тяжести въ точкѣ a не будетъ уменьшено на полную величину центробѣжной силы, потому что сила эта дѣйствуетъ въ точкѣ a по направленію отъ центра движенія къ окружности, т. е. по направленію am , между тѣмъ какъ тяжесть притягиваетъ точку a по направленію къ центру не прямо противоположному направленію центробѣжной силы, но составляющему съ нимъ извѣст-

ный уголъ. Если at означаетъ величину центробѣжной силы въ a , то отъ разложенія at на двѣ отвѣсныя составляющія an и as получимъ, что an будетъ выражать въ точкѣ a ту часть центробѣжной силы, которая противодѣйствуетъ и слѣдовательно уменьшаетъ напряженіе тяжести. И эта величина можетъ быть опредѣлена вычисленіемъ, которое вполне согласуется съ опытомъ.

Перейдемъ теперь къ третьему обстоятельству, имѣющему вліяніе на измѣненіе напряженія тяжести на поверхности земли и заключающемуся въ самой формѣ земли. Говоря о формѣ земли, мы упомянули, что градусы одного и того же меридіана неравны между собою, какъ это должно было ожидать въ томъ случаѣ, если бы земля имѣла совершенно шарообразную форму. На самомъ дѣлѣ длина градусовъ одного и того же меридіана увеличивается по мѣрѣ приближенія отъ экватора къ полюсамъ. Обстоятельство это можетъ произойти только въ томъ случаѣ, когда поверхность земли уклоняется отъ шарообразной формы по мѣрѣ приближенія своего къ полюсамъ. Слѣдовательно земля должна быть сжата у полюсовъ; эта сплюснутость земли имѣетъ также вліяніе и на напряженіе тяжести, потому что тѣла находящіяся у полюсовъ наиболѣе приближены къ центру земли и поэтому должны притягиваться съ большею силой противу тѣлъ, лежащихъ на экваторѣ.

Но при этомъ рождается вопросъ, какая же можетъ быть причина на возвышенія земной поверхности подъ экваторомъ и сжатія ея у полюсовъ.

Для разрѣшенія этого вопроса обратимся къ опыту Плато. Задача этого ученаго состояла во первыхъ въ томъ, чтобы освободить отъ вліянія тяжести какую нибудь жидкую массу и потомъ наблюдать за всѣми измѣненіями ея формы, могущими произойти отъ дѣйствія постороннихъ силъ.

Какимъ образомъ Плато разрѣшилъ эту задачу на самомъ дѣлѣ, увидимъ впослѣдствіи, когда будемъ говорить о частичныхъ силахъ. Теперь же ограничимся только тѣми результатами его опытовъ, которые имѣютъ соотношеніе съ разсматриваемымъ нами предметомъ.

Проткнувъ насквозь тонкою желѣзною осью каплю оливковаго масла, погруженнаго въ смѣсь изъ воды и спирта, имѣющую одинаковую плотность съ масломъ, приводятъ во вращеніе эту ось посредствомъ небольшой рукоятки. Вращеніе оси передается пристающей къ оси каплѣ, которая постепенно измѣняетъ свою форму, суживается у полюсовъ и вздувается у экватора, и это измѣненіе формы бываетъ значительнѣе, чѣмъ быстрѣе самое вращеніе. Видъ, принимаемый каплею, представляетъ сходство съ формою нѣкоторыхъ небесныхъ тѣлъ и поэтому мы имѣемъ право заключить, что и самыя причины измѣненія формы въ обоихъ случаяхъ должны быть одинаковы.

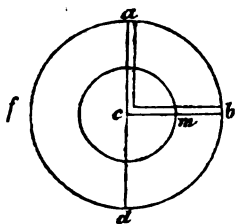
На этомъ основаніи мы можемъ допустить, что и частицы составляющія землю, были нѣкогда въ жидкомъ видѣ, что подтверждаютъ всѣ новѣйшія геологическія изслѣдованія. Отъ вращенія около оси

эта жидкая масса земли приняла видъ шара, сжатаго у полюсовъ, который видъ она и теперь имѣетъ.

Это измѣненіе формы, которое долженъ претерпѣвать шаръ величиною съ землю, вслѣдствіе вращенія на оси, при жидкомъ состояніи скоплѣнія своихъ частицъ, можетъ быть опредѣлено вычисленіемъ.

Согласіе вычисленій съ непосредственными измѣреніями величины градусовъ меридіана, можетъ служить лучшимъ подтвержденіемъ приведеннаго нами предположенія на счетъ того, что нѣкогда земля была въ жидкомъ состояніи. Положимъ, что *abdf* (фиг. 408) пред-

Фиг. 408.

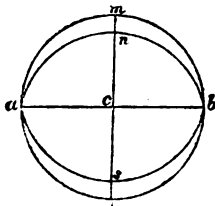


ставляетъ землю, *ad* — земную ось, а *ac* и *cb* — два отверстія, изъ которыхъ одно идетъ отъ полюса къ центру, а другое отъ центра вправо по экватору. Положимъ, что оба эти канала наполнены однородною жидкостью. Если бы земля не вращалась на оси, то между столбами жидкости *ca* и *cb* могло бы произойти только тогда равновѣсіе, когда бы оба они имѣли равную длину, потому что только при этомъ предположеніи

давленіе, производимое вслѣдствіе дѣйствія тяжести столбомъ *cb* въ *c*, равнялось бы давленію столба *ca*. При вращающемся движеніи шара со скоростію вращенія земли на оси, вслѣдствіе центробѣжной силы дѣйствіе тяжести на точку *b* будетъ уменьшено на $\frac{1}{290}$ часть полного своего напряженія. Центробѣжная сила точки *m*, лежащей посрединѣ между *c* и *b*, должна очевидно равняться половинѣ центробѣжной силы точки *b*. Съ другой стороны и притяженіе точки *m* къ центру, на основаніи объясненныхъ нами выше законовъ притяженія, должно быть въ два раза менѣе противу притяженія обнаруживаемаго на точку *b*, лежащую на поверхности шара, описаннаго въ два раза большимъ радіусомъ. Поэтому и центробѣжная сила, обнаруживаемая въ *m*, должна также равняться $\frac{1}{290}$ части того давленія, которое должна обнаруживать эта точка на препятствія, не позволяющія ей приближаться къ центру земли. Слѣдовательно, вообще давленіе столба *cb* на *c* будетъ $\frac{1}{290}$ частию менѣе противу того, которое онъ оказывалъ бы при спокойномъ состояніи земли. Давленіе же, производимое столбомъ *ca*, очевидно нисколько не будетъ измѣнено отъ вращенія. Поэтому при вращеніи шара между равной длины столбами *ca* и *cb*, не можетъ существовать равновѣсія. Вслѣдствіе большаго давленія столба *ca*, часть жидкости перейдетъ въ отверстіе *cb*, чрезъ что произойдетъ удлиненіе радіуса *cb* и укорачиваніе радіуса *ca*. Если примѣнить къ настоящему случаю показанное нами отношеніе между напряженіемъ тяжести и центробѣжной силой, то мы придемъ къ тому заключенію, что радіусъ *cb* будетъ относиться къ радіусу *ca* какъ 289 къ 290, потому что только въ этомъ случаѣ уменьшеніе давленія столба *cb*, происходящее отъ дѣйствія центробѣжной силы, будетъ вознаграждено увеличеніемъ числа частицъ жидкости въ столбѣ *cb*. Но на самомъ дѣлѣ вычисленіе бы-

ваетъ сложіе. Шарообразная фигура земли, вслѣдствіе вращенія ея на оси, переходитъ въ форму сплюснутаго сфероида; точка *b* (фиг.

Фиг. 409.



409) не принадлежитъ собственно, какъ мы предполагали, шаровой поверхности и дѣйствіе на нее тяжести не будетъ поэтому равно притяженію шара, описаннаго радіусомъ *cb*; дѣйствіе это сдѣлается очевидно менѣе, потому что въ притяженіи не участвуютъ отръзки *ambn* и *asbt*. Если же притяженіе, обнаруживаемое на точку *b*, менѣе того, которое мы вывели прежде изъ вычисленій, не принимая во вниманіе раз-

личнаго дѣйствія центробѣжной силы, то сплюснутость земли должна быть болѣе противу выведенной нами. Ньютонъ, которому мы обязаны примѣненіемъ законовъ центробѣжной силы къ вращенію земли на оси, подвергнувъ вычисленію величину земнаго сжатія и результатомъ его вычисленій было, что земная ось должна относиться къ діаметру экватора какъ 229 къ 230. Точныя измѣренія величины и вида земли должны показать, согласенъ ли этотъ результатъ съ наблюденіемъ.

Въ то время, когда Ньютонъ производилъ свои теоретическія розысканія, наиболѣе точнымъ считалось градусное измѣреніе Пикара, произведенное имъ въ 1669 и 1670 годахъ по порученію Парижской Академіи, между $49^{\circ}54'46''$ с. ш. и $48^{\circ}31'48''$ с. ш. На основаніи этого измѣренія было найдено, что длина градуса равна 342360 парижскимъ футамъ, откуда величина земнаго радіуса получилась равною 19,615,800 париж. футамъ. Величины эти были употреблены Ньютономъ въ его знаменитыхъ изслѣдованіяхъ, касательно притяженія земли на луну, въ разстояніи между поверхностію первой и центромъ послѣдней; одинаковую величину принялъ онъ за средній радіусъ или за такой радіусъ, который должна имѣть земля въ томъ случаѣ, если бы она не производила вращенія на оси, и вычислилъ по немъ сжатость земли. Какъ измѣренія Пикара простирались на протяженіи около полутора градуса, то изъ нихъ нельзя было еще заключить, имѣетъ ли земля въ дѣйствительности форму шара сжатаго у полюсовъ. Для разрѣшенія этого вопроса надлежало произвести гораздо большія измѣренія, которыя и были произведены по назначенію Парижской Академіи съ 1680 по 1700 годъ, на протяженіи всей Франціи отъ Дюнкирхена до Пиринеевъ. Измѣренія эти дали совершенно противоположный результатъ, вслѣдствіе ихъ должно было принять, что земля сжата у экватора, а не у полюсовъ. Но убѣжденіе въ непреложности выводовъ Ньютона было уже тогда такъ укоренено, что для объясненія полученнаго результата скорѣе рѣшились допустить ошибку въ астрономическихъ опредѣленіяхъ и геодезическихъ измѣреніяхъ, справедливость чего и подтвердилась впоследствии.

Для окончательнаго разрѣшенія этого несогласія теорій съ наблюденіями, было предпринято снова, по порученію Парижской Академіи,

градусное измѣреніе на двухъ значительно отдаленныхъ между собою пунктахъ: одно подъ экваторомъ въ Перу, а другое въ Лапландіи. Первое изъ нихъ было начато въ 1735 году подъ руководствомъ Бугера и Кондамина, а второе въ 1736 году подъ руководствомъ Мопертюи и Клеро. Изъ этихъ измѣреній сжатіе земли получилось равнымъ $\frac{1}{178}$, слѣдовательно болѣе противу вычисленнаго Ньютономъ, хотя впоследствии и оказалось, что измѣренія, произведенныя въ Лапландіи, заключали довольно чувствительныя погрѣшности. Послѣ того по порученію французскаго и англійскаго правительствъ, были произведены въ различныхъ мѣстахъ земли многократныя измѣренія съ большою точностію, которая могла быть достигнута при помощи улучшенія инструментовъ и развитія самого способа вычисления. Изъ этихъ измѣреній оказалось, что величина сжатія равна $\frac{1}{300}$ части радіуса. Съ послѣднимъ результатомъ согласуются форма земли, выведенная изъ наблюденій надъ маятникомъ и самое движеніе луны, для объясненія котораго мы должны допустить сжатіе приблизительно равное $\frac{1}{300}$. Если полученные этими тремя путями результаты и не согласуются между собою математически, то разница между ними весьма незначительна сравнительно съ трудностями, представляемыми каждымъ изъ этихъ способовъ. Поэтому дѣйствительное сжатіе земли принимаютъ болѣею частію равнымъ $\frac{1}{300}$ ч. радіуса. Что же касается до выведеннаго Ньютономъ сжатія $\frac{1}{230}$, то оно получено при предположеніи одинаковой плотности всей массы земнаго шара. Но если допустить увеличеніе плотности отъ окружности къ центру, то отъ равномернаго вращенія на оси должно произойти меньшее сжатіе, поэтому подобное увеличеніе плотности земли кажется весьма вѣроятнымъ.

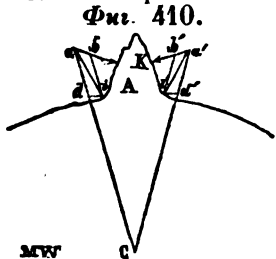
§ 138. Но кромѣ услуги, оказываемой маятникомъ для опредѣленія фигуры земли, онъ представляетъ намъ возможность опредѣлить *среднюю плотность земли*. Опредѣленіе средней плотности земли.

Изъ различныхъ измѣреній, производимыхъ на земной поверхности, мы можемъ найти ея величину, но это не даетъ намъ еще возможности опредѣлить вѣсъ земли, потому что для узнанія вѣса, намъ должно имѣть понятіе объ ея массѣ или о плотности ея. Въ этомъ случаѣ мы должны обратиться къ ближайшему явленію обнаруживаемому ея массою, т. е. къ притяженію. Если бы мы были въ состояніи опредѣлить притяженіе другаго тѣла, котораго масса извѣстна въ точности, то изъ отношенія притяженія, обнаруживаемаго этимъ тѣломъ къ тѣлому притяженію земли, мы бы могли судить и объ отношеніи массы этого тѣла къ полной массѣ земнаго шара. Разрѣшеніе этой задачи можетъ быть произведено посредствомъ простой нити съ гирею, которая въ сущности представляетъ ни что иное какъ маятникъ, находящійся въ равновѣсіи.

Мы уже говорили, въ началѣ статьи о притяженіи, что Бугеръ первый заметилъ уклоненіе маятника отъ отвѣснаго положенія вблизи горы Шимборазо и приписалъ это отклоненіе притяженію массы горы. Справедливость предположенія Бугера была подтверждена около 1772 года опытами двухъ знаменитыхъ англійскихъ естествоиспытателей астронома Мэскеліна и геолога Хутона. — Опыты ихъ были произведены въ Шотландіи у сѣверной и южной подошвы Шегальескихъ горъ. Чтобы убѣдиться въ существованіи отклоненія маятника, находящагося въ равновѣсіи, надлежало искать постоянной точки между звѣздами, потому что причина, производящая отклоненіе мая-

ника должна также измѣнять и направление спокойныхъ водъ, къ которымъ мы обыкновенно относимъ перпендикулярность нити, натянутой гирею. Изъ обѣихъ точекъ наблюденія на сѣверной и южной подошвѣ горъ была направлена астрономическая труба на извѣстныя звѣзды, потомъ были опредѣлены разности угловъ, образуемыхъ этими направлениями съ положеніемъ отвѣса въ обѣихъ точкахъ.

Такимъ образомъ было найдено истинное наклоненіе отвѣсовъ другъ къ другу съ обѣихъ сторонъ горы, у подошвы которой были произведены наблюденія. Уголъ образуемый этими наклоненіями простирается до 53 секундъ (фиг. 410). Послѣ того надлежало опредѣлить, какова должна быть величина этого угла въ томъ случаѣ, если бы между мѣстами наблюденія не существовало горы. Для этого необходимо было знать величину точнаго разстоянія между мѣстами наблюденія. Это разстояніе было опредѣлено измѣреніемъ, произведеннымъ черезъ поверхность горы въ величайшею точностію лучшими геометрами того времени.



Изъ самой же величины земли можно было опредѣлить, на сколько должно измѣняться наклоненіе отвѣса для каждаго 100 футовъ разстоянія. Изъ вычисленія найдено, что если бы не существовало горы между мѣстами наблюденій, то наклоненіе отвѣсовъ должно составлять уголъ въ 41 секунду. Различіе между вычисленнымъ и найденнымъ изъ опыта угломъ очевидно происходило отъ вліянія притяженія горы, масса которой, притягивая къ себѣ отвѣсы какъ съ сѣверной, такъ и съ южной стороны, заставляла оба отвѣса образовывать уголъ не въ 41, но въ 53 секунды. Ясно, что сумма обѣихъ притяженій горы должна простираться до 12 секундъ.

Изъ этихъ данныхъ опредѣлили среднюю плотность земли. По измѣреніи горы было снятъ съ ней точный планъ, посредствомъ котораго можно было судить о самой величинѣ горы. Самая же величина притяженія горы была вычислена при томъ предположеніи, что средняя плотность горы равна средней плотности земнаго шара и нашли, что эта величина приблизительно равна $\frac{1}{9623}$ части полнаго притяженія земли, что почти соответствуетъ отклоненію въ 21 сек. Найденная же изъ опыта величина притяженія простирается только до 12 сек., слѣдовательно около $\frac{1}{17804}$ ч. земнаго притяженія. Поэтому плотность горы могла составлять только $\frac{1}{2}$ отъ средней плотности всего земнаго шара, а это значитъ, что послѣдняя почти вдвое болѣе противу первой. Хутона изслѣдовалъ тщательно виды породъ входившихъ въ составъ горы. Главнѣйшія вещества, входившія въ составъ горы, были кварцъ и слюдяный сланецъ, плотность которыхъ почти $\frac{2}{3}$ раза болѣе плотности воды. Вводя эту величину въ вычисленіе, нашли, что плотность земли должна быть въ 5 разъ болѣе противу плотности воды.

Вслѣдъ за этими опытами, основаніемъ которыхъ было уклоненіе маятника, находившагося въ равновѣсіи, Карлими имѣлъ въ виду достигнуть той же цѣли посредствомъ качаній маятника, производимыхъ вліяніемъ протяженія горы. Онъ расположилъ секундный маятникъ на вершинѣ Монъ Сениса, изслѣдовавъ предварительно видъ, величину и плотность этой горы, и опредѣлилъ изъ числа колебаній длину употребленнаго имъ маятника. Послѣ того онъ вычислилъ изъ наблюденій у поверхности моря, какова должна была длина секунднаго маятника на высотѣ соответствующей вершинѣ горы, въ томъ случаѣ, если бы между маятникомъ и поверхностію земли, лежащей на одномъ уровнѣ съ поверхностію моря, не существовало бы всея горы. Онъ нашелъ, что найденная длина почти на $\frac{1}{2}$ линіи больше вычисленной. А какъ ему было извѣстно удаленіе маятника отъ центра тяжести горы и земли, то на основаніи этихъ данныхъ онъ могъ изъ отношенія притяженія горы къ притяженію земли судить и объ отношеніи ихъ массъ, изъ котораго не трудно уже было

вычислить плотность земли. Онъ нашелъ, что она въ $4\frac{1}{2}$ раза болѣе противу плотности воды.

Но всѣ эти опыты кромѣ самой трудности точнаго измѣренія и вычисленія массы огромной горы были подвержены еще и другому неудобству, заключающемуся въ томъ, что по различію плотности слоевъ земли у мѣста наблюденія невозможно судить о величинѣ обнаруживаемаго тамъ притяженія.

Эта неравномѣрность плотности земныхъ слоевъ могла оказывать замѣтное вліяніе на маятникъ. Масса гранита или углубленіе величиною съ гору, у которой производилъ наблюденія Мэсклейнъ, могутъ производить отклоненіе отвѣса въ ту или другую сторону на уголъ въ 2 или $3\frac{1}{4}$ секунды, въ томъ случаѣ, если онъ находится надъ поверхностію земли близъ наблюдаемаго отвѣса. Поэтому для доставленія опытамъ большей точности надлежало опредѣлить притяженіе горы независимо отъ притяженія земли.

Всякій маятникъ, висящій на ниткѣ, какъ мы уже знаемъ, подверженъ дѣйствію тяжести. Для устраниенія этого неудобства употребляютъ маятникъ находящійся въ горизонтальномъ положеніи. Такой маятникъ можетъ представить намъ легко подвижной рычагъ, покоющійся на одной точкѣ. Приблизивъ къ одной изъ оконечностей этого рычага съ боку массу извѣстнаго объема, какъ напр. шаръ, мы найдемъ, что притяженіе этой массы будетъ стремиться приводить рычагъ въ вращеніе и этому вращенію очевидно нисколько не будетъ противодѣйствовать тяжесть, потому что направленіе этого притяженія совершается не по отвѣсному, но по горизонтальному направленію.

Такимъ образомъ рычагъ совершаетъ горизонтальныя качанія, которыхъ величина можетъ быть удвоена, если мы приблизимъ двѣ равныя массы къ двумъ оконечностямъ рычага.

Установленный такимъ образомъ горизонтальный маятникъ есть ничто иное какъ описанный нами выше приборъ Кавендиша, извѣстный подъ названіемъ Крутительныхъ вѣсовъ.

Вѣсы эти, какъ мы уже видѣли, могутъ служить доказательствомъ существованія притяженія между массами на земной поверхности.

Они даютъ намъ подтвержденіе математическаго вывода законовъ этого притяженія. Въ настоящемъ случаѣ мы покажемъ приспособленіе этого прибора къ опредѣленію средней плотности земли.

Крутительные вѣсы, какъ мы сказали, представляютъ маятникъ, качающійся по горизонтальному направленію. Но сила, съ которою горизонтальный маятникъ приводится въ движеніе, очевидно соотвѣтствуетъ только величинѣ боковаго его отклоненія и потому сила эта находится въ томъ же самомъ отношеніи къ цѣлому вѣсу небольшого шарика, находящагося на его концѣ, какъ и величина боковаго отклоненія къ длинѣ маятника. Поэтому, если два большіе шара отклоняютъ два меньшіе въ секунду на одинъ дюймъ изъ ихъ состоянія равновѣсія и если длина маятника, положимъ, равна 39 дюймамъ, то сила, отклоняющая маятникъ на одинъ дюймъ въ сторону, будетъ равна $\frac{1}{39}$ его вѣса. Для болѣе медленныхъ качаній отклоняющая сила должна уменьшаться пропорціонально квадратамъ времени качаній.

Если эти шарики дѣлаютъ одно качаніе въ 10 секундъ, то сила, отклоняющая ихъ на одинъ дюймъ, будетъ простирается только на $\frac{1}{3900}$ ихъ вѣса.

Время качанія шариковъ, находящихся на оконечностяхъ горизонтальнаго рычага, можетъ быть удобно наблюдаемо въ крутительныхъ вѣсахъ, что даетъ намъ возможность вычислить величину отклоняющей силы или притяженія соотвѣтствующаго наблюденію. Какая же точность должна быть употреблена какъ при наблюденіи, такъ и при вычисленіи, видно изъ того, что цѣлое притяженіе большихъ шаровъ составляетъ около $\frac{1}{30\,000\,000}$ части вѣса малыхъ шариковъ и что возможная при этомъ ошибка не должна превосходить $\frac{1}{10}$ части этой незначительной величины.

Изъ величины большихъ шаровъ и ихъ разстоянія отъ малыхъ, изъ величины земли и удаленія малыхъ шариковъ отъ ея центра можно вычислить отношеніе, въ которомъ находится притяженіе обнаруживаемое большими

шарами на малые къ притяженію, производимому землею на послѣдніе, т. е. къ вѣсу ихъ. Изъ величины притяженія можетъ быть выведенъ вѣсъ земли и плотность ея. Изъ 2000 наблюдений, произведенныхъ крутителными вѣсами, найдено, что средняя плотность земли въ $5\frac{1}{2}$ раза болѣе противу плотности воды. Примѣняя къ этому выводу найденную изъ измѣреній величину земли, получимъ, что вѣсъ ея простирается до $13\frac{1}{2}$ квадрильоновъ фунтовъ.

Покажемъ теперь, какимъ образомъ на основаніи результатовъ, доставленныхъ маятникомъ, мы получаемъ возможность судить о самой внутренности обитаемой нами планеты. Если сравнить полученную среднюю плотность земли съ плотностію массъ, лежащихъ на ея поверхности, то найдемъ, что наиболѣе распространенныя между ними, гранитъ, известнякъ, глина, песокъ только отъ 2 до 3 разъ плотнѣе воды, слѣдовательно едва достигаютъ половины общей плотности земли. Наиболѣе плотныя массы, встрѣчаемыя нами на землѣ суть металлы, но они не распространены въ такомъ значительномъ количествѣ, чтобы въ состояніи были содѣйствовать увеличенію плотности земныхъ слоевъ. Поэтому мы должны придти къ тому заключенію, что плотность земли увеличивается по мѣрѣ приближенія отъ поверхности къ центру ея и это увеличеніе плотности должно быть даже значительное для того, чтобы тяжесть внутренней массы въ состояніи была вознаграждать незначительную плотность наружнаго слоя. Изъ чего именно состоятъ эти плотные слои, составляющіе ядро земнаго шара, неизвѣстно до настоящаго времени и всѣ заключенія относительно этого предмета ограничиваются одними гипотезами, предметъ которыхъ относится собственно къ геологій. Мы можемъ только заключать, что ядро должно состоять изъ твердаго тѣла. Нѣкоторые допускаютъ быстрое увеличеніе плотности верхнихъ слоевъ земли, предполагая, что при этомъ можетъ существовать внутри земли пустота. Но подобное размѣщеніе слоевъ земли не могло бы существовать безъ нарушенія постоянной плотности земнаго шара. Такому размѣщенію препятствуетъ самый видъ земли. Сжатіе ея у полюсовъ, какъ мы показали, есть слѣдствіе вращенія на осн. Но наружныя части земли, описывающія большіе круги, пріобрѣтаютъ вслѣдствіе того и большую центробѣжную силу, которая служитъ причиною тому, что слои эти оказываютъ большее вліяніе противу внутреннихъ слоевъ на самую форму земли. Если бы эти наружныя слои были плотнѣе внутреннихъ, то и дѣйствіемъ ихъ центробѣжной силы было бы болѣе значительное сжатіе, противу того, которое обнаруживаетъ въ дѣйствительности земля. Но самое заблужденіе Ньютона, который при допущеніи равномерной плотности земли нашелъ гораздо большее сжатіе противу того, которое было выведено непосредственно изъ измѣреній, должно насъ привести къ заключенію, что незначительное сжатіе, существующее на самомъ дѣлѣ, есть слѣдствіе увеличенія плотности земли по направленію къ ея центру или, говоря другими словами, перевѣсъ плотности ядра надъ корою.

Общее понятіе о тяготѣннѣи.

§ 139 Мы предполагаемъ здѣсь извѣстнымъ, что луна, земля и другія планеты суть тѣла свободно двигающіяся въ пространствѣ и въ настоящемъ случаѣ мы будемъ имѣть только въ виду объяснить, въ общихъ чертахъ, какимъ образомъ производится движеніе ихъ.

Для этого позвѣмъ движеніе луны. Если бы луна въ извѣстный моментъ времени не была подвержена дѣйствію постороннихъ силъ или, говоря другими словами, если бы она была предоставлена самой себѣ, то очевидно, что вслѣдствіе инерціи она будетъ продолжать двигаться равномерно со скоростію пріобрѣтенной въ послѣдній моментъ дѣйствія силы по направленію прямой

линіи. Но какъ астрономическія изысканія убѣждаютъ насъ, что движеніе луны, подобно тому какъ и движеніе прочихъ планетъ, совершается по замкнутымъ кривымъ линіямъ, то мы должны допустить, что это уклоненіе отъ прямолинейнаго пути происходитъ вслѣдствіе дѣйствія на луну посторонней силы, которая заставляетъ ее описывать круговой путь вокругъ земли.

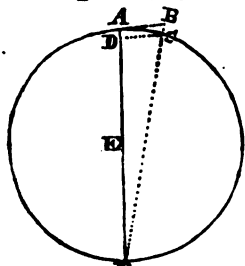
Какая же именно сила производить это дѣйствіе? Не та ли самая, которая заставляетъ камень или всякое другое тѣло падать на землю? Если мы примемъ, что тяжесть, обнаруживающаяся на земной поверхности при свободномъ паденіи тѣлъ, дѣйствуетъ за предѣлы нашей атмосферы и достигаетъ до луны, то очевидно, что напряженіе этой силы, какъ и всякой другой силы, по мѣрѣ удаленія отъ земли должно уменьшаться согласно квадрату разстоянія, то есть, что при удвоеніи, утроеніи и т. д. разстоянія между средоточіемъ земли и притягиваемымъ тѣломъ напряженіе тяжести будетъ въ 4, въ 9 и т. д. разъ слабѣе. Какъ луна отстоитъ въ 60 разъ далѣе отъ центра земли нежели поверхность послѣдней, то напряженіе тяжести на лунѣ будетъ въ 60² разъ или въ 3600 разъ слабѣе нежели на земной поверхности. Поэтому, если пространство, проходимое падающимъ тѣломъ въ первую секунду, на земной поверхности равно 4,9 метра, то пространство, которое должна пройти луна при движеніи своемъ къ землѣ, должно быть равно въ секунду $\frac{4,9}{60^2}$, слѣдо-

зательно въ минуту, т. е. въ 60 секундъ $\frac{4,9}{60^2} \times 60^2 = 4,9$ метра. Это значитъ, что пространство, которое бы должна пройти луна при паденіи своемъ къ землѣ въ теченіи минуты, равно пространству, проходимому тѣломъ падающимъ на земной поверхности въ первую секунду паденія.

Изъ законовъ центральнаго движенія мы знаемъ, что это движеніе обуславливается отношеніемъ между силой, сохраняемой тѣломъ по инерціи, и тою силой, которая приближаетъ ее къ центру движенія. Чтобы убѣдиться въ томъ, действительно ли тяжесть принимаетъ участіе въ движеніи луны, намъ должно найти для извѣстнаго времени величину центробѣжной силы постоянно искривляющей путь движенія этого спутника нашей планеты и сравнить эту величину съ тѣмъ пространствомъ, которое мы нашли для паденія луны при предположеніи дѣйствія на нее тяжести.

Величина земнаго экватора, какъ мы уже говорили, простирается до 40 миллионѣвъ метровъ, а какъ радиусъ пути, описываемаго луною, по вычисленіямъ астрономическимъ равняется 60 земнымъ радиусамъ, то длина круговаго пути луны должна быть равна 2400 миллионамъ метровъ; путь этотъ, какъ извѣстно, луна совершаетъ въ 27 дней, 7 часовъ и 43 минуты или, что одно и тоже, въ 39343 минуты. Слѣдовательно въ каждую минуту она проходитъ путь $\frac{2,400,000,000}{39343}$ или 61,000 метровъ. Положимъ, что (на фиг. 411) ΔC

Phi. 411.



ний радиусъ, т. е. $AD = \frac{AC^2}{AF}$. Вставляя въ это AC и AF , равныя имъ величины, выраженные въ метрахъ, т. е. для AC — 61,000 метр., а для діаметра пути луны 763,950,000 метр., получимъ, что $AD = 4.87$ метр.

Сравнивая полученный нами результатъ изъ астрономическихъ наблюденій 4,87 метр. съ пространствомъ, которое бы луна должна пройти въ то же время при паденіи своемъ къ землѣ вслѣдствіе законовъ свободнаго паденія тѣлъ и которое равно 4,87 метр. въ минуту, мы находимъ весьма малую разницу и даже разницы не существовала, если бы мы для большей простоты вычисленія не ввели въ него приближенныхъ величинъ. Такъ напр. при времени обращенія луны мы оставили безъ вниманія секунды и самое удаленіе луны отъ земли положили равнымъ 60 земнымъ радіусамъ, тогда какъ въ дѣйствительности оно равно 60,16 радіуса.

На основаніи этого согласія выводовъ мы имѣемъ полное право допустить, что та же самая сила, которая заставляетъ камень приближаться къ земной поверхности, заставляетъ луну описывать круговое движеніе вокругъ земли. Такимъ образомъ тяжесть есть та же самая сила, которая дѣйствуетъ между небесными тѣлами, и называется *тяготѣніемъ*. Открытіемъ этого тождества мы обязаны глубокой проникательности и неутомимымъ изслѣдованіямъ Ньютона безсмертную славу котораго можетъ обезпечить одно уже это открытіе.

Ньютонъ ввелъ въ свои вычисленія для земнаго радіуса и слѣдовательно для удаленія луны (60 радіусовъ) величину менѣе настоящей и поэтому, восходя отъ напряженія тяжести на землѣ до напряженія тяжести, соотвѣтствующаго разстоянію луны отъ земли, онъ нашелъ большую противу настоящаго величину. По его вычисленіямъ величина пространства паденія была болѣе противу выведенной изъ астрономическихъ наблюденій.

Разница эта была такъ велика, что самъ Ньютонъ готовъ былъ отказаться отъ своей теоріи, т. е. онъ оставилъ мысль, чтобы центробѣжная сила, обуславливающая круговое движеніе луны, была бы сила тождественная съ тяжестью. Онъ предполагалъ даже, что послѣдняя не дѣйствуетъ согласно закону квадратовъ разстояній и что наконецъ въ движеніи луны кромѣ земной тяжести должна участвовать еще другая неизвѣстная сила.

Въ теченіи 12 лѣтъ онъ оставилъ безъ изслѣдованія свои розысканія объ этомъ предметѣ. Въ іюнѣ мѣсяцѣ 1682 года, во время нахождения своего въ Лондонѣ онъ присутствовалъ въ засѣданіи Королевскаго Общества, гдѣ было читано полученное извѣстіе объ измѣреніи градусовъ меридіана, произведенномъ во Франціи Астрономъ Пикаромъ. Измѣреніе это показывало, что земной радіусъ должно $\frac{1}{4}$ было принять болѣе противу величины введенной имъ въ вычисленіе. Возвратившись въ Кембриджъ, онъ занялся повѣркою прежнихъ своихъ вычисленій, которая при самомъ началѣ обѣщала достиженіе счастливаго результата. Несомнѣнный успѣхъ возбудилъ въ немъ восторгъ, который не позволилъ ему самому продолжать вычисленія и онъ передалъ его для окончанія одному изъ своихъ друзей. По окончаніи вычисленія найдено было, что дѣйствіе земной тяжести, опредѣленное опытами надъ паденіемъ тѣлъ и уменьшенное пропорціонально квадрату разстоянія, равнялось уже съ незначительною разностію центростремительной силѣ луны, выведенной изъ скорости ея обращенія.

Результаты неутомимыхъ своихъ изысканій надъ центральнымъ движеніемъ небесныхъ тѣлъ Ньютонъ изложилъ въ классическомъ сочиненіи своемъ «*Philosophiæ naturalis principia mathematica: математическія начала естественной философіи.*»

Такимъ образомъ изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что дѣйствіе тяжести простирается на луну. Разсмотримъ нѣсколько ближе участіе этой силы при движеніи луны.

Отъ дѣйствія тяжести луна должна стремиться упасть на землю точно такъ какъ падаетъ камень или другое тѣло отдѣленное отъ земли. Луна бы дѣйствительно упала на землю, если бы при самомъ началѣ дѣйствія тяжести она не имѣла скорости пріобрѣтенной ею отъ дѣйствія какой либо посторон-

ней силы. Сила эта должна дѣйствовать при самомъ началѣ перпендикулярно къ направленію дѣйствія тяжести и потому луна находится въ этомъ случаѣ при тѣхъ же условіяхъ какъ и всякое вѣсомое тѣло, брошенное горизонтально. Если она и не описываетъ подобно этому тѣлу параболы, то это происходитъ отъ того, что по мѣрѣ перемѣщенія ея въ пространствѣ, сила тяжести, дѣйствующая изъ центра земли, постоянно измѣняется въ своемъ направленіи, тогда какъ дѣйствія той же самой силы на тѣло, брошенное на земной поверхности горизонтально, мы можемъ принять за параллельныя по причинѣ незначительности пробѣгаемаго имъ пространства относительно размѣровъ земли.

Если бросать пушечное ядро съ постоянно увеличивающеюся силою по направленію параллельному къ горизонту, то оно будетъ падать на землю въ точкахъ все болѣе и болѣе отдаленныхъ отъ мѣста выстрѣла и описываемая имъ парабола будетъ имѣть постоянно уменьшающуюся кривизну. Если бы

Фиг. 412.



Фиг. 413.



поверхность земли была плоская, (фиг. 412), то ядро будетъ всегда встрѣчать эту поверхность, какъ бы не была велика скорость, сообщаемая ему при началѣ верженія. Но поверхность земли шарообразна, потому что земля имѣетъ видъ почти совершеннаго шара; слѣдовательно ядро упадетъ на землю только тогда, когда параболы *AB*, или *AC*, или *AD* (фиг. 413), описываемыя имъ отъ дѣйствія тяжести, будутъ имѣть большую кривизну противу земной поверхности. Но если скорость, пріобрѣтенная при началѣ верженія, будетъ достаточно велика для того, чтобы кривизна параболы *AE*, описываемой ядромъ, была одинакова съ кривизной земной поверхности, то ядро уже не упадетъ на эту поверхность.

Обладая въ этомъ случаѣ большою скоростію, оно можетъ удалиться значительно отъ точки своего исхода и потому мы не можемъ уже предполагать, что тяжесть дѣйствуетъ на него въ направленіяхъ параллельныхъ, а слѣдовательно и самое движеніе его не будетъ уже совершаться по параболабъ. Мы должны допустить, что движеніемъ ядра управляютъ уже не параллельныя, но постоянно сходящіяся въ центрѣ земли дѣйствія тяжести. Вслѣдствіе того, если ядро опишетъ дугу *AA'*, не приблизившись къ землѣ, то оно будетъ находиться въ точкѣ *A'* въ точно тѣхъ же условіяхъ какъ и въ точкѣ *A* при началѣ своего движенія. Тоже самое мы можемъ сказать и о дальнѣйшихъ точкахъ движенія ядра. Поэтому ядро будетъ вращаться вокругъ земной поверхности, никогда не встрѣчая ее по крайней мѣрѣ до тѣхъ поръ, пока какая либо посторонняя причина, какъ напр. сопротивленіе воздуха, не уменьшитъ скорости его движенія. Вычисленіе показываетъ, что для доставленія описаннаго нами движенія ядру, брошенному горизонтально, необходимо сообщить ему скорость немного менѣе 8000 метровъ въ секунду. Въ тѣхъ же самыхъ обстоятельствахъ находится луна при движеніи своемъ вокругъ земли: скорость луны въ каждый моментъ движенія такъ велика, что въ состояніи заставить ее описывать около земли замкнутую кривую линію близко подходящую къ кругу. Тоже самое происходитъ при движеніи земли и другихъ планетъ вокругъ солнца.

Законы движенія планетъ вокругъ солнца были выведены изъ астрономическихъ наблюденій Кеплеромъ и потому носятъ названіе *Кеплеровыхъ законовъ*.

Они заключаются въ слѣдующемъ:

1) Движеніе планетъ совершается по эллипсамъ, въ одномъ изъ фокусовъ которыхъ находится солнце.

2) Если провести отъ солнца къ какой нибудь планетѣ линію, по направленію которой планета притягивается солнцемъ, то линія эта будетъ описывать въ равныя времена равныя площади.

3) Для различныхъ планетъ кубы среднихъ разстояній ихъ отъ солнца относятся между собою какъ квадраты ихъ времени обращенія.

Для объясненія этихъ законовъ могутъ служить разсужденія, приведенныя нами въ 63, 64, 65, 66 и 67 параграфахъ.

Дѣйствіе тяжести на жидкія тѣла.

РАВНОВѢСІЕ КАПЕЛЬНОЖИДКИХЪ ТѢЛЪ.

(Гидростатика). *

Сущес-
твен-
ныя
свой-
ства
жидко-
стей.

§ 140. Число тѣлъ, имѣющихъ при обыкновенной температурѣ видъ жидкостей, весьма ограничено; къ наиболѣе извѣстнымъ изъ нихъ принадлежатъ: вода, винный спиртъ, масла и ртуть. Многія же прочія жидкости, какъ напр. молоко, пиво, вино, водка, чернила и др., представляютъ собою не что иное, какъ смѣшеніе воды съ другими жидкостями или съ твердыми тѣлами, которыя растворены въ ней химически. Мы будемъ разсматривать здѣсь только механическія свойства жидкостей, происходящія отъ дѣйствія тяжести и легкой подвижности ихъ частицъ, и ограничимся изслѣдованіемъ воды, какъ жидкости наиболѣе распространенной въ природѣ.

Прежде нежели приступимъ къ изслѣдованію законовъ равновѣсія жидкостей, мы займемся предварительно разсмотрѣніемъ тѣхъ свойствъ, которыя зависятъ отъ легкой подвижности ихъ частицъ и служатъ основаніемъ всему ученію о жидкостяхъ.

Главнѣйшее отличіе жидкихъ тѣлъ отъ твердыхъ заключается, какъ мы уже говорили, въ легкой подвижности ихъ частицъ.

Въ этомъ отношеніи жидкости представляютъ сродство съ газами: при малѣйшемъ дѣйствіи внѣшней силы, частицы тѣхъ и другихъ измѣняютъ свое положеніе, и при самомъ незначительномъ давленіи стремятся къ удаленію другъ отъ друга въ томъ случаѣ, если этому стремленію не противопоставлено какое нибудь сопротивленіе, какъ напр. стѣны сосудовъ, заключающихъ ихъ.

Но этою легкою подвижностью частицъ жидкости обладаютъ въ меньшей степени противу газовъ, потому что первыя при одномъ и томъ же объемѣ принимаютъ различныя формы, между тѣмъ какъ послѣдніе измѣняютъ отъ давленія и форму и объемъ.

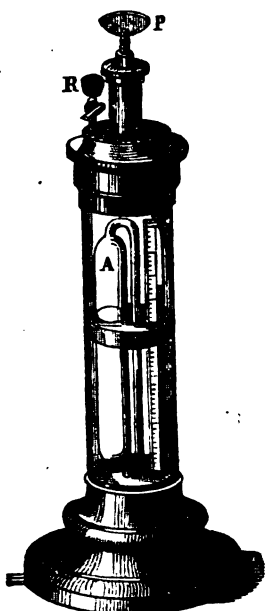
Другое отличіе жидкостей заключается въ незначительной сжимаемости ихъ, тогда какъ газы обладаютъ въ высшей степени этимъ свойствомъ.

* Отъ греческихъ словъ: вода и стою спокойно.

Вслѣдствіе описаннаго нами выше опыта Флорентинскихъ академиковъ долгое время думали, что жидкости совершенно не сжимаемы. Потомъ изысканія надъ этимъ предметомъ были послѣдовательно производимы въ Англіи Кентономъ въ 1761 г. и Перкинсомъ въ 1819 г.; въ Копенгагенѣ Эрстетоу въ 1823 г., наконецъ въ Парижѣ Коллядономъ и Штурмомъ въ 1827 г., и этими различными опытами доказано, что жидкости дѣйствительно сжимаемы.

Приборы, служащіе для измѣренія сгущаемости жидкостей, называются *пъезометрами* (отъ греческихъ словъ: *давить* и *мѣра*). Мы опишемъ пъезометръ Эрстета, съ нѣкоторыми измѣненіями, сдѣланными въ немъ французскимъ физикомъ

Фиг. 415.



m.w.

Депрецомъ (фиг. 415). Этотъ приборъ состоитъ изъ плотнаго стекляннаго цилиндра съ весьма толстыми стѣнками и діаметромъ отъ 8 до 9 сантиметровъ. Цилиндръ закрытъ снаружи деревяннымъ пьедесталомъ, въ который онъ плотно вдѣланъ; къ верхней же части цилиндра плотно прикрѣпленъ мѣдный цилиндрическій сосудъ, запирающійся крышкою, которая по произволу можетъ быть отвинчиваема. Сквозь эту крышку проходятъ воронка *K*, чрезъ которую вливаютъ въ цилиндръ воду, и небольшой насосъ съ плотно входящимъ въ него поршнемъ, приводимымъ въ движеніе посредствомъ нажимательнаго винта *P*.

Внутри прибора находится стеклянный резервуаръ *A*, наполненный сгущаемою жидкостью. Этотъ резервуаръ въ верхней части своей оканчивается волосною трубкою, которая загибается и погружается въ ртуть *O*. Эту трубку раздѣляютъ заранее на части равнаго протяженія и опредѣляютъ сколько этихъ частей заключается въ резервуарѣ; для чего отыскиваютъ вѣсъ *P* ртути, содержащейся въ резервуарѣ *A* и вѣсъ *p* ртути, заключающейся въ известномъ числѣ *n* дѣленій волосной трубки. Представивъ тогда чрезъ *N* число дѣленій трубки, заключающихся въ резервуарѣ, получимъ, что $N:n=P:p$; откуда опредѣляли величину *N*.

Наконецъ внутри цилиндра есть еще *манометръ со сжатымъ воздухомъ*. Такъ называется стеклянная трубка *B*, которой верхній конецъ запаянъ, а нижній открытъ и погруженъ во ртуть, находящуюся на днѣ прибора. Пока не производится никакого давленія на воду, наполняющую цилиндръ, то трубка *B* вся наполнена воздухомъ; но лишь только посредствомъ винта *P* и поршня сожмемъ воду въ цилиндрѣ, то давленіе передается ртути, которая и поднимается въ трубкѣ *B*, сгущая находящійся въ ней воздухъ. Раздѣленная на

Часть I.

40

градусы; доска *C*, расположенная по длинѣ этой трубки, показываетъ убавленіе объема воздуха; по этому же убавленію можно судить о силѣ давленія на жидкость въ цилиндрѣ, какъ это мы увидимъ въ послѣдствіи при разсмотрѣніи началъ, на которыхъ основано устройство манометровъ.

Приступая къ произведенію опыта посредствомъ этого прибора, прежде всего наполняютъ резервуаръ *A* сгущаемою жидкостью; потомъ чрезъ воронку *R* наполняютъ цилиндръ водою. Поворачивая тогда винтъ *P* такъ, чтобы поршень опускался, мы производимъ послѣднимъ давленіе на воду и ртуть, находящуюся въ приборѣ; вслѣдствіе этого давленія ртуть не только поднимается какъ въ трубку *B*, такъ и въ волосную трубку, соединенную съ резервуаромъ *A*. Это поднятіе ртути въ волосной трубкѣ показываетъ, что жидкость въ резервуарѣ уменьшилась въ объемѣ, а какъ мы знаемъ, что резервуаръ содержитъ *N* дѣлений трубки, то ясно, что по числу дѣлений, занятыхъ ртутью въ волосной трубкѣ, можно судить и о самой мѣрѣ сгущенія жидкости.

Эрстедъ, въ своихъ опытахъ предположилъ, что объемъ резервуара остается неизмѣненъ, потому что стѣнки его одинаково сжимаются какъ съ наружной, такъ и со внутренней стороны. Но математическій анализъ доказываетъ, что этотъ объемъ уменьшается отъ дѣйствія внутренняго и внѣшняго давленія. Коллядонъ и Штурмъ въ своихъ опытахъ принимали въ расчетъ это измѣненіе объема. Эти ученые нашли для давленія, равнаго давленію атмосферы при температурѣ 0°, слѣдующія сгущенія:

Ртуть	5	милліонныхъ первоначальн. объема.
Дистиллированная вода неочищенная отъ воздуха . .	45	» » »
Дистиллированная вода очищенная отъ воздуха	51	» » »
Сѣрный эфиръ	133	» » »

Кромѣ того они же нашли, посредствомъ наблюденій надъ водою и ртутью, что въ извѣстныхъ предѣлахъ уменьшеніе объема этихъ жидкостей пропорціонально давленію.

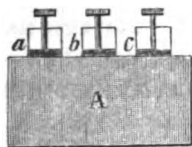
Законъ Паскаля § 141. Мы знаемъ, что всѣ окружающія насъ тѣла покоряются притяженію земли, на которой онѣ находятся. Независимо отъ этого, тѣла могутъ заключать всѣ другія свойства и потому при разсмотрѣніи послѣднихъ, мы вправѣ отдѣлить отъ нихъ дѣйствіе тяжести, т. е. представить себѣ тѣла эти такимъ образомъ, какъ будто на нихъ не дѣйствуетъ сила тяжести. Допущеніемъ такого предположенія мы нисколько не измѣняемъ основныхъ свойствъ этихъ тѣлъ. И въ самомъ дѣлѣ, подъ тяжестію мы разумѣемъ притяженіе земли на тѣла, находящіяся въ сферѣ ея притяженія. Если бы каждое изъ нихъ было перенесено въ пространство, чрезвычайно удаленное отъ земли и отъ всѣхъ небесныхъ тѣлъ, которыя способны къ обнару-

женію подобнаго притяженія, то очевидно, что тѣла перестанутъ быть тяжелыми; но это не помѣшаетъ сохранить имъ свои основныя свойства. Поэтому при разсмотрѣніи свойствъ, основанныхъ на легкой подвижности жидкостей, мы будемъ изслѣдовать ихъ независимо отъ дѣйствія тяжести.

Устраняя отъ жидкостей дѣйствіе тяжести и рассматривая ихъ какъ тѣла почти несжимаемыя и обладающія единственно легкою подвижностію своихъ частицъ, мы найдемъ слѣдующія свойства.

1) Давленіе, производимое по какому нибудь направленію на жидкость, заключающуюся въ сосудѣ, обнаруживаетъ совершенно другое дѣйствіе, нежели на твердое тѣло.

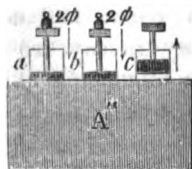
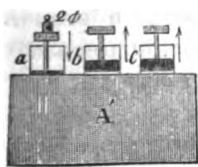
Представимъ себѣ, что въ сосудѣ *A* (фиг. 416) заключается твердое тѣло, плотно прилегающее со всѣхъ сторонъ къ стѣнкамъ сосуда. Оставляя безъ вниманія дѣйствіе тяжести на это тѣло, положимъ, что на него посредствомъ подвижнаго поршня *a* произведено извѣстное давленіе *P*, напр. равное 10 фунтамъ, по направленію перпендикулярному сверху внизъ.



Понятно, что это давленіе должно распространяться подъ нижнею поверхностію поршня *a*, отъ слоя къ слою, по направленію отвѣсному, до самаго дна сосуда. Часть дна, отвѣсно лежащая подъ поршнемъ, будетъ претерпѣвать точно такое давленіе какъ и въ томъ случаѣ, если бы она выносила непосредственно давленіе 10 фунтовъ.

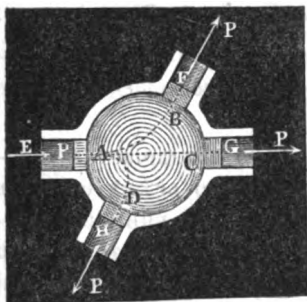
Какъ это давленіе поршня передается отвѣсно книзу и какъ твердыя тѣла не обладаютъ легкою подвижностію, которая бы позволяла передавать въ стороны сообщаемое имъ давленіе, то очевидно, что послѣднее не должно сообщаться боковымъ стѣнкамъ сосуда. Тоже самое мы можемъ сказать и о верхней стѣнкѣ сосуда: ни одинъ изъ поршней *b* и *c* не поднимется кверху, чего должно было бы ожидать, еслибъ давленіе, сообщаемое твердому тѣлу поршнемъ *a*, передавалось во всѣ стороны.

Совсѣмъ другое должны представлять намъ жидкости. Каждая прикасающаяся къ поршню частица, обладая легкою подвижностію по всѣмъ направленіямъ, уступаетъ давленію и стремится передать его во всѣ стороны съ силою соотвѣтствующею давленію. Чтобы убѣдиться въ этомъ наполняютъ водою сосудъ, представленный на фиг. 416-й. Если запереть плотно три равныя трубки *a*, *b* и *c* тремя равными поршнями, доходящими до самой поверхности воды въ сосудѣ и произвести на одинъ изъ нихъ *a* (фиг. 417) давленіе или рукою или посредствомъ какой либо гири, то увидимъ, что сосѣдніе поршни *b* и *c* поднимутся, какъ показываютъ стрѣлки на фиг. 418.



Поршни же *b* и *c* могли подняться въ томъ только случаѣ, если частицы воды, прикасающіяся съ поршнемъ *a*, распространяють сообщенное имъ давленіе чрезъ всю массу жидкости до самой крышки сосуда.

Что это давленіе распространяется не только кверху, но и *во всѣмъ направленіи*, можно видѣть изъ опыта, представленнаго на фиг. 419. Она изобразаетъ горизонтальный разрѣзъ сосуда, въ которомъ сдѣланы четыре одинаковыя отверстія, запирающіяся совершенно равными поршнями.

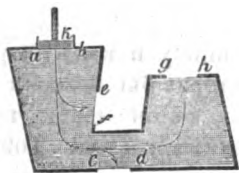


Намъ остается только подтвердить опытомъ, что это давленіе передается съ *одинаковою* силой. Но такого доказательства мы не можемъ произвести съ точностію, потому что при опытахъ мы не въ состояніи ни устранить вліянія тяжести на жидкость, ни освободить отъ

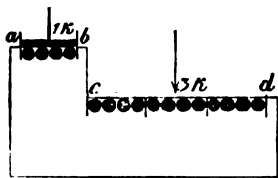
тренія поршни, передающіе давленіе.

Показанное нами свойство воды называется въ Физикѣ *закономъ равнаго давленія* или *закономъ Паскаля*, по имени этого французскаго ученаго, открывшаго законъ равнаго давленія.

Фиг. 420.



Фиг. 421.

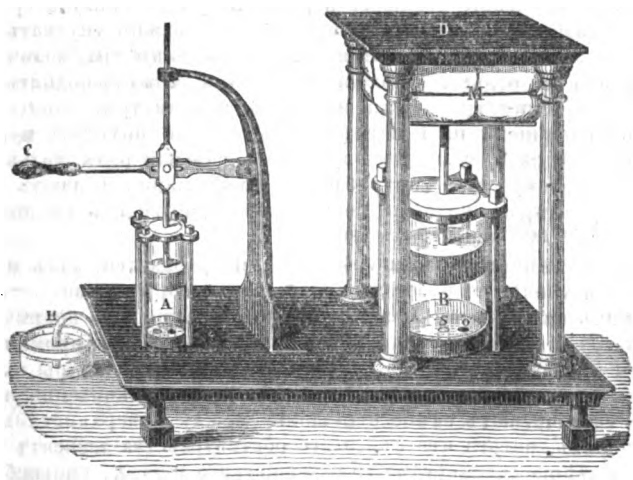


На основаніи этого закона части сосуда *ef*, *gh*, *cd* (фиг. 420), имѣющія равное протяженіе съ поверхностію поршня *ab*, должны претерпѣвать въ отдѣльности одинаковое давленіе со слоемъ жидкости *ab*, прикасающимся къ поршню *k*. Предположимъ, что части эти расположены на одной линіи *cd* (фиг. 421); отъ давленія поршня *k*, прикасающагося къ четыремъ частицамъ, линія эта *cd* будетъ претерпѣвать давленіе 12 частицъ. Очевидно, что для удержанія равновѣсія въ этомъ случаѣ, мы должны приложить къ *cd*, съ противоположной стороны, силу въ 3 раза большую противу силы, давящей на поршень *k*. Это значитъ, что величина давленія, происходящая отъ дѣйствія какой либо силы на поверхность

жидкости, зависитъ отъ величины поверхности, принимающей давленіе, которое поэтому можетъ быть увеличено по произволу.

Если сила вдавливаемаго поршня равна 100 фунтамъ, а величина его поверхности равна 1 квадратному дюйму, то давленіе производимое жидкостію на стѣны сосуда въ 60 квадратныхъ дюймовъ, будетъ простирается до 60×100 или 6000 фунтовъ.

На этомъ равномерномъ распространеніи давленія въ жидкостяхъ основано Гидрав-
устройство гидравлическаго пресса, изобрѣтеннаго Паскалемъ около 1650 г. и лическій
усовершенствованнаго въ Лондонѣ въ 1796 году Брама, который первый прессъ.
приспособилъ этотъ приборъ къ практическому употребленію для фабрикъ и
заводовъ. На фиг. 422-й представлена модель гидравлическаго пресса, употре-
б-
Фиг. 422.



лемая собственно для нагляднаго изученія. Приборъ этотъ, назначаемый для
произведенія огромныхъ давленій, состоитъ изъ двухъ сообщающихся между
собою цилиндровъ А и В, изъ которыхъ одинъ меньшаго, а другой большаго
діаметра. Въ первомъ цилиндрѣ находится поршень, двигающійся посредствомъ
рычага. Цилиндръ этотъ наполняется водою изъ резервуара Н, сообщающего
съ нимъ посредствомъ трубки, отверстіе которой можетъ быть запираемо
и отпираемо клапаномъ, утвержденнымъ на днѣ цилиндра. Впослѣдствіи мы
объяснимъ, на чемъ основывается наполненіе водою сосуда А, теперь же ска-
жемъ только, что оно происходитъ при поднятіи поршня. При опусканіи того
же самаго поршня, клапанъ на днѣ цилиндра запираетъ отверстіе трубки, со-
общающей цилиндръ съ резервуаромъ Н. Надавливаемая поршнемъ вода, на-
ходя открытымъ одно только отверстіе трубки, сообщающей оба цилиндра и
представленной на нашемъ чертежѣ точками, устремляется по этой трубкѣ до
самаго отверстія S, прикрытаго клапаномъ, отворяющимся кверху. Клапанъ
этотъ поднимается всякій разъ, когда новое количество воды, надавливаемой
поршнемъ, устремляется изъ цилиндра А въ В; но онъ опускается вслѣдствіе
собственнаго своего вѣса, при каждомъ поднятіи поршня въ А, т. е. когда
на клапанъ не производится давленія снизу.

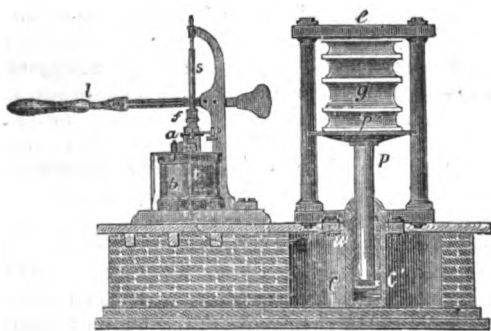
Въ цилиндрѣ В находится клапанъ, назначенный для передачи давленій.
Съ этою цѣлю стержень его снабженъ чугунной доской, на которую кладутъ
тѣла, назначаемыя для сильнаго сжатія. Отверстіе же О назначается собствен-
но для выпуска воды изъ цилиндра В въ томъ случаѣ, когда желаютъ при-
остановить сдавливаніе, что достигается собственно при помощи винта, устроен-
наго подъ доской, на которой утверждены цилиндры.

Вслѣдствіе закона Паскаля, давленіе, производимое въ цилиндрѣ А неболь-
шимъ поршнемъ сверху внизъ, передается снизу вверхъ основанію поршня,
находящагося въ цилиндрѣ В, съ силою пропорціональною поверхности этого
основанія. Это значитъ, что если поверхность эта въ 10 или въ 20 разъ болѣе
поверхности основанія поршня цилиндра А, то давленіе, переданное въ В, бу-
детъ въ 10 или 20 разъ болѣе того давленія, которое сообщается водѣ посред-
ствомъ поршня соединеннаго съ рычагомъ. Отъ поршня въ цилиндрѣ В давлѣ-
ніе распространяется съ помощію стержня тѣлу М, которое вслѣдствіе того
сдавливается между подвижною доскою и неподвижною крышкою D.

Таковы основанія гидравлическаго пресса; но не должно упускать изъ виду, что и при этомъ приборѣ, какъ и при каждой машинѣ, всякой выигрышъ въ силѣ сопровождается потерей въ скорости. Положимъ, что діаметръ большаго поршня равенъ 20, а меньшаго 1 сантиметру; слѣдовательно поверхности нижнихъ основаній ихъ будутъ относиться между собою какъ квадраты діаметровъ или какъ 400 къ 1. Значитъ, если сообщить меньшему поршню усиліе въ 500 килограммовъ, то основаніе большаго поршня получитъ снизу вверхъ давленіе равное 200,000 килограммамъ. Но при этомъ не должно упускать изъ виду, что когда меньшій поршень опустится, напр. на 4 дециметра, количество воды устремляемое имъ къ основанію большаго поршня, можетъ поднять его только на $\frac{1}{400}$ четырехъ дециметровъ или на одинъ миллиметръ. Поэтому, желая поднять большій поршень на 1 метръ, намъ должно опустить меньшій поршень 1000 или 2000 разъ, если онъ опускается каждый разъ только на 2 дециметра. Вотъ почему при употребленіи самой машины даютъ отношенію поршней такіе размѣры, которые позволяютъ производить давленіе обыкновенно не выше 50,000 килограммовъ.

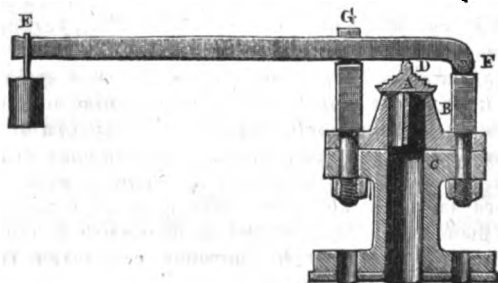
Приборъ, представленный на фигурѣ 422-й, употребляется, какъ мы сказали, для нагляднаго изученія и потому цилиндры, въ которыхъ двигаются поршни, сдѣланы въ нихъ изъ стекла, позволяющаго разсматривать поднятіе и опусканіе воды и другія явленія обнаруживаемыя имъ. Но въ промышленности, гдѣ требуется производить иногда огромныя давленія, цилиндры должны обладать большою плотностію и потому ихъ дѣлаютъ обыкновенно изъ чугуна. Точно также увеличиваютъ самое отношеніе между поверхностями основаній обоихъ цилиндровъ, потому что отъ этого обстоятельства зависитъ самая сила машины. Главнѣйшее устройство гидравлическаго пресса, употребляемаго на фабрикахъ и заводахъ, представлено на фигурѣ 423-й, въ уменьшенномъ видѣ.

Фиг. 423.



редачи поршню p силы сообщенной рычагу. Поэтому дѣйствіе, получаемое посредствомъ пресса, всегда бываетъ менѣе того, которого бы должно ожидать на основаніи приведенныхъ нами выше вычисленій. Величина силы, въ

Фиг. 424.



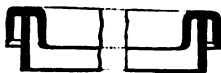
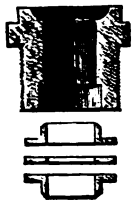
Съ помощію рычага l опускаютъ небольшой поршень s , двигающійся въ цилиндрѣ b , и производятъ такимъ образомъ давленіе на находящуюся подъ нимъ воду. Последняя проходитъ черезъ трубку t въ цилиндръ cc и передаетъ сообщенное ей давленіе съ силою пропорціонально давленію его. Здѣсь должно замѣтить, что часть силы, приложенной къ рычагу l , теряется на преодолѣніе сопротивленій представляемыхъ треніемъ, и эта потеря происходитъ прежде передачи поршню p силы сообщенной рычагу. Поэтому дѣйствіе, получаемое посредствомъ пресса, всегда бываетъ менѣе того, которого бы должно ожидать на основаніи приведенныхъ нами выше вычисленій. Величина силы, въ дѣйствительности передаваемой поршню p измѣряется клапаномъ A (фиг. 424). Зная вѣсъ гиря E , длину плечъ EG и GF рычага и величину нижней поверхности клапана A , подверженной давленію воды, легко вычислить величину давленія, претерпѣваемаго клапаномъ въ тотъ моментъ, когда онъ поднимаетъ рычагъ. Клапанъ A называется предохранительнымъ.

Всѣ гири, привѣшенной къ рычагу, рассчитываютъ такимъ образомъ, чтобы клапанъ отворялся въ то время, когда давленіе достигаетъ предѣла, за которыми могутъ происходить различныя поврежденія въ частяхъ машины.

Намъ остается здѣсь упомянуть еще о средствахъ употребляемыхъ для воспрепятствованія выхода воды изъ сосуда.

Фиг. 425.

Фиг. 426.



Для этого употребляютъ поршень съ особенно тщательностію, посредствомъ отдѣльных частей, представленныхъ на фиг. 425-й. Но главнѣйшее затрудненіе представляетъ поршень p , и это затрудненіе устранено Брамоу, при помощи весьма остроумнаго устройства. Загнутая кожа, которой видъ изображенъ на фиг. 426-й, помѣщается въ кольцеобразномъ углубленіи. Чѣмъ болѣе увеличивается давленіе,

тѣмъ сильнѣе прижимается кожа къ поршню p и къ стѣнкѣ углубленія, и тѣмъ очевидно съ болѣею силою запирается послѣднее.

Гидравлическимъ прессомъ пользуются при всѣхъ работахъ требующихъ сильныхъ давленій. Его употребляютъ для валанія сукна, для извлеченія сока изъ свекловицы, для выдавливанія масла изъ различныхъ растительныхъ зеренъ; онъ служитъ также при испытаніи артиллерійскихъ орудій, паровыхъ котловъ и цѣпей, употребляемыхъ при мореплаваніи.

§ 142. Второе свойство, произтекающее изъ легкой подвижности частицъ жидкости заключается въ томъ, что равновѣсіе ея возможно только тогда:

Условія
равно-
вѣсія
жидко-
стей.

а) Когда свободная поверхность жидкости въ каждой точкѣ перпендикулярна къ направленію силъ, дѣйствующихъ на частицы жидкости, и

б) Когда давленія, претерпѣаемыя каждою отдѣльною частицею взаимно уничтожаются другъ другомъ.

Для доказательства перваго изъ этихъ условий положимъ, что сила дѣйствуетъ на частицу m (фиг. 427) въ направленіи mP косвенномъ къ свободной поверхности жидкости AB . Эта сила

Фиг. 427.



можетъ быть разложена на двѣ составляющія: одну mF , направленіе которой сливается съ направленіемъ поверхности, и другую mQ , перпендикулярную къ послѣдней. Составляющая mQ будетъ уничтожена сопротивленіемъ, представляемымъ жидкостію, другая же составляющая mF , не встрѣчая противодѣйствія,

должна произвести по направленію своего дѣйствія движеніе частицы m , которая по легкой своей подвижности во всѣ стороны, не въ состояніи будетъ противиться этому вліянію силы. Подобное движеніе произойдетъ очевидно и при всякомъ наклонномъ положеніи силы mP , т. е. до тѣхъ поръ, пока направленіе ея не будетъ перпендикулярно къ свободной поверхности жидкости. Понятно, что при послѣднемъ положеніи вся сила mP будетъ уничтожаться сопротивленіемъ жидкости и не будетъ никакой причины къ наруше-

нію равновѣсія. Тоже самое разсужденіе можетъ быть примѣнено и ко всѣмъ другимъ частицамъ поверхности жидкости.

Что же касается до второго условія, то оно очевидно само по себѣ, потому что если бы давленія производимыя на одну и ту же частицу съ двухъ противоположныхъ направленій не были равны между собою, то частица была бы увлечена въ сторону большаго давленія и слѣдовательно въ такомъ случаѣ нарушилось бы равновѣсіе жидкости.

Силы, на которыя должно обращать вниманіе при опредѣленіи законовъ равновѣсія жидкостей, суть *тяжесть* и *частичныя силы*, какъ тѣ, которыя дѣйствуютъ между собственными частицами жидкости, такъ и тѣ, которыя обнаруживаются во время прикосновенія твердыхъ тѣлъ къ жидкостямъ. Дѣйствіе частичныхъ силъ играетъ важную роль при волосныхъ явленіяхъ, т. е. при поднятій и опусканій жидкостей въ трубкахъ очень узкаго діаметра. Въ обыкновенныхъ же случаяхъ, при разсмотрѣніи жидкостей въ сосудахъ или въ трубкахъ большаго діаметра, мы оставляемъ безъ вниманія частичное притяженіе и смотримъ на жидкости какъ на скопленіе трудно сжимаемыхъ и легко подвижныхъ частицъ, подверженныхъ только дѣйствію тяжести. Мы разсмотримъ предварительно явленія, обнаруживаемыя жидкостями въ состояніи равновѣсія, вслѣдствіе трудной сжимаемости, легкой подвижности частицъ и дѣйствія тяжести.

§ 143. Разсматривая равновѣсіе жидкостей въ сосудахъ подъ вліяніемъ дѣйствія тяжести, мы приходимъ къ слѣдующимъ результатамъ:

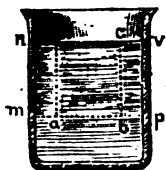
1) Сила тяжести, дѣйствуя на массу воды, заставляетъ каждую легко подвижную частицу ея, производить движеніе къ центру земли, для воспрепятствованія которому необходимо ограничивать снизу пространство занимаемое всякою жидкостію. Но какъ въ тоже самое время давленіе это по легкой подвижности частицъ передается и въ стороны, то для сохраненія равновѣсія жидкостей необходимо противопоставить ей преграды также и съ боковъ. Вотъ почему жидкости не имѣютъ самостоятельнаго вида и сохраняютъ обыкновенно форму тѣхъ сосудовъ, въ которыхъ онѣ заключены.

2) Какъ жидкость можетъ быть въ равновѣсіи только тогда, когда свободная поверхность ея въ каждой точкѣ перпендикулярна къ направленію силъ дѣйствующихъ на частицы жидкости, то для равновѣсія последней въ сосудѣ необходимо, чтобы поверхность ея была перпендикулярна къ отвѣснымъ направленіямъ тяжести, дѣйствующей на каждую частицу. Но при этомъ могутъ встрѣтиться два главные случая. Если мы возьмемъ небольшой сосудъ, слѣдовательно незначительную поверхность жидкости, то отвѣсныя направленія тяжести можно принимать за параллельныя между собою; въ такомъ случаѣ свободная поверхность жидкости, перпендикулярная ко всѣмъ этимъ направленіямъ, должна казаться *горизонтальною*.

Если же поверхность жидкости занимаетъ значительное протяженіе, какъ напр. въ ложбинахъ озеръ и морей, то и дѣйствіе тяжести на всѣ точки ея, мы не можемъ принимать уже за параллельныя. Какъ при этомъ всѣ точки свободной поверхности должны быть перпендикулярны къ направленіямъ тяжести, притягивающимъ частицы жидкости къ средоточію земли, слѣдовательно по направленію болѣе или менѣе удаленныхъ между собою земныхъ радіусовъ, то очевидно, что условіе это можетъ быть тогда исполнено, когда поверхность жидкости будетъ представлять такую же шарообразность, какъ и самая земля, потому что всѣ радіусы могутъ быть перпендикулярны только къ шаровой поверхности.

3) Каждая частица жидкости, вслѣдствіе своей тяжести оказываетъ давленіе на лежащую подъ нею частицу, которая передаетъ это давленіе во всѣ стороны и сверху того давить собственнымъ своимъ вѣсомъ на ниже лежащую частицу. Вслѣдствіе того, при состояніи равновѣсія жидкости происходитъ:

а) Каждая частица жидкости, напр. *a* (фиг. 428), претерпѣваетъ Фиг. 428. давленіе равное вѣсу столба жидкости *ad*, лежащей надъ нею отвѣсно.



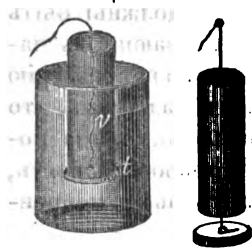
б) Всѣ частицы, какъ напр. *a*, *b*, лежащія на одинаковой глубинѣ подъ поверхностію *nv* и слѣдовательно лежащія въ одной плоскости *mr*, параллельной къ *nv*, претерпѣваютъ равное давленіе; отъ этого стремленіе каждой частицы уклонится въ сторону вслѣдствіе производимаго на нее сверху, уничтожается равнымъ и противоположнымъ стремленіемъ всѣхъ окружающихъ ее частицъ.

с) Какъ каждая частица, напр. *a*, стремится передать во всѣ стороны боковое давленіе, претерпѣваемое ею отъ сосѣднихъ частицъ, то она передаетъ также и по отвѣсному направленію кверху это давленіе, которое удерживаетъ въ равновѣсіи давленіе претерпѣваемое ею сверху. Поэтому каждая частица жидкости, вслѣдствіе тяжести претерпѣваетъ равныя давленія со всѣхъ сторонъ.

д) Давленіе это увеличивается вмѣстѣ съ увеличеніемъ разстоянія частицъ отъ поверхности жидкости, т. е. съ глубиною ихъ; слѣдовательно, если мы предположимъ, что жидкость несжимаема и имѣетъ одинаковую плотность, то при удвоеніи, утроеніи и т. д. глубины, мы получимъ удвоенное и утроенное давленіе, потому что вѣсъ столбовъ, производящихъ давленіе, увеличивается въ прямомъ отношеніи вмѣстѣ съ высотой.

е) Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что всякой слой, взятый нами внутри жидкости, въ каждой точкѣ своей претерпѣваетъ съ двухъ противоположныхъ сторонъ равныя давленія. Если слой этотъ горизонталенъ, какъ напр. *ab*, то онъ долженъ выносить вѣсъ лежащаго надъ нимъ отвѣснаго столба *adcb*, вмѣстѣ съ давленіемъ равнымъ этому вѣсу и дѣйствующимъ на него снизу вверхъ.

Чтобы убѣдиться на опытѣ въ справедливости этого послѣдняго вывода, стоитъ только взять широкую стеклянную трубку v (фиг. 429),



Фиг. 429. отшлифованную снизу, и прикрыть ее плотно легкой пластинкой t , которая можетъ быть удерживаема въ такомъ положеніи посредствомъ привязанной къ ней нити. Опустивши въ воду закрытую такимъ образомъ трубку, мы увидимъ, что пластинка t будетъ удерживаться давленіемъ воды снизу, даже и въ томъ случаѣ, когда нитка выпустится изъ рукъ. Если послѣ того налить въ трубку воды, то пластинка упадетъ книзу въ то самое время, когда вода достигнетъ въ трубкѣ одного уровня съ остальною жидкостію во всемъ сосудѣ.

Здѣсь должно замѣтить, что вслѣдствіе незначительнаго сжатія жидкости, мы можемъ принимать для незначительной глубины плотность жидкости во всѣхъ слояхъ равною и должны допускать увеличеніе плотности съ глубиною только для весьма значительной глубины. Въ этомъ случаѣ давленіе возрастаетъ уже не равномерно съ глубиною.

г) Какъ слой, взятый внутри жидкости, претерпѣваетъ давленіе, зависящее отъ глубины, на которой онъ расположенъ подъ поверхностію, то очевидно, что давленіе это не зависитъ отъ формы сосудовъ заключающихъ ихъ.

Давленіе жидкости на дно сосуда.

§ 144. Всякая жидкость, находящаяся въ равновѣсіи въ сосудѣ, производитъ отъ дѣйствія тяжести давленіе, которое по закону Паскаля распространяется какъ на дно, такъ и на стѣнки сосуда. Опредѣлимъ сперва давленіе, претерпѣваемое *дномъ* сосуда.

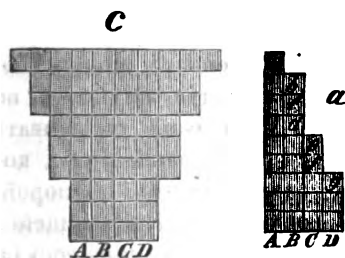
Возьмемъ сосудъ b (фиг. 430) съ отвѣсными стѣнками, по длинѣ Фиг. 430. которыхъ расположено 9 водяныхъ частицъ; очевидно, что давленіе, претерпѣваемое въ этомъ случаѣ *дномъ* сосуда, будетъ равно вѣсу водянаго столба, имѣющаго основаніемъ дно сосуда, а высотой разстояніе послѣдняго отъ уровня воды. Если означить чрезъ v объемъ, а чрезъ b дно сосуда, чрезъ h разстояніе дна отъ поверхности и чрезъ s удѣльный вѣсъ жидкости, то давленіе на дно P будетъ равно vz , $v = bh$, а слѣдовательно $P = bhs$, т. е. давленіе на дно въ цилиндрическомъ или призматическомъ сосудѣ, имѣющемъ отвѣсныя стѣны, равно величинѣ дна помноженной на высоту и на удѣльный вѣсъ жидкости.

Какъ мы назвали чрезъ b величину основанія, то давленіе на каждую единицу поверхности дна будетъ равно hs .

Это отвѣсное давленіе воды на дно сосудовъ нисколько не зависитъ отъ формы ихъ, а слѣдовательно и отъ самаго количества заключенной въ нихъ воды, лишь бы только дно сосудовъ и высота водянаго уровня оставались одни и тѣже.

И въ самомъ дѣлѣ (Фиг. 431), пусть s и a будутъ два сосуда, которые при одинаковомъ днѣ и одной

Фиг. 431.

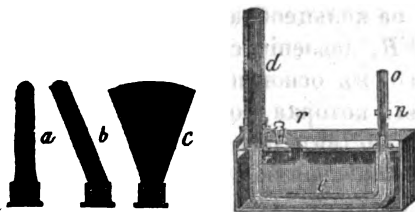


высотѣ уровня заключаютъ различныя количества воды. Предположимъ, что водной столбъ D въ сосудѣ g состоитъ также изъ 9 частицъ одинаковой величины и тяжести. Совокупное давленіе, производимое ими на дно сосуда, будетъ одинаково съ давленіемъ столба C , заключающимъ въ себѣ только 8 такихъ частицъ, потому что частица a , по закону *равнаго давленія*, давитъ одинаково какъ на лежащую подъ нею частицу, такъ и на сосѣднюю частицу b , которая вслѣдствіе того давитъ на остальные 7 частицъ уже съ силою равною тяжести двухъ частицъ. Примѣняя тоже разсужденіе къ водяному столбу B и A , мы увидимъ, что дно сосуда g будетъ претерпѣвать отъ каждаго изъ нихъ одинаковое давленіе. Слѣдовательно общее давленіе на дно будетъ одно и тоже какъ и на дно сосуда представленнаго на Фиг. 431-й съ лѣвой стороны.

Хотя сосудъ c заключаетъ въ себѣ болѣе воды противу предъидущаго сосуда, но давленіе претерпѣваемое дномъ его, будетъ одно и тоже, потому что въ этомъ случаѣ давленіе остальныхъ частицъ жидкости, выходящихъ за предѣлы отвѣснаго столба давящаго на дно, выносятся боковыя стѣны сосуда c .

Слѣдовательно, для одного и того же дна, при одной и той же высотѣ уровня, все равно большее или меньшее количество воды находится въ сосудѣ.

Но чтобы болѣе удостовѣриться въ справедливости этого, повидимому невѣроятнаго закона, стоитъ только наполнить изогнутую желѣзную трубку e (Фиг. 432) ртутью и замѣтить посредствомъ подвижной



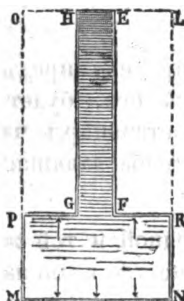
марки n и высоту ея въ колѣнѣ o . Привинчивая къ колѣну f , одинъ за другимъ, сосуды d , a , b и c , имѣющіе одинаковое дно, и наливая ихъ до одной и той же высоты водою, которая можетъ быть выпускаема въ каждомъ изъ нихъ посредствомъ крана $г$, мы увидимъ, что высота ртути въ колѣнѣ o , зависящая отъ давленія воды въ сосудахъ на поверхность ртути, будетъ постоянно подниматься до одной и той же точки.

Помня это и зная чему равно давленіе на дно въ отвѣсномъ сосудѣ, мы можемъ вывести заключеніе, что давленіе, претерпѣваемое

дномъ всякаго сосуда, равно вѣсу водянаго столба, имѣющаго основаніемъ самое дно, а высотой разстояніе послѣдняго отъ уровня воды.

Мы доказали, что давленіе на дно сосуда наполненнаго жидкостію, не зависитъ ни отъ формы сосуда, ни отъ количества жидкости, но только отъ высоты жидкости надъ дномъ. Не должно смѣшивать давленія производимаго жидкостію на дно съ тѣмъ давленіемъ, которое оказываетъ самъ сосудъ на тѣло, служащее ему опорой. Это послѣднее давленіе всегда равно вѣсу сосуда и заключающейся въ немъ жидкости; между тѣмъ какъ первое, судя по формѣ сосуда, можетъ быть болѣе, менѣе и наконецъ равно этому вѣсу. Явленіе это обыкновенно называютъ *гидростатическимъ парадоксомъ*, потому что съ перваго взгляда оно кажется невѣроятнымъ.

Чтобы объяснить себѣ это явленіе представимъ, что *HGPMNRF* (Фиг. 433) представляетъ вертикальный разрѣзъ



наполненнаго водою сосуда, который составленъ изъ двухъ цилиндрическихъ частей различныхъ діаметровъ. Какъ горизонтальныя давленія на всѣмъ продолженіи стѣнокъ удерживаютъ другъ друга въ равновѣсіи, то мы не будемъ принимать ихъ во вниманіе. Что же касается до отвѣснаго давленія на дно *MN*, то оно равно вѣсу столба жидкости, имѣющаго основаніемъ это дно, а высотой линіи *OM*; т. е. давленіе это одинаково какъ и въ томъ случаѣ, когда бы сосудъ имѣлъ разрѣзъ *MNOL* и былъ бы весь наполненъ водою.

Надобно доказать, что это давленіе не передается въ цѣлости тѣлу поддерживающему сосудъ. И въ самомъ дѣлѣ, по закону Паскаля столбъ жидкости *HEFG* оказываетъ на кольцообразную стѣнку, разрѣзъ которой означенъ буквами *PGFR*, давленіе снизу вверхъ, равное вѣсу водянаго столба, имѣющаго въ основаніи эту стѣнку, а высотой линію *GH*, т. е. вѣсу воды, которая могла бы наполнить пространство *OPGHEFRL*. Поэтому дѣйствительное давленіе, оказываемое жидкостію на подставку, поддерживающую сосудъ, равно вѣсу того объема воды, который бы наполнилъ пространство *OMNL* безъ вѣса воды, могущаго помѣститься въ пространствѣ *OPGHEFRL*, т. е. равно вѣсу воды заключающемуся въ данномъ сосудѣ.

Если сосудъ имѣетъ на всемъ протяженіи одинаковый діаметръ, то жидкость оказываетъ одинаковое давленіе какъ на дно, такъ и на подставку сосуда; если при вершинѣ діаметръ болѣе, нежели у основанія, то давленіе на дно менѣе, нежели на подставку.

Изъ сказаннаго нами на счетъ давленія претерпѣваемаго днами сосудовъ слѣдуетъ, что если въ сосудъ (фиг. 434а), вмѣщающій 20

Фиг. 434а. частицъ воды, вложить тонкую и высокую трубку *В* и вливать въ послѣднюю понемногу воды, то съ каждою новою частицею ея будетъ увеличиваться высота уровня въ сосудѣ, а слѣдовательно и величина самого давленія на дно *аб*. Изъ чертежа видно, что если влить въ трубку 4 новыя частицы, то давленіе на дно увеличится вдвое, при 8-ми новыхъ частицахъ оно будетъ въ три раза больше и т. д. Это показываетъ намъ, что съ помощію небольшого количества

воды, можно произвести весьма сильное давленіе, если только заключить ее въ узкую и высокую трубку, имѣющую уширенное дно.

Наэтомъ свойствѣ основано устройство пресса, изобрѣтеннаго графомъ Реалемъ. Прессъ этотъ употребляется для извлеченія экстрактовъ изъ веществъ, растворяющихся въ водѣ, въ винномъ спиртѣ или въ другой какой либо жидкости. Фиг. 434б.

Онъ состоитъ (фиг. 434б) изъ стекляннаго или цѣмковаго сосуда *аб* цилиндрической формы съ крѣпкими стѣнами, внутри которыхъ находятся двѣ пластинки *с* на подобіе рѣшетъ. По наполненіи цилиндра какимъ нибудь растворяющимся веществомъ, какъ напр. водою или спиртомъ, вкладываютъ выжимаемое тѣло между обѣими пластинками и привинчиваютъ къ цилиндру покрывку *г*, изъ середины которой выходитъ къверху узкая и высокая трубка *г*, снабженная винтомъ *і*. Если по открытіи послѣдняго винта налить въ трубку воды, то небольшое количество ея произведетъ сильное давленіе какъ на растворяющее, такъ и на выжимаемое вещество и извлечетъ изъ послѣдняго сильный экстрактъ, который можетъ быть спущенъ посредствомъ винта изъ воронки *сбд*.

Одна изъ главныхъ выгодъ этого пресса заключается въ томъ, что при немъ можно растворять различные вещества, какъ напр. корни и травы, въ холодной водѣ, которая не дѣйствуетъ такъ злокачественно на вкусъ и цвѣтъ ихъ, какъ нагрѣтая вода. — Онъ приноситъ большую пользу въ аптекахъ, въ химическихъ лабораторіяхъ и вообще при многихъ фабричныхъ производствахъ.

Фиг. 435.



Давленіе обнаруживаемое высокимъ водянымъ столбомъ, можетъ быть иногда приспособлено къ разрыву горы. Такъ напримѣръ, если въ горѣ заключается узкая щель (фиг. 435), ведущая отъ вершины до резервуара, который находится на глубинѣ 200 футовъ отъ вершины, то по наполненіи этой щели дождевою водою, каждый футъ воды резервуара усилится до такой степени, что при продолжительномъ своемъ дѣйствіи можетъ даже побѣдить связь между частицами горы.

§ 145. Разсмотримъ теперь давленіе претерпѣваемое боками сосуда. Въ существованіи этого давленія мы можемъ убѣдиться нали-
вши воду въ сосудъ, имѣющій въ боковыхъ стѣнахъ нѣсколько зам-
кнутихъ отверстій. Если отворить послѣднія, то вода польется тот-
часъ наружу, что конечно происходитъ вслѣдствіе производимаго ею
бокового давленія.

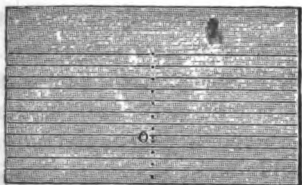
Давле-
ніе жа-
ности на
бока со-
судовъ.

пустимъ, что эта стѣнка имѣетъ форму прямоугольника, верхняя и нижняя стороны котораго горизонтальны.

Чтобы вычислить давленіе, производимое на весь этотъ прямоугольникъ, мы раздѣлимъ его мысленно на множество малыхъ и равныхъ между собою горизонтальныхъ полосъ (фиг. 438), изъ которыхъ каждая, посредствомъ проведенія въ равномъ разстояніи линий перпендикулярныхъ къ длинѣ полосокъ, раздѣлена въ свою очередь на множество мелкихъ прямоугольниковъ (фиг. 439). —

Фиг. 438.

Фиг. 439.

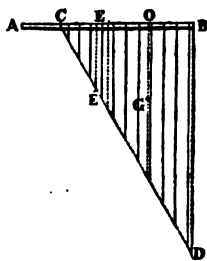


Давленіе, выносимое каждымъ изъ этихъ небольшихъ прямоугольниковъ, будетъ равно вѣсу столба воды, имѣющаго основаніемъ самый прямоугольникъ, а высотой отвѣсное разстояніе одной изъ ея точекъ отъ свободной поверхности жидкости. Какъ всѣ прямоугольники, на которые мы раздѣлили каждую горизонтальную полоску, находятся въ равномъ удаленіи отъ свободной поверхности жидкости, то очевидно, что и всѣ давленія, выносимыя ими, будутъ равны между собою. Равнодѣйствующая этихъ давленій, полученная отъ сложенія ихъ, будетъ равна вѣсу водяного столба, имѣющаго основаніемъ цѣлую горизонтальную полоску, а высотой отвѣсное разстояніе какой либо точки ея отъ поверхности жидкости. Точка приложенія этой равнодѣйствующей будетъ очевидно находиться посрединѣ полоски, въ томъ мѣстѣ, гдѣ пересѣкаются діагонали ея.

Всѣ равнодѣйствующія давленія соотвѣтствующія различнымъ полоскамъ, на которыя мы разложили цѣлую стѣнку, могутъ быть выражены прямыми линиями EE' , FF' , HH' (фиг. 437), проведенными перпендикулярно къ этой стѣнкѣ. Эти прямыя линіи, проведенныя чрезъ центры полосокъ, будутъ имѣть длины пропорціональныя соотвѣтствующимъ имъ силамъ и слѣдовательно пропорціональныя также отвѣснымъ разстояніямъ этихъ центровъ отъ свободной поверхности жидкости или наконецъ разстояніямъ ихъ отъ точки C . Поэтому оконечности этихъ линій E' , F' , H' расположены всѣ на одной прямой линіи CD , проходящей чрезъ точку C , въ которой прикасается къ стѣнкѣ верхняя точка жидкости.

Теперь остается только опредѣлить равнодѣйствующую всѣхъ параллельныхъ силъ, выражаемыхъ этими линіями. Для этого поло-

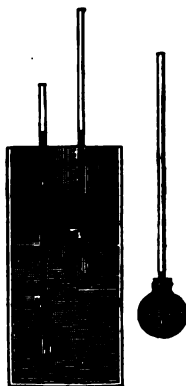
жимъ, что стѣнка лежитъ горизонтально, какъ показывается фиг. 440, слѣдовательно линіи, выражающія силы приложенныя къ центрамъ различныхъ полосокъ, на которыя мы раздѣлили стѣнку, будутъ отвѣсны.



Мы можемъ представить, что вмѣсто этихъ линій привѣшены къ стѣнкѣ AB равныя имъ по длинѣ вѣсомые бруски, изъ которыхъ вѣсъ каждого долженъ соответствовать силѣ, замѣняемой имъ. Поэтому вся стѣнка AB будетъ обременена брусками точно также, какъ прежде она была обременена давленіемъ жидкости въ различныхъ точкахъ. Если эти бруски имѣютъ однообразную ширину, позволяющую имъ быть въ прикосновеніи другъ съ другомъ, то мы найдемъ, что цѣлое давленіе, выносимое стѣнкою AB , есть ни что иное, какъ вѣсъ треугольника BCD . А какъ этотъ вѣсъ есть отвѣсная сила, приложенная къ центру тяжести G треугольника, то очевидно, что окончательная равнодѣйствующая давленій, производимыхъ водою на различныя точки стѣнки AB , проходитъ чрезъ точку O , расположенную отвѣсно надъ центромъ тяжести G , чрезъ точку, которой разстояніе отъ B равно $\frac{1}{3}$ линіи CB . Слѣдовательно центръ давленій, для разсматриваемой нами прямоугольной стѣнки AB (фиг. 437), находится на линіи проходящей чрезъ средину горизонтальныхъ сторонъ прямоугольника, выносящаго давленіе жидкости, на одной трети этой линіи, начиная отъ основанія. Центръ же тяжести прямоугольника, выносящаго давленіе воды, будетъ посрединѣ этой линіи.

Изъ разсмотрѣннаго нами понятно, что протяженіе свободной поверхности жидкости, не оказываетъ никакого вліянія на величину боковой поверхности. Поэтому невысокій берегъ моря, находящагося въ спокойномъ состояніи, будетъ претерпѣвать такое же самое давленіе, какъ и боковая стѣна канала, имѣющаго свободную поверхность воды на одинаковой высотѣ съ моремъ.

Точно также изъ сказаннаго нами выше слѣдуетъ, что сила бокового давленія бываетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ глубже лежитъ поверхность претерпѣвающая давленіе. — Справедливость послѣдняго подтверждается слѣдующимъ опытомъ.



Стоять только наполнить водою пузырь, прикрѣпленный къ одному концу открытой трубки (фиг. 441). Опуская пузырь съ трубкою въ воду, мы увидимъ, что онъ сожмется отъ давленія охватившей его воды, которое заставитъ даже воду изъ пузыря подняться вверхъ по трубкѣ. Поднятіе это будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ глубже пузырь погрузится въ воду. Величину бокового давленія воды необходимо опредѣлять при постройкѣ плотинъ и вообще стѣнъ, слу-

жидких бассейнами для воды. Важность этого мы можем видеть изъ того, что пустая бутылка тонкаго стекла съ заткнутиымъ горломъ, при погруженіи своемъ на значительную глубину, лопається тотчасъ отъ сильнаго боковаго давленія воды.

Шлюзы, устроиваемыя или для задержанія высоко расположенной воды рѣкъ и морей, или для прохода судовъ въ каналахъ, весьма часто выносятся съ обѣихъ сторонъ своимъ давленіемъ водяныхъ столбовъ различной высоты.

§ 146. До сихъ поръ мы рассматривали явленія представляемыя при равновѣсіи вѣсомой жидкости, заключающейся въ одномъ сосудѣ. Перейдемъ теперь къ равновѣсію жидкостей въ сообщающихся сосудахъ.

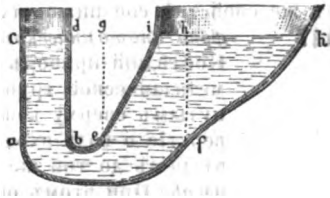
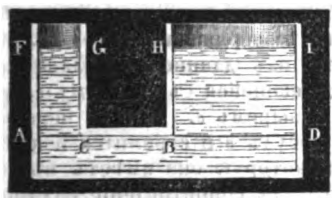
Равновѣсіе жидкости въ сообщающихся сосудахъ.

Представимъ себѣ водяной столбъ $abcd$ (фиг. 442). Если вода во Фиг. 442. всемъ сосудѣ находится въ равновѣсіи, то на основаніи сказаннаго слѣдуетъ, что давленіе производимое этимъ столбомъ уничтожается сопротивленіемъ всей окружающей его массы. Поэтому если бы отдѣлить столбъ $abcd$ отъ остальной жидкости и мѣсто его замѣстить тотчасъ какой нибудь твердой преградой той же формы, которая была бы въ состояніи противиться давленію остальной жидкости, то равновѣсіе воды не будетъ чрезъ то нисколько нарушено и уровень ея останется по прежнему неизмѣннымъ, несмотря на то, что масса воды будетъ въ обѣихъ половинахъ сосуда не равна. Это приводитъ насъ къ заключенію, что въ двухъ сообщающихся между собою сосудахъ $акупов$ и $дхтпос$, жидкость находится всегда въ равновѣсіи, если только уровень ея въ обѣихъ колѣнахъ одинаковъ.

Разрѣзъ подобныхъ сообщающихся между собою трубокъ, представленъ на фигурѣ 443-й, гдѣ столбъ воды $HBID$ поддерживаетъ въ равновѣсіи столбъ $EAGH$. Но законъ равновѣсія жидкостей справедливъ не только для трубокъ съ отвѣсными стѣнками, но и со стѣнками всякой произвольной формы; однимъ словомъ, равновѣсіе это не зависить ни отъ формы, ни отъ величины сосудовъ. Мы

Фиг. 443.

Фиг. 444.



уже знаемъ, что давленіе водянаго столба $abcd$ (фиг. 444) будетъ удержано въ равновѣсіи въ томъ случаѣ, если на ef производится давленіе равное вѣсу отвѣснаго водянаго столба $efgh$. Но какъ неправильный столбъ воды $efik$ производить на основаніе ef точно такое давленіе, какъ и одинаковой вѣсоты столбъ $efgh$, то ясно, что

въ обоихъ когѣнахъ рассматриваемаго нами сосуда для равновѣсія жидкости, она должна находиться на одной высотѣ.

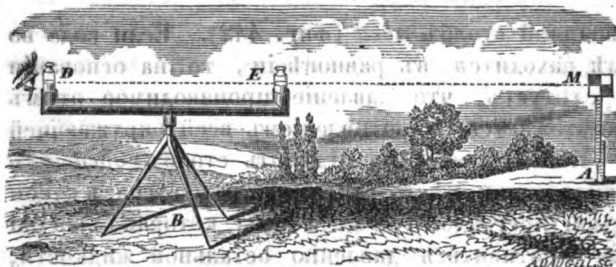
Фиг. 445.



Подобный примѣръ равновѣсія жидкости представленъ на фиг. 445-й. Тоже самое представляютъ намъ лампы и чайники, гдѣ узкія трубки или горлышки, постоянно держатъ жидкость на одной высотѣ съ остальною массою ея въ уширенныхъ частяхъ.

На свойствѣ соединяющихся трубокъ, держать одну и ту же жидкость на одной высотѣ въ обоихъ когѣнахъ основано устройство *нивелира*. Приборъ этотъ состоитъ изъ жестяной или латунной трубки, загнутой съ обоихъ концовъ, къ которымъ прикрѣплены двѣ стеклянные трубки *D* и *E* (фиг. 446).

Фиг. 446.



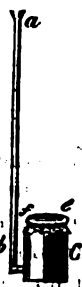
въ *D* и *E* должны лежать въ одной горизонтальной плоскости.

Этотъ снарядъ служитъ для нивелированія, т. е. для опредѣленія, насколько одно мѣсто лежитъ выше или ниже другаго. Напримѣръ, если хотятъ найти на сколько точка земли *B* выше другой точки *A*, то ставятъ въ послѣдней точкѣ выдвижную линейку, называемую *рейкой*, которая оканчивается сверху жестяною дощечкою, имѣющею мѣтку посрединѣ. Поставивъ эту линейку вертикально въ *A*, наблюдатели, находясь при нивелирѣ, направляютъ чрезъ точки *D* и *E* лучъ зрѣнія на линейку и даетъ знакъ своему помощнику поднять или опустить дощечку для того, чтобы мѣтка дощечки находилась на продолженіи линіи *DE*. Измѣряя тогда высоту *AM* и вычитая изъ нея высоту нивелира надъ землею, узнаютъ на сколько точка *B* выше точки *A*.

Опредѣленный такимъ образомъ уровень есть *видимый уровень*, т. е. уровень соотвѣтствующій точкамъ, находящимся въ плоскости касательной къ поверхности земнаго шара, предполагаемаго совершенно шаромъ. *Истинный уровень* есть тотъ, который относится къ точкамъ равно отстоящимъ отъ центра земли. Только для точекъ, отстоящихъ недалеко другъ отъ друга, видимый уровень можно принять за истинный.

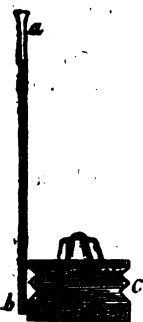
На томъ же свойствѣ соединяющихся трубокъ основано устройство *Волкова анатомическаго подъема*, изображеннаго на фиг. 447-й.

Фиг. 447.



Послѣдній приборъ состоитъ изъ длинной стеклянной или металлической трубки, соединяющейся съ сосудомъ *c*, обтянутымъ сверху кожей или пузыряремъ *c*. Влитая черезъ отверстіе *a* вода входитъ въ сосудъ *c* и стремится подняться въ немъ до той же высоты, которую она имѣетъ въ когѣнѣ *ab*. При этомъ она встрѣчаетъ сопротивленіе со стороны натянутого пузыря и оказываетъ на послѣдній давленіе, равное вѣсу водянаго столба, имѣющаго основаніемъ поверхность пузыря, а высоту — линію *ac*, которая показываетъ намъ, на сколько вода въ когѣнѣ *ab* выше противу верхней сферой точки въ сосудѣ *c*. Отъ этого давленія пузырь натягивается и дѣлается болѣе удобнымъ для различныхъ изслѣдованій.

Подобное устройство имѣеть и гидравлическій мѣлъ (фиг. 448). Сосудъ с. состоитъ изъ плоской крышки, соединяющейся съ основаніемъ посредствомъ бокового пузыря или кожи, которая растягивается вверхъ, отъ давленія воды, заключающейся въ сосудѣ с. Очевидно, что если мы положимъ гири на крышку, то отъ дѣйствія ихъ послѣдствіемъ будетъ осаживаться ивну. Приборъ этотъ можетъ служить намъ вмѣсто вѣсовъ, при чемъ высота водянаго столба въ колѣнѣ *da* будетъ соответствовать количеству гирь, которыя должно положить на крышку для того, чтобы поддерживать равновѣсіе между водою въ сосудѣ с и въ трубкѣ *af*.



Такимъ же образомъ не трудно объяснить себѣ значеніе 449-й фигуры.

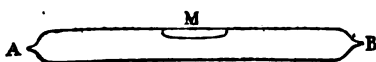
§ 147. Обратимся теперь къ равновѣсію двухъ или нѣсколькихъ разнородныхъ, несмѣшивающихся между собою, жидкостей въ однаномъ и въ двухъ соединяющихся сосудахъ.

Если двѣ какія нибудь жидкости, имѣющія различныя плотности и несмѣшивающіяся легко между собою, будутъ налиты въ стаканъ, то онѣ расположатся другъ надъ другомъ, сообразно большому или меньшему ихъ удѣльному вѣсу; такъ напр. изъ трехъ жидкостей: ртути, воды и масла, первая займетъ нижнее, вторая средняя, а третья, верхнее мѣсто. Если смѣшать эти жидкости, то спустя немного времени, онѣ примутъ снова указанное нами положеніе. Прикасающіяся поверхности жидкостей *m* и *n* (фиг. 450) будутъ горизонтальны; въ противномъ случаѣ вышло бы, что надъ горизонтальною поверхностію *hr* лежатъ столбы жидкости *kg* и *kg*, различнаго вѣсу, а слѣдовательно и давленіе, производимое ими на поверхность *hr* было бы различно.



На этомъ основаніи масло и воздушныя пузырьки поднимаются въ водѣ. Вблизи устья рѣкъ на глубинѣ встрѣчаютъ болѣе плотную соленую морскую воду, между тѣмъ какъ прѣсная вода плаваетъ наверху. Точно также сливки отдѣляются постоянно отъ молока и занимаютъ верхній слой. Многія жидкости, какъ напр. вода и красное вино, при скоромъ наливаніи ихъ въ стаканъ и въ особенности при встряхиваніи послѣдняго смѣшиваются между собою; но если вино, обладающее меньшею плотностію, лить по каплямъ на болѣе плотную воду, то первое будетъ плавать на послѣдней.

Одно изъ важныхъ примѣненій закона расположенія жидкостей въ одномъ сосудѣ, мы встрѣчаемъ при устройствѣ *уровня*, употребляемаго для приведенія въ горизонтальное положеніе какой нибудь плоскости. Этотъ чувствительный и точный приборъ состоитъ изъ немного согнутой стеклянной трубки *AB* (фиг. 451). Трубку эту наполняютъ водою или спиртомъ, такъ чтобы въ ней оставалось небольшое мѣсто для воздуха, который въ видѣ пузырька стремится къ занятію самаго высшаго



Фиг. 452.

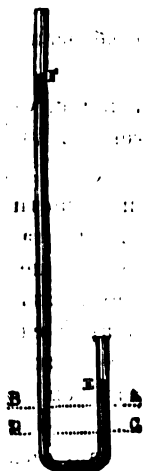


мѣста въ трубкѣ. Трубка по наполненіи западается на лампѣ въ двухъ своихъ сторонъ и вдѣлывается въ мѣдный чехолъ CD (фиг. 452). Послѣдній утверждается на металлическомъ основаніи, такимъ образомъ, чтобы при помѣщеніи всего прибора на горизонтальной плоскости, воздушный пузырекъ M устанавливался въ точности между двумя чертами, проведенными въ равномъ разстояніи отъ середины трубки.

Равно-
вѣсіе
жидко-
стей въ
сообща-
ющихся
сосу-
дахъ.

§ 148. Посмотримъ теперь, какія условія представляютъ двѣ раз-
личныя жидкости налитыя въ изогнутую трубку.

Фиг. 453.



Положимъ, что въ трубку эту (фиг. 453) налита сперва плотнѣйшая жидкость, напр. ртуть; ясно, что въ состояніи покоя послѣдняя будетъ стоять въ обоихъ коленяхъ на одной высотѣ. Если послѣ того налить въ длинное колено другую, менѣе плотную и несмѣшивающуюся со ртутью жидкость, какъ напр. воду, то мы увидимъ, что ртуть опустится въ этомъ коленѣ до какой нибудь точки B и поднимется въ другомъ коленѣ до точки E .

Если продолжить мысленно горизонтальную поверхность, раздѣляющую у точки B обѣ жидкости, до встрѣчи съ другимъ коленомъ, то однородная жидкость, находящаяся ниже горизонтальной линіи BA , будетъ находиться въ равновѣсіи. Въ точки ртути, находящіяся на протяженіи этой линіи, будутъ выдерживать давленіе столба воды, восходящаго до точки E , и давленіе столба ртути, доходящаго до точки B . Понятно, что поверхность ртути, лежащая на протяженіи линіи BA , можетъ тогда только находиться въ равновѣсіи и слѣдовательно сохранять свою горизонтальность, когда оба эти давленія взаимно равны между собою, потому что только въ этомъ случаѣ давленіе воды, распространенное чрезъ ртуть, лежащую ниже линіи BA , можетъ уничтожаться давленіемъ ртути, находящейся надъ линіею BA . Если h есть высота, а s удѣльный вѣсъ столба ртути надъ линіею BA , то давленіе на каждую единицу поверхности лежащей на протяженіи линіи BA , выразится произведеніемъ $h \times s$. Какъ это давленіе распространяется равномерно чрезъ всю ртуть до поверхности отдѣляющей въ длинномъ коленѣ воду отъ ртути, то на каждую единицу этой поверхности будетъ давить вверхъ сила равная $h \times s$. Если мы означимъ чрезъ h' высоту, а чрезъ s' удѣльный вѣсъ столба воды въ длинномъ коленѣ, то $h's'$ выразитъ величину давленія, которое претерпѣваетъ сверху внизъ каждая единица поверхности, раздѣляющей въ точкѣ b обѣ жидкости. При состояніи равновѣсія жидкостей, давленія эти должны быть равны, т. е. $hs = h's'$, откуда $h:h' = s':s$; это значитъ, что высоты столбовъ двухъ разнородныхъ жидкостей надъ раздѣляющею ихъ поверхностію находятся въ обратномъ отношеніи къ ихъ удѣльнымъ вѣсамъ.

Какъ удѣльный вѣсъ ртути въ $13\frac{1}{2}$ разъ болѣе удѣльнаго вѣса воды, то высота его надъ раздѣляющею поверхностію должна быть въ $13\frac{1}{2}$ разъ менѣе противу высоты столба воды BF , что и оказывается на самомъ дѣлѣ при точномъ измѣреніи обоихъ столбовъ.

Этотъ гидростатическій законъ можетъ служить для опредѣленія удѣльных вѣсовъ жидкостей. И въ самомъ дѣлѣ положимъ, что въ одномъ колѣнѣ сосуда представленнаго на фиг. находится вода, а въ другомъ эфиръ и что высоты столбовъ обоихъ этихъ жидкостей при сохраненіи равновѣсія относятся между собою какъ 35: 49. Взявъ удѣльный вѣсъ воды за единицу и назвавъ удѣльный вѣсъ эфира чрезъ x , получимъ $\frac{x}{1} = \frac{35}{49}$, откуда $x = 0,71$.

Фиг. 454.

Съ этою цѣлію устроено много приборовъ, изъ которыхъ наибольшую простотою отличается приборъ *Мора*, представленный на фиг. 454-й.



Онъ состоитъ изъ резиноваго мѣшка, горло котораго плотно закупорено пробкой. Въ эту пробку вставлены двѣ равныя цилиндрическія стеклянныя трубки, изъ которыхъ каждая погружается открытымъ концомъ въ небольшой стаканчикъ. Въ одномъ изъ стаканчиковъ находится дистиллированная вода, а въ другомъ жидкость, удѣльный вѣсъ которой мы желаемъ опредѣлить. Если сдвинуть мѣшокъ рукою и изгнать изъ него извѣстное количество воздуха, то по освобожденіи мѣшка отъ давленія онъ будетъ растягиваться снова вслѣдствіе упругости и сдѣлается способнымъ къ втягиванію въ себя жидкостей изъ стаканчиковъ. Но обѣ эти жидкости поднимутся въ трубкахъ до различныхъ высотъ. Если обѣ трубки снабжены одинаковыми дѣленіями, то мы можемъ легко опредѣлить высоты обоихъ столбовъ жидкостей и чрезъ то вычислить удѣльный вѣсъ жидкости, сравниваемой съ водою.

РАВНОВѢСІЕ ТВЕРДЫХЪ ТѢЛЪ, ПОГРУЖЕННЫХЪ ВЪ ЖИДКОСТИ.

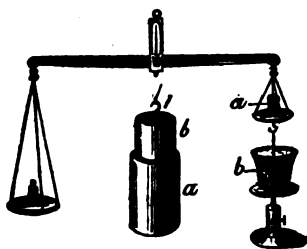
§ 149. Если мы погрузимъ какое нибудь твердое тѣло въ сосудъ ^{Архимедовъ} съ водою, то для помѣщенія своего въ жидкости, оно должно вытѣ-законъ. снить часть послѣдней одинаковаго съ нею объема. Такъ какъ часть эта, занимая прежнее свое мѣсто между остальною массою воды, была поддерживаема со всѣхъ сторонъ давленіемъ окружающей ее жидкости, то очевидно, что давленіе это дѣйствуетъ одинаковымъ образомъ и въ отношеніи къ погруженному тѣлу, противудѣйствуя давленію той части его вѣса, которая равна вѣсу вытѣсненнаго имъ количества воды. И въ самомъ дѣлѣ, если какое нибудь твердое

тѣло k будетъ погружено въ воду (фиг. 455), то боковыя давленія Фиг. 455. на него, какъ равныя и взаимно противоположныя уничтожаются другъ другомъ. Верхняя же поверхность его будетъ претерпѣвать давленіе водяного столба, имѣющаго одно основаніе съ тѣломъ, а высоту h . На нижнюю сторону тѣла будетъ происходить давленіе равное вѣсу водяного столба, имѣющаго тоже самое основаніе, а высоту h' .

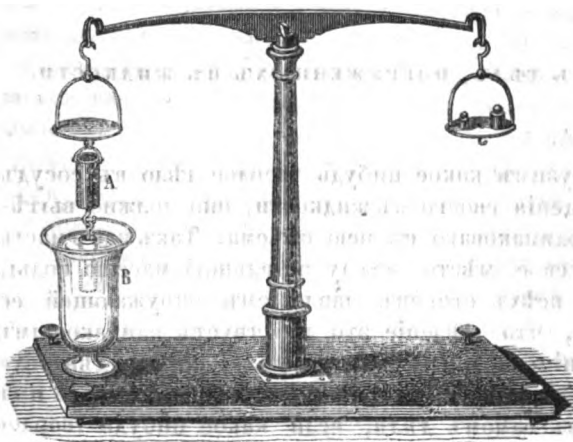
Такъ какъ высоты h и h' , разнствуютъ между собою только на высоту погруженнаго тѣла, то очевидно, что и самая разность между давленіями на нижнюю и верхнюю его поверхности соотвѣтствуетъ Фиг. 456. вѣсу водяного столба, имѣющаго одинаковый объемъ съ погруженнымъ тѣломъ. Какъ этотъ избытокъ давленія кверху дѣйствуетъ противоположно тяжести тѣла, потому и самое дѣйствіе послѣдней должно уменьшиться на вѣсъ количества воды вытѣсненнаго тѣломъ.

Подобное рассужденіе мы можемъ примѣнить ко всякому тѣлу, принимая его за совокупность множества призмъ весьма малаго объема (фиг. 456).

Справедливость этого закона, открытаго впервые сиракузскимъ ученымъ Архимедомъ, жившимъ за 250 лѣтъ до Р. Хр., подтверждается съ самою строгою точностію посредствомъ опыта. И въ самомъ дѣлѣ, если мы (фиг. 457) къ одной изъ чашекъ вѣсовъ привѣсимъ снизу сплошной мѣдный цилиндръ b , а на самую чашку положимъ пустой цилиндръ a , то для равновѣсія вѣсовъ должно будетъ положить на противоположную чашку гирию, соотвѣтственную вѣсу обоихъ цилиндровъ. Если послѣ того мы опустимъ цилиндръ b въ подставленный подъ него сосудъ съ водою, такъ чтобы послѣдняя покрывала вершину его, то равновѣсіе вѣсовъ Фиг. 457.



такъ чтобы послѣдняя покрывала вершину его, то равновѣсіе вѣсовъ Фиг. 458. нарушится и для возстановленія его должно будетъ только наполнить водою цилиндръ a , вмѣстимости котораго, какъ показываетъ таже самая фигура, въ точности равна объему цилиндра b .



Подобнаго устройства вѣсы называются *гидростатическими*. Для удобѣйшаго употребленія даютъ имъ форму представленную на фигурѣ 458-й.

На основаніи Архимедова закона, мы можемъ опредѣлить съ точностію объемъ всякаго тѣла, самой неправильной формы, если только оно нерастворимо въ водѣ. Для этого прикрѣпляютъ тѣло къ ниткѣ, привѣшенной въ свою очередь къ гидростатическимъ вѣсамъ, взвѣшиваютъ его сперва въ воздухѣ, а потомъ въ перегнанной водѣ, при температурѣ $+4^{\circ}$ Ц. Потеря вѣса тѣла означаетъ дѣйстви- тельно вытѣсненную воды. По вѣсу этой воды вычисляютъ ея объемъ, а следовательно и объемъ погруженного тѣла, потому что оба эти объема очевидно равны между собою. Положимъ напр. потеря вѣса равняется 155 граммамъ; это значитъ, что вытѣсненная вода вѣситъ 155 граммовъ; но мы знаемъ, что граммъ есть вѣсъ кубическаго сантиметра перегнанной воды при температурѣ 4° Ц., следовательно объемъ вытѣсненной воды, а поэтому и погруженного тѣла, равенъ 155 кубическимъ сантиметрамъ.

Перейдемъ теперь къ равновѣсію тѣлъ, погруженныхъ въ жидкости.

§ 150. Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что всякое тѣло, погруженное въ жидкость, бываетъ подвержено дѣйствию двухъ силъ — тяжести и давленію воды. Первая сила, направляясь черезъ центръ тяжести тѣла, дѣйствуетъ сверху внизъ, между тѣмъ какъ другая, равная вѣсу вытѣсненной тѣломъ воды, дѣйствуетъ по направленію противоположному снизу вверхъ. Такъ какъ давленіе это равно давленію вытѣсненной тѣломъ воды, то очевидно, что совокупное дѣйствіе давленія воды на погруженное тѣло, должно направляться на точку, составляющую центръ тяжести вытѣсненной имъ воды. — Самая же равнодѣйствующая двухъ этихъ силъ тяжести и давленія воды равна ихъ разности, и зависитъ отъ отношенія плотности погруженнаго тѣла къ плотности жидкости. И въ самомъ дѣлѣ, если вѣсъ тѣла равенъ вѣсу вытѣсненной имъ воды, то ясно, что оставшая масса жидкости, дѣйствуя на него также, какъ и на вытѣсненную имъ воду, будетъ держать его на всякомъ мѣстѣ въ равновѣсіи, не позволяя ему ни опускаться, ни подниматься; при этомъ очевидно, что центръ тяжести тѣла будетъ совпадать съ центромъ давленія. Если же тѣло *b* (фиг. 459) тяжелѣе вытѣсненной имъ воды *a*, то оно опустится книзу, потому что давленіе, производимое тяжестью его, будетъ превышать давленіе, противопоставляемое ему остальною массою жидкости.

Когда же погруженное тѣло *b* (фиг. 460) легче вытѣсненной имъ воды *a*, то давленіе, производимое тяжестью его, будетъ менѣе давленія, противопоставляемаго ему остальною жидкостью, которая вслѣдствіе того будетъ поднимать его вверхъ надъ своею поверхностію до тѣхъ поръ, пока вытѣсненное имъ количество воды не будетъ равно всему вѣсу тѣла.

Последнее положеніе тѣла въ водѣ называется *плаваніемъ*. При- мѣры плаванія на водѣ представляютъ намъ воскъ, дерево и другія тѣла, легчайшія противу воды.

Изъ условія выведеннаго нами для плаванія всякаго тѣла очевидно, что одно и тоже тѣло, погружаясь въ различныя жидкости, опускается глубже въ легчайшія, чѣмъ въ плотнѣйшія и на оборотъ. Такъ напр. яйцо опущенное въ обыкновенную воду погружается ко дну, потому что при равномъ объемѣ вѣсъ его болѣе вѣса вытѣсненной воды. Тоже яйцо опущенное въ воду, въ которой растворено достаточное количество соли, плаваетъ. Кусокъ дубоваго дерева плаваетъ въ водѣ, но погружается въ маслѣ. Масса желѣза плаваетъ въ ртути и погружается въ водѣ. На этомъ основаніи корабль или судно погружается въ рѣчной водѣ глубже, нежели въ морской.

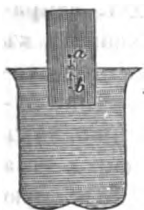
Но должно замѣтить, что не только тѣла легчайшія противу жидкости, но даже и плотнѣйшія, могутъ плавать въ ней, если только увеличить занимаемый ими объемъ, или привести ихъ въ соединеніе съ тѣлами легчайшими. Такъ напр. сплошной кусокъ желѣза, вѣсящій лотъ по погруженіи въ воду, теряетъ въ водѣ до $\frac{1}{8}$ части своего вѣса: это значитъ, что онъ вытѣсняетъ объемъ воды, котораго вѣсъ равенъ $\frac{1}{8}$ части лота; но если тотъ же самый кусокъ желѣза вытянуть въ листъ и сдѣлать изъ него ящикъ, котораго объемъ былъ бы въ 8 разъ болѣе противу первоначальнаго своего состоянія, то таже самая масса желѣза вытѣснитъ объемъ воды въ 8 разъ болѣе, нежели въ первомъ случаѣ. Въ первомъ случаѣ вѣсъ вытѣсненной воды равнялся $\frac{1}{8}$ лота, значитъ въ послѣднемъ онъ будетъ равенъ лоту, а это показываетъ намъ, что ящикъ потеритъ въ водѣ весь свой вѣсъ (1 лотъ). Понятно, что при такомъ условіи онъ будетъ плавать въ ней, погружаясь до самаго края. Если объемъ ящика будетъ увеличенъ вдвое, такъ чтобы имъ могло вытѣсниться 2 лота воды, то онъ опустится въ нее только до половины, и для погруженія его до самаго края, намъ стоитъ только положить въ него тяжесть въ 1 лотъ. На этомъ основаніи дѣлаютъ корабли изъ желѣза, несмотря на то, что послѣднее въ 8 разъ тяжелѣе воды; мы видимъ также, что стеклянный стаканъ плаваетъ въ водѣ, хотя плотность стекла въ 3 раза болѣе плотности воды.

Если твердое тѣло плаваетъ на поверхности какой нибудь жидкости и находится въ равновѣсіи, то это равновѣсіе можетъ быть различнаго рода, оно можетъ быть: 1) *устойчивое*, въ томъ случаѣ, когда тѣло выведенное изъ своего положенія снова стремится принять его; 2) *неустойчивое*, когда тѣло вмѣсто принятія прежняго положенія опрокидывается, и наконецъ 3) *безразличное*, если тѣло держится на водѣ при всѣхъ возможныхъ положеніяхъ его.

Чтобы рѣшить какой родъ равновѣсія должно принять известное тѣло, должно обратить вниманіе на силы, которыя дѣйствуютъ при плаваніи его. Эти силы, какъ мы уже сказали выше, заключаются въ вѣсъ погруженнаго тѣла и въ сопротивленіи жидкости. Первую силу, дѣйствующую по направленію линіи паденія, мы можемъ представить себѣ сосредоточенною въ центрѣ тяжести тѣла. Сопротивленіе же жидкости, обнаруживаемое давленіемъ всѣхъ частей ея находя-

щихся подъ тѣломъ, дѣйствуетъ снизу вверхъ по направленію противоположному направленію паденія центра тяжести вытѣсненной жидкости съ силою равною вѣсу послѣдней.

Фиг. 461.



Фиг. 462.



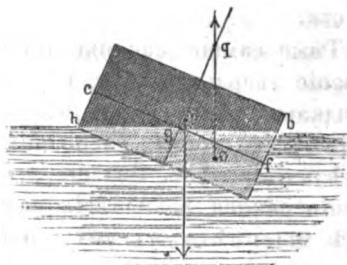
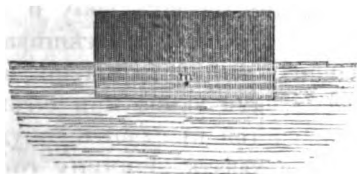
Изъ этого слѣдуетъ что тѣло, плавающее въ жидкости, будетъ находиться тогда въ равновѣсіи, когда линія, по которой совершается дѣйствіе сопротивленія, проходитъ черезъ центръ тяжести тѣла (фиг. 461), однимъ словомъ, когда послѣдняя точка имѣетъ опору.

Равновѣсіе это бываетъ *устойчивое* въ томъ случаѣ, когда центръ тяжести a (фиг. 462) тѣла лежитъ на отвѣсной линіи подъ центромъ тяжести b вытѣсненной жидкости и тѣмъ устойчивѣе, чѣмъ болѣе разстояніе между этими двумя точками. Мы поймемъ это лучше, если сравнимъ плавающее тѣло съ погруженнымъ въ воду маятникомъ, точкой привѣса котораго служитъ центръ тяжести вытѣсненной воды, а тяжелымъ пунктомъ центръ тяжести тѣла. Понятно, что такой маятникъ по принятіи равновѣсія послѣ всѣхъ возможныхъ качаній, будетъ принимать постоянно одно и тоже положеніе.

Если же центръ тяжести тѣла p (фиг. 463) находится выше центра тяжести m вытѣсненной жидкости, то равновѣсіе тѣла, какъ, мы уже упомянули, будетъ возможно только тогда, когда эти центры находятся на одной и той же отвѣсной линіи. Не трудно замѣтить, что чѣмъ выше центръ тяжести тѣла лежитъ надъ центромъ вытѣсненной воды, тѣмъ равновѣсіе тѣла будетъ менѣе устойчиво.

Фиг. 463.

Фиг. 464.



Но чтобы изслѣдовать ближе это равновѣсіе посмотримъ, что произойдетъ въ этомъ случаѣ съ тѣломъ, если вывести его изъ положенія изображеннаго на фиг. 463-й. Положимъ что тѣло, разрѣзъ котораго представляетъ продолговатый прямоугольникъ, приведено въ положеніе означенное фиг. 464-й. Въ этомъ случаѣ треугольникъ $сgh$ поднимается, а треугольникъ gbf опустится въ воду; какъ количество вытѣсненной воды при всякомъ положеніи одного и того же плавающего тѣла должно быть одинаково, то очевидно, что $сgh = gbf$. Но при этомъ видъ погруженной части уже другой, нежели въ предыдущемъ случаѣ, поэтому и центръ тяжести вытѣсненной воды

не будетъ уже болѣе въ m , а въ какой нибудь другой точкѣ o , которой положеніе для каждаго частнаго случая должно быть опредѣлено. Въ этомъ положеніи на плавающее тѣло дѣйствуютъ двѣ противоположныя отвѣсныя силы: одна центръ тяжести тѣла, направляющійся книзу, а другая центръ тяжести вытѣсненной воды, направляющійся вверху. Обѣ эти параллельныя силы, приложенныя къ тѣлу, будутъ стремиться производить вращеніе его и притомъ такимъ образомъ: сила, проходящая чрезъ центръ тяжести тѣла, будетъ способствовать опусканію нижней части его, между тѣмъ какъ сила, проходящая чрезъ o , будетъ препятствовать верхней части тѣла опускаться книзу. Если мы проведемъ мысленно чрезъ o отвѣсную линію, то она пересѣчетъ перпендикуляръ проведенный чрезъ m во время равновѣсія тѣла въ точкѣ q , которая называется *метацентромъ*.

Пока центръ тяжести тѣла лежитъ на линіи mq ниже q , до тѣхъ поръ обѣ противодѣйствующія силы будутъ постоянно стремиться приводить тѣло въ состояніе равновѣсія. Устойчивость тѣла прекращается въ томъ случаѣ, когда центръ тяжести его находится выше метацентра, потому что въ этомъ случаѣ сила, приложенная къ центру тяжести, вмѣсто опусканія нижней части тѣла будетъ содѣйствовать опусканію верхней. Наконецъ равновѣсіе бываетъ безразличнымъ, когда метацентръ совпадаетъ съ центромъ тяжести тѣла. Изъ этого легко замѣтить, что при постройкѣ и нагрузкѣ кораблей весьма важно давать центру тяжести выгоднѣйшее положеніе, и что корабль стоитъ тѣмъ тверже, чѣмъ ниже лежитъ его центръ тяжести подъ метацентромъ. Отсюда понятно, почему при нагруженіи кораблей самую тяжелую часть груза должно класть всегда внизу. — Точно также легко объяснить себѣ употребленіе балласта.

Тѣже самые законы, по которымъ производится поднятіе и опусканіе твердыхъ тѣлъ въ жидкостяхъ, очевидно имѣютъ силу и для жидкихъ тѣлъ. На этомъ основаніи понятно, почему несмѣшивающіяся жидкости располагаются въ одномъ сосудѣ согласно ихъ удѣльному вѣсу. Явленіе это было изложено нами выше при объясненіи закона равновѣсія разнородныхъ жидкостей въ одномъ сосудѣ, гдѣ мы имѣли въ виду преимущественно показать причину горизонтальности прикасающихся поверхностей ихъ.

Показанное нами плаваніе тѣлъ, называемое *естественнымъ*, не должно смѣшиваться съ *искусственнымъ*, при которомъ тѣла, несмотря на большую свою плотность противу воды, удерживаются на поверхности его съ помощію различныхъ движеній, позволяющихъ имъ вытѣснять по возможности большее количество воды.

Хотя тѣло у нѣкоторыхъ людей и бываетъ нѣсколько легче не только морской, но и прѣсной воды, но вообще человѣкъ можетъ держаться на поверхности воды только посредствомъ искусственнаго плаванія, потому что, для свободнаго дыханія, онъ долженъ держать надъ водою ротъ и вообще голову, удѣльный вѣсъ которой болѣе противу удѣльнаго вѣса другихъ членовъ.

И въ самомъ дѣлѣ, человѣкъ плаваетъ на спинѣ гораздо легче, чѣмъ на животѣ, потому что въ первомъ случаѣ онъ можетъ погрузить въ воду большую часть своей головы, имѣя носъ и ротъ свободными для дыханія. Вотъ почему многія животныя, какъ наприм. собаки и др., плаваютъ легко, потому что устройство тѣла позволяетъ имъ держать въ водѣ большую часть головы, которая у нихъ и безъ того легче сравнительно съ прочими частями. Для одного и того же человѣка относительный вѣсъ можетъ измѣняться; такъ наприм. послѣ сильнаго вдыханія, при которомъ расширяется грудная полость, онъ дѣлается менѣе, нежели при сильномъ выдыханіи. Весьма незначительнымъ относительнымъ вѣсомъ отличался, жившій около 1767 года, Неаполитанецъ Наоле Моккія, который погружался въ воду только до половины груди. Въ случаѣ опасности, человѣкъ, погруженный въ воду, долженъ стараться держать въ водѣ, по возможности, большую часть своего тѣла и не вынимать изъ нея рукъ. Всякій не умѣющий плавать можетъ держаться въ водѣ, привазавъ къ своей груди до 6 фунтовъ пробокъ.

У большой части рыбъ въ животѣ подъ позвоночнымъ столбомъ находится наполненный воздухомъ пузырь. Пузырь этотъ, называемый *плавающимъ* съ помощію мускуловъ сжимается и расширяется, чрезъ что уменьшается и увеличивается самый объемъ занимаемый рыбою въ водѣ. Это же измѣненіе объема позволяетъ рыбѣ по произволу опускаться и подниматься въ водѣ. Поступательныя движенія рыбъ въ водѣ были объяснены нами приложеніемъ силъ.

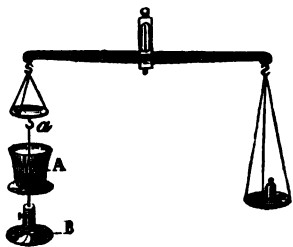
ОПРЕДѢЛЕНІЕ УДѢЛЬНАГО ВѢСА ТВЕРДЫХЪ И ЖИДКИХЪ ТѢЛЪ.

§ 151. Выведенный нами законъ Архимеда, касательно уменьшенія Прин-
ципе
Архим.
законъ
къ опре-
дѣленію
удѣльн.
вѣса
тѣлъ. вѣса тѣлъ въ водѣ, можно весьма удобно приложить къ опредѣленію удѣльнаго вѣса тѣлъ. И въ самомъ дѣлѣ, мы видѣли, что удѣльный вѣсъ всякаго тѣла, какъ твердаго, такъ и жидкаго, выражается числомъ, показывающимъ намъ восколько разъ вѣсъ испытуемаго тѣла, при равномъ объемѣ, болѣе или менѣе противу вѣса перенесенной воды, взятой при 4° Ц. Вслѣдствіе этого опредѣленія для полученія удѣльнаго вѣса каждаго тѣла достаточно опредѣлить его вѣсъ и вѣсъ равнаго съ нимъ объема воды, потомъ раздѣлить первый вѣсъ на второй; частное выразитъ намъ искомый удѣльный вѣсъ.

Законъ Архимеда и представляетъ намъ въ этомъ случаѣ средство опредѣлять вѣсъ воды одинаковаго объема съ тѣломъ. Такъ напримѣръ, вавѣшивая кусокъ свинца въ воздухѣ и въ водѣ, мы найдемъ, что въ первомъ случаѣ онъ будетъ вѣсить 22 лота, а во второмъ только 20 лотовъ (22—2); значить, количество потеряннаго вѣса покажетъ намъ вѣсъ вытѣсненной воды, объемъ которой очевидно равенъ объему самаго тѣла.

Подобное взвѣшиваніе производить на *гидростатическихъ вѣсахъ*.

Фиг. 465.

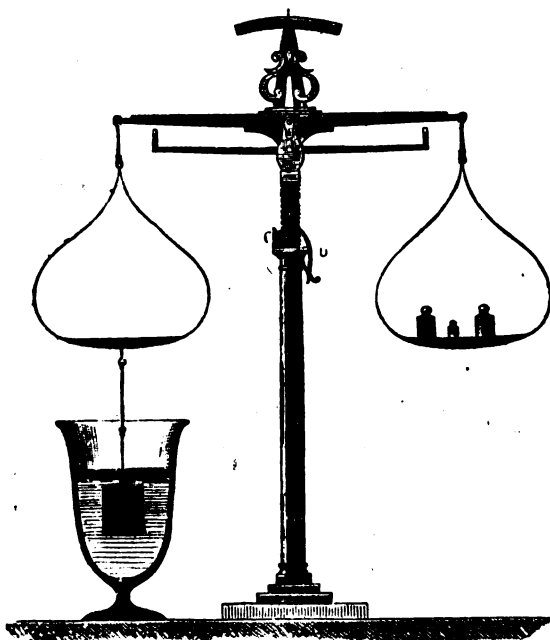


Для опредѣленія съ помощію этихъ вѣсовъ (фиг. 465) относительнаго вѣса, взвѣшиваютъ тѣло сперва въ воздухѣ, потомъ прикрѣпляютъ его къ крючку *a* и взвѣшиваютъ въ водѣ. Полученная потеря вѣса дастъ, какъ мы уже видѣли, вѣсъ воды, равнаго объема съ тѣломъ. Послѣ того должно раздѣлить вѣсъ тѣла въ воздухѣ на потерю вѣса въ водѣ и полученное частное выразитъ искомый удѣльный вѣсъ.

Если *P* представляетъ вѣсъ тѣла въ воздухѣ, *P'* вѣсъ его въ водѣ, а *D* его удѣльный вѣсъ, то вѣсъ вытѣсненной воды будетъ равенъ $P - P'$, слѣдовательно $D = \frac{P}{P - P'}$.

На фиг. 466-й, представлены гидростатическіе вѣсы, употребляемые при болѣе точныхъ взвѣшиваніяхъ.

Фиг. 466.



Чтобы опредѣлить удѣльный вѣсъ тѣла, легчайшаго противу воды, соединяютъ его съ какимъ нибудь тяжелымъ тѣломъ, которое могло бы погрузить его съ собою въ воду. Послѣ того опредѣляютъ потерю вѣса соединенныхъ тѣлъ и вычитаютъ изъ ней, заранее найденную, потерю вѣса плотнѣйшаго тѣла; разность покажетъ намъ вѣсъ воды, занимающей одинаковый объемъ съ легчайшимъ тѣломъ. Раздѣливъ вѣсъ искомаго тѣла, полученный въ воздухѣ, на отысканную потерю вѣса, мы получимъ опредѣляемый удѣльный вѣсъ.

Если тѣла, какъ напр. соль и др., растворятся въ водѣ, то потерю ихъ вѣса опредѣляютъ въ спиртѣ или въ другой жидкости, которой плотность извѣстна и которая бы вмѣстѣ съ тѣмъ не могла растворять погружаемаго въ нее тѣла. При этомъ не должно упускать изъ виду, что во сколько разъ спиртъ легче воды, во столько и самая потеря вѣса опредѣляемаго тѣла въ водѣ будетъ болѣе противу потери вѣса его въ спиртѣ.

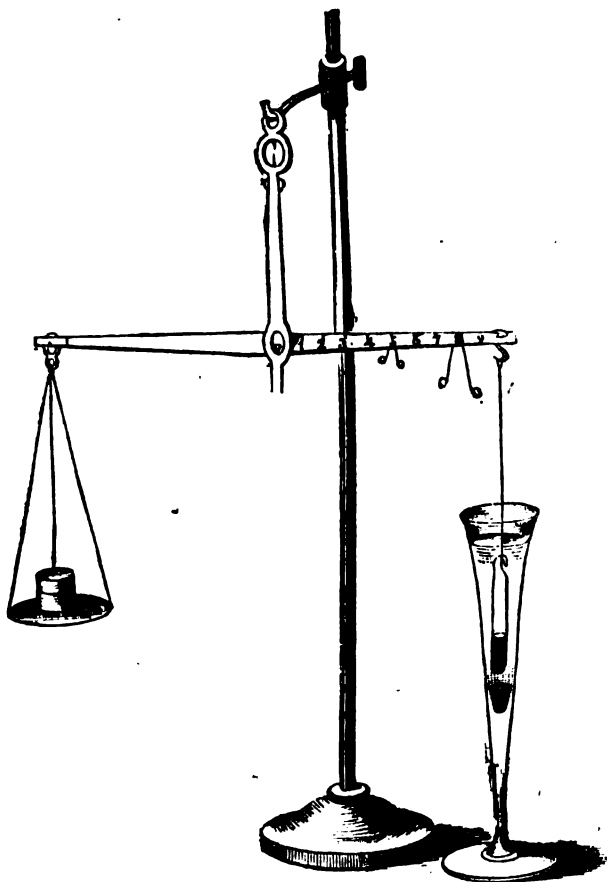
Для опредѣленія удѣльнаго вѣса жидкостей посредствомъ гидростатическихъ вѣсовъ, привѣшиваютъ къ крючку одной изъ чашекъ тѣло, на которое не оказываетъ химическаго дѣйствія данная жидкость, какъ напр. платиновый шарикъ. Взвѣсивъ этотъ шарикъ въ воздухѣ, въ водѣ при 4° и наконецъ въ данной жидкости, замѣчаютъ потерю вѣса, претерпѣваемаго этою массою въ водѣ и во второй жидкости и такимъ образомъ получаютъ два числа, представляющія намъ при равныхъ объемахъ вѣсъ воды и вѣсъ данной жидкости; слѣдовательно для опредѣленія удѣльнаго вѣса послѣдней, должно раздѣлить второй вѣсъ на первый.

Положимъ, P вѣсъ платиноваго шарика въ воздухѣ, P' его вѣсъ въ водѣ, P'' вѣсъ его во второй жидкости и D удѣльный вѣсъ послѣдней; вѣсъ воды вытѣсненной платиновымъ шарикомъ $= P - P'$, вѣсъ второй жидкости вытѣсненной шарикомъ $= P - P''$; откуда $D = \frac{P - P''}{P - P'}$.

Мы считаемъ не лишнимъ помѣстить здѣсь приемъ опредѣленія удѣльнаго вѣса жидкостей, показанный Моромъ. Для этого раздѣляютъ одну половину коромысла вѣсовъ на 10 равныхъ частей, которыя означаютъ напильникомъ на верхней спинкѣ коромысла, и пронумеровываютъ цифрами, начиная отъ 1 и до 9, какъ показываетъ фигура 467-я. — Берутъ небольшую стеклянную

Фиг. 467.

Фиг. 468а.

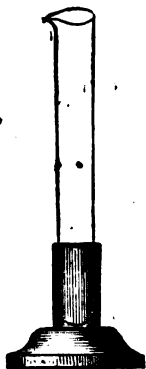


трубку, представленную на фиг. 468а въ натуральную величину, вытягиваютъ ее остроконечно съ верхней стороны и наполняютъ ртутью или свинцовыми зернами до того, чтобы трубка могла погружаться въ жидкости, удѣльный вѣсъ которой равенъ 2. Потомъ запаиваютъ суженный конецъ и загибаютъ его крючкомъ, чрезъ который продвѣается платиновая проволока, оканчивающаяся мѣднымъ колечкомъ. Колечко это привѣшивается, какъ показывается фиг. 467-я, не къ чашкѣ, но къ раздѣленному на части плечу коромысла. — Съ другой стороны коромысла привѣшивается легкая чашка, на которой находится небольшая коробочка, назначаемая для помѣщенія противовѣсовъ, могущихъ уравновѣсить грузъ стаканчика.

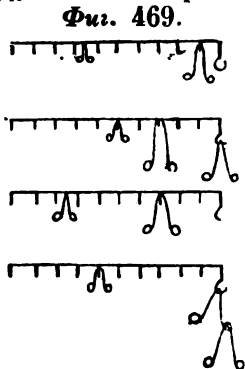
Для опусканія стаканчика въ воду подставляютъ подъ него наполненную перегнанною водою длинную рюмку. Чтобы узнать сколько вѣсу потерялъ стаканчикъ въ водѣ, навѣшиваютъ на поддерживающей его крючекъ небольшую изогнутую тупымъ угломъ мѣдную проволоку, которую надрѣзываютъ и надпиливаютъ до тѣхъ поръ, пока не возстановится равновѣсіе коромысла, нарушенное погруженіемъ стаканчика въ воду. Точно прыгнанная мѣдная проволока дастъ намъ въ точности вѣсъ воды вытѣсненной стаканчикомъ.

Послѣ того загибаютъ проволоку подъ болѣе острымъ угломъ и посредствомъ молотка пригоняютъ ее такъ, чтобы она могла помѣститься въ небольшія углубленія дѣленій коромысла. Такихъ проволокъ должно быть двѣ и къ нимъ присовокупяется третья, которой вѣсъ равенъ $\frac{1}{10}$ части вѣса большаго проволоки.

Употребленіе этихъ вѣсовъ слѣдующее: наполняютъ водою рюмку или стаканчикъ, представленный на фиг. 468b, и отмѣчаютъ уровень воды чертою. Погружаютъ стаканчикъ и передвигаютъ толстую проволоку щипчиками вдоль коромысла до тѣхъ поръ, пока не возстановится равновѣсіе. Когда удѣльный вѣсъ менѣе 1, то находятъ на коромыслѣ мѣсто, соответствующее этому условію. Если бы это мѣсто пришлось въ промежуткѣ между двумя числами, то положеніе его должно оцѣнить на глазъ. Въ этомъ случаѣ привѣшиваютъ тяжелую проволоку на ближайшее меньшее число и возстановляютъ недостающее равновѣсіе меньшею проволокою. Если послѣдняя точка находится между двумя числами, то оцѣниваютъ разстояніе на глазъ до одной десятой части. Число, противу котораго виситъ большая проволока, есть первая десятичная точка; число, соответствующее меньшей проволоки — вторая десятичная точка, и если послѣдняя приходится между двумя числами, то ближайшее число, начиная отъ середины вѣсовъ, есть вторая десятичная точка, а разстояніе отъ этого числа, оцѣненное до $\frac{1}{10}$ части, есть третья десятичная точка.



Фиг. 469. Иллюстрация системы весов с проволоками.



На фиг. 469-й обѣ проволоки показываютъ удѣльный вѣсъ 0,850. На фиг. 467 числа, поставленные сбоку, показываютъ удѣльные вѣса, соответствующіе положенію проволокъ. Если удѣльный вѣсъ болѣе 1 и менѣе 2, то одна изъ тяжелыхъ проволокъ виситъ на числѣ 10, т. е. на одномъ крючкѣ со стаканчикомъ. Вторая толстая проволока даетъ первую десятичную точку, меньшая же — вторую и третью. По причинѣ тонкости платиновой проволоки, употребляемой для привѣшивания стаканчика, этотъ способъ опредѣленія удѣльнаго вѣса отличается особенною точностію. — Възвѣшиванія производятся весьма скоро и получаются прямо безъ вычисленій. Для поддержанія равновѣсія стаканчика достаточно налить въ рюмку до 6 драхмъ

воды. Для достиженія той же цѣли достаточно естественно и равный объемъ другой жидкости.

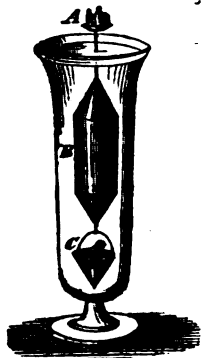
Моръ еще болѣе усовершенствовалъ свой приборъ. Онъ употребляетъ вѣсы съ разноплечнымъ коромысломъ; длинное плечо почти равно 300 мм., короткое — около 100 мм.; на концѣ длиннаго плеча, раздѣленнаго на 100 равныхъ частей, привѣшивается стаканчикъ. Короткое плечо оканчивается винтомъ, на которомъ мѣдная подвижная гиря можетъ быть помѣщена такимъ образомъ, что уравнивается стаканчикъ. Употребленіе этого прибора, дающаго удѣльный вѣсъ въ точности, до 4-хъ десятичной цифры, можетъ быть легко представлено на основаніи предъидущаго.

Какъ точные и чувствительные вѣсы стоятъ дорого, то для опредѣленія удѣльнаго вѣса нерѣдко употребляютъ особеннаго рода дешевые приборы, называемые *ареометрами*.

Ареометры бываютъ различныхъ родовъ; одни изъ нихъ употребляются для опредѣленія удѣльнаго вѣса твердыхъ, а другія — жидкихъ тѣлъ. Для твердыхъ тѣлъ обыкновенно употребляютъ ареометръ *Никольсона*.

Онъ состоитъ изъ мѣднаго или жестянаго пустаго внутри цилиндра *B* (фиг. 470), оканчивающагося внизу ко-

Фиг. 470.



нусомъ *C*, наполненнымъ свинцомъ. Последний заступаетъ въ снарядѣ мѣсто балласта, такъ что центръ тяжести прибора находится ниже центра давленія — необходимое условіе устойчиваго равновѣсія. Вверху ареометръ оканчивается небольшимъ тонкимъ стержнемъ, на которомъ прикреплена круглая горизонтальная пластинка *A*; на послѣднюю кладутъ вѣсовые гири и тѣло, удѣльный вѣсъ котораго должно опредѣлить. Наконецъ на стержнѣ замѣчаютъ черту, показывающую какъ глубоко приборъ погрузился въ воду и называемую *точкою погруженія*.

Приступая къ опредѣленію вѣса какого нибудь тѣла посредствомъ этого ареометра, ищутъ прежде всего вѣсъ груза, который необходимо положить на пластинку *A*, для того чтобы ареометръ опустился до точки погруженія, потому что самъ по себѣ, одинъ, онъ часто выдается изъ воды. Положимъ, что этотъ грузъ на примѣръ равенъ 125 граммамъ и что мы имѣемъ въ виду опредѣлить удѣльный вѣсъ сѣры. Тогда берутъ кусокъ сѣры вѣсомъ меньше 125 граммовъ, кладутъ на пластинку *A* и потомъ прибавляютъ на нее столько вѣсовыхъ гирь, сколько необходимо для погруженія ареометра опять до точки погруженія. Если надобно прибавить напр. 55 граммовъ, то очевидно, вѣсъ сѣры будетъ равняться разности между 125 и 55, т. е. 70 граммовъ. По опредѣленіи такимъ образомъ вѣса сѣры въ воздухѣ, остается только найти вѣсъ равнаго ей объема воды, для этого вынимаютъ ареометръ изъ воды и, снявъ съ пластинки *A* кусокъ сѣры, кладутъ ее на основаніе конуса *C*, какъ это видно на

фигурѣ. Общій вѣсъ прибора не измѣняется при этомъ, а между тѣмъ при погруженіи его вновь замѣчаютъ, что онъ не погружается до точки погруженія; это происходитъ отъ того, что сѣра, будучи погружена въ воду, теряетъ часть своего вѣса, которая равна вѣсу вытѣсненной ею воды. Прибавляя, для погруженія ареометра до точки погруженія, на верхнюю пластинку *A* гири, положимъ до 34,4 граммовъ, получимъ вѣсъ вытѣсненной сѣрою воды; онъ будетъ, очевидно, 34,4 грамма; а раздѣливъ вѣсъ сѣры въ воздухѣ, 70 грам. на 34,4 грамма, получимъ удѣльный вѣсъ сѣры 2,03 грамма.

Если тѣло, котораго ищутъ вѣсъ, легче воды, то оно не можетъ оставаться на конусѣ *C* и всплываетъ; тогда надъ основаніемъ конуса прикрѣпляютъ желѣзную рѣшетку, которая препятствуетъ тѣлу подняться вверхъ и опытъ производится по предыдущему.

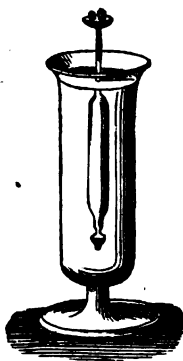
Фиг. 471.

Мосъ сдѣлалъ въ этомъ приборѣ нѣкоторыя измѣненія, приспособивъ его преимущественно къ опредѣленію удѣльнаго вѣса минераловъ.



Измѣненный имъ ареометръ представленъ на Фиг. 471-й. Для опредѣленія посредствомъ его потери вѣса тѣла въ водѣ кладутъ послѣднее въ углубленіе *a*, находящееся въ водѣ.

Для опредѣленія удѣльнаго вѣса жидкихъ тѣлъ употребляютъ преимущественно ареометръ Фаренгейта (Фиг. 472), который похожъ на ареометръ Никольсона, съ тою только разницею, что не имѣетъ въ верхней части пластинки и дѣлается изъ стекла, какъ тѣла позволяющаго погружать его во всякую жидкость. Стволъ этого ареометра также имѣетъ черту, назначенную для полученія постоянного объема при погруженіи. Наконецъ въ нижней части его находится небольшой шарикъ съ ртутью, служащею балансомъ и доставляющею прибору устойчивое равновѣсіе.



Прежде произведенія опытовъ съ этимъ ареометромъ опредѣляютъ точно его вѣсъ, потомъ погружаютъ въ воду и кладутъ на верхнюю пластинку гири до тѣхъ поръ, пока поверхность воды не достигнетъ черты погруженія на стволѣ.

Въ этомъ состояніи вѣсъ ареометра, вмѣстѣ съ прибавленными гирями, представляетъ вѣсъ вытѣсненнаго объема воды. Дѣйствуя такимъ же образомъ и въ жидкости, которой удѣльный вѣсъ должно опредѣлить, получаютъ вѣсъ ея объема, равнаго объему воды въ первой части опыта. Наконецъ надобно раздѣлить второй полученный вѣсъ на первый.

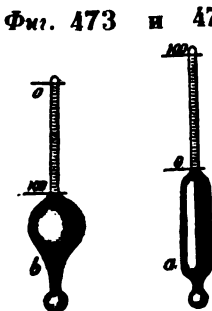
Понятно, что точно также можно и посредствомъ ареометра Моса опредѣлить удѣльный вѣсъ жидкости, неоказывающей химическаго дѣйствія на металлъ, изъ котораго сдѣланъ ареометръ.

Ареометры Никольсона и Фаренгейта называются ареометрами съ *постояннымъ объемомъ и переменнымъ вѣсомъ*, потому что ихъ всегда погружаютъ до одной и той же степени, прибавляя для этого различныя гири, смотря по тѣламъ, надъ которыми производится опытъ. Правильное употребленіе этихъ ареометровъ, по сложности своей, требуетъ много времени и навыка, и потому, если не требуется особенной точности, то употребляютъ взаимно ихъ, такъ называемые, ареометры съ *переменнымъ объемомъ и постояннымъ вѣсомъ*, т. е. такіе ареометры, которые не имѣютъ постоянной точки погруженія и сохраняютъ всегда одинъ и тотъ же вѣсъ. Эти приборы, называемые *солемъбрами, кислотомъбрами* и т. п. судя по роду жидкости, назначаются собственно не для опредѣленія плотности жидкостей, а для узанія большей или меньшей густоты соляныхъ, кислыхъ, спиртовыхъ и другихъ растворовъ.

Ареометръ Боле. Парижскій аптекаръ Боле, умершій въ 1804 г., Фиг. 472 устроилъ ареометръ съ постояннымъ вѣсомъ, весьма употребительный въ настоящее время. Это плавающий стеклянный приборъ, представленный на фиг. 472. Онъ состоитъ изъ ствола *a*, въ нижней части котораго выдута два шарика; одинъ большой, наполненный воздухомъ, и другой меньшій, наполненный ртутью, замѣняющею балластъ.



Можно двоякимъ образомъ раздѣлить на градусы стержень этого ареометра, смотря потому должно ли его погрузить въ жидкость большей или меньшей плотности противу воды. Въ первомъ случаѣ его устрояютъ такъ, чтобы въ перегнанной водѣ при 4° Ц. онъ погружался почти до верхняго конца своего ствола (фиг. 473), и точку, до которой онъ погрузится, означаютъ 0. Потомъ дѣлаютъ растворъ изъ 85 частей воды и 15 ч. морской соли; растворъ этотъ, будучи плотнѣе воды, заставитъ ареометръ подняться до известной точки, которую и означаютъ числомъ 15. Промежутокъ между нулемъ и этою точкою раздѣляютъ на 15 равныхъ частей и продолжаютъ эти дѣленія до нижняго конца ствола. Дѣленія означаются чертами на небольшой полоскѣ бумаги, помѣщаемой внутри ствола.



Устроенный такимъ образомъ ареометръ можетъ быть употребляемъ только для жидкостей плотнѣе воды, каковы кислоты и растворы солей; это въ одно и тоже время кислотомъбрь и солемъбрь. Для жидкостей менѣе плотныхъ, нежели вода, надобно чтобы 0 былъ внизу цилиндра (фиг. 474). Постоянными точками дѣленія будутъ тогда точки, до которыхъ погрузится ареометръ въ растворъ 10 частей по вѣсу морской соли въ 90 частяхъ воды и потомъ въ перегнанной водѣ. При первой

точкѣ ставится 0, а при второй 10. Промежутокъ между этими точками раздѣляется на 10 равныхъ частей и это раздѣленіе продолжаютъ до верху ствола.

Оба описанные нами ареометра Боле раздѣлены на градусы совершенно произвольно и не показываютъ ни плотности жидкостей, ни количества растворенныхъ солей. Однако они употребляются съ большою выгодною для узнанія того, доведены ли жидкости до известной степени сгущенія. Однимъ словомъ, они даютъ возможность составлять скоро смѣси или растворы въ данныхъ пропорціяхъ, хотя и несовершенно точно, но съ приближеніемъ достаточнымъ въ большинстве случаевъ. Напримѣръ при дѣланіи обыкновенныхъ сыроповъ опытомъ доказано, что солемеръ Боле долженъ въ холоду показывать 35 дѣлений въ хорошо приготовленномъ сыропѣ. Слѣдовательно для фабриканта онъ можетъ служить указателемъ степени густоты его сыропа. Точно также въ морской водѣ, при температурѣ 22°, солемеръ Боле показываетъ 3; что важно для обыкновенныхъ соляныхъ бань въ нѣкоторыхъ случаяхъ. Пропорціи морской соли, предписываемыя медиками вообще гораздо слабѣе тѣхъ, которыя даетъ ареометръ; т. е. искусственныя соляныя бани не имѣютъ степени густоты морской воды, отъ чего и бани эти не столь полезны какъ изъ морской воды.

Спиртометръ Гэ-Люссака, по формѣ, совершенно сходенъ съ ареометромъ Боле; онъ отличается только раздѣленіемъ на градусы, по которымъ онъ показываетъ не только насыщенность спирта, но и сколько на 100 частей, по объему, жидкость содержитъ воды и сколько чистаго спирта. Чтобы сдѣлать это раздѣленіе, погружаютъ алькоометръ сперва въ чистый спиртъ, т. е. въ спиртъ, имѣющій наименьшую плотность, и при точкѣ, до которой онъ погрузится, ставятъ 100; при чемъ стараются сдѣлать такой балластъ, чтобы эта точка приходилась близъ верхушки ствола. Потомъ дѣлаютъ смѣси, которыя на 100 частей по объему состоятъ изъ 95, 90, 85, 80 . . . чистаго спирта и остальнаго количества воды. Въ эти смѣси погружаютъ послѣдовательно алькоометръ и при каждой точкѣ, до которой онъ погружается, ставятъ 95, 90, 85, 80 . . . Для довершенія раздѣленія остается только каждый промежутокъ раздѣлить на пять равныхъ частей.

Если такимъ образомъ раздѣленный спиртомеръ остановится въ спиртѣ на 58, то значитъ на 100 частей по объему этотъ спиртъ содержитъ 58 частей чистаго спирта и 42 части воды. Однако и здѣсь должно обращать вниманіе на температуру, ибо когда она увеличивается или уменьшается, то и плотн. ст. спирта измѣняется въ обратномъ смыслѣ. Поэтому Гэ-Люссакъ сдѣлалъ для своего алькоометра таблицы поправокъ, помощью которыхъ исправляются показанія спиртомера, смотря по температурѣ спирта, что заставляетъ при этомъ приборѣ употреблять термометръ.

По образцу спиртомера Гэ-Люссака дѣлать на градусы и солемеры; посредствомъ этихъ градусовъ опредѣляютъ количество по

вѣсу той или другой соли, находящейся въ растворѣ. Нуль, во всѣхъ солемѣрахъ такого устройства, соответствуетъ чистой водѣ и дѣленія ставятся съ помощью погруженія солемѣра въ растворъ 5, 10, 15... граммовъ соли въ 95, 90, 85... частяхъ воды до насыщенія раствора. Погружаютъ приборъ послѣдовательно въ эти растворы, точки погруженія означаютъ чрезъ 5, 10, 15.... и каждый промежутокъ между дѣленіями дѣлятъ еще на пять равныхъ частей.

Эти приборы представляютъ ту невыгоду, что для каждого рода соли нуженъ особый солемѣръ. Солемѣръ, раздѣленный напр. для углекислаго кали, дастъ совершенно ложныя показанія для растворовъ селитры, лаписа и всякой другой соли. Къ тому же, измѣненія температуры потребовали также для каждого изъ нихъ таблицъ поправокъ, какъ это было для спиртомѣра Гѣ-Люссака.

По тому же правилу устроиваются и ареометры, служащіе для измѣренія количества воды, подмѣшиваемой въ молоко и въ вино. Но эти приборы не приносятъ существенной пользы, потому что плотности молока и вина весьма различны, даже если эти жидкости и совершенно чисты, и потому можно было бы приписать подлогу то, что происходитъ единственно отъ дурнаго качества естественнаго молока или вина.

Въ медицинѣ употребляютъ ареометры устроенные на тѣхъ же началахъ для мочи.

Ареометрамъ придаютъ также дѣленія, позволяющія опредѣлять относительную плотность жидкости по числу градусовъ, до которыхъ они погружаются въ ней. Ареометры съ такими дѣленіями называются *густомѣрами*. Мы опишемъ здѣсь густомѣръ Гѣ-Люссака и вновь устроенный густомѣръ Руссо.

Густомѣръ Гѣ-Люссака есть собственно ареометръ Боме, съ тою только разницею, что дѣленія перваго измѣняются, судя по тому, начинается ли приборъ для жидкостей болѣе или менѣе плотныхъ противу воды. Въ первомъ случаѣ его нагружаютъ такимъ образомъ, чтобы въ очищенной водѣ онъ погружался до одной изъ верхнихъ точекъ ствола. Послѣ того берутъ жидкость, которой плотность извѣстна и болѣе противу воды, напр. въ отношеніи 4 къ 3; въ эту жидкость опускаютъ приборъ, который погружается въ ней уже менѣе предыдущаго. Положимъ, что V и v представляютъ объемы частей погруженныхъ въ воду и во вторую жидкость; объемы эти, какъ мы видѣли при показаніи законовъ плаванія и погруженія тѣлъ, находятся въ обратномъ отношеніи къ плотностямъ этихъ жидкостей; слѣдовательно $\frac{1}{v} = \frac{4}{3}$, откуда $v = \frac{3}{4}V$.

Если чрезъ 100 выразить объемъ V , то объемъ v будетъ 75. Поэтому на дѣйденными нами точками надписываютъ 100 и 75; объемъ густомѣра между двумя этими точками, на основаніи величины полученной для v , будетъ составлять четверть отъ V ; на этомъ основаніи пространство между этими точками дѣлятъ на 25 равныхъ частей, изъ которыхъ каждая равна $\frac{1}{25}$ цѣлаго пространства или $\frac{1}{100}V$, т. е. объема погруженнаго въ чистую воду. Потомъ продолжаютъ дѣленія до нижней части трубки, которая на всемъ протяженіи должна имѣть одинаковый діаметръ.

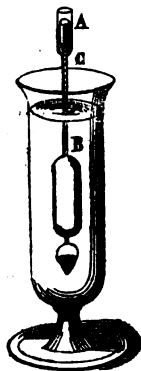
Положимъ, что мы желаемъ опредѣлить плотность жидкости, напр. сѣрной кислоты. Для этого погружаютъ въ нее густомѣръ и если онъ опускается до 54-го дѣленія, то это значитъ, что объемъ вытѣсненной жидкости выражается числомъ 54 въ томъ случаѣ, когда объемъ вытѣсненной воды $V = 100$. —

Какъ всякое плавающее тѣло вытѣсняетъ вѣсъ жидкости равный его вѣсу, то объемъ воды V или 100, или объемъ сѣрной кислоты 54, имѣютъ одинъ и тотъ же вѣсъ, одинаковый съ вѣсомъ прибора; но при равныхъ вѣсахъ объемы двухъ тѣлъ находятся въ обратномъ отношеніи къ ихъ плотностямъ. Слѣдовательно, если x выражаетъ плотность сѣрной кислоты, при взятіи плотности воды за единицу, то мы получимъ $\frac{x}{1} = \frac{100}{54}$, откуда $x = \frac{100}{54} = 1,85$.

Если густомѣръ назначается для жидкостей меньшей плотности противу воды, то должно нагружать его такъ, чтобы черта 100, соотвѣтствующая перегнанной водѣ, находилась на нижней части трубки. Послѣ того прикрѣпляютъ къ верхней оконечности трубки вѣсъ, равный четверти вѣса прибора, и какъ вѣсъ одного прибора выражается числомъ 100, то вѣсъ его по прибавленіи груза = 125. Это послѣднее число отмѣчаютъ соотвѣтственно новой точкѣ погруженія и раздѣляютъ промежутокъ между точками 100 и 125 на 25 равныхъ частей, которыя теперь продолжаются до верху трубки.

Густомѣръ Гь-Люссака требуетъ, чтобы жидкость находилась въ достаточномъ количествѣ для покрытія стержня, потому что послѣдній довольно объемистъ. Но въ извѣстныхъ случаяхъ, въ физиологій напримѣръ, когда опыты производятся надъ жидкостями животнаго организма, можетъ случиться, что эти жидкости находятся въ весьма ограниченномъ количествѣ, напр. всего нѣсколько граммовъ. Въ подобныхъ случаяхъ можетъ быть употребленъ съ

Фиг. 475. пользою густомѣръ Руссо. Этотъ приборъ имѣетъ форму ареометра Боме, но въ немъ верхушка стержня состоитъ изъ стаканчика A (фиг. 475), въ который и наливаютъ опредѣляемую жидкость. На стѣнкѣ этого стаканчика находится черта, показывающая объемъ AC равный кубическому сантиметру.



Для раздѣленія прибора на градусы прибавляютъ къ нему столько груза, чтобы въ перегнанной водѣ и при 4° Ц. онъ погрузился до начала нижняго конца B стержня; эта точка на приборѣ обозначается нулемъ. За тѣмъ наливаютъ въ стаканчикъ кубическій сантиметръ перегнанной же воды при 4° , или, что все равно, кладутъ въ него тяжесть въ 1 граммъ, и при полученной точкѣ погруженія ставятъ 20. Промежутокъ между 0 и 20 дѣлятъ на 20 равныхъ частей и продолжаютъ эти дѣленія до верхушки стержня. Такъ какъ составляющій верхушку стаканчикъ имѣетъ во всю свою длину совершенно одинаковый діаметръ, то каждое дѣленіе соотвѣтствуетъ въ немъ $\frac{1}{20}$ грамма или 0,05.

Если хотять опредѣлить плотность какой нибудь жидкости, напр. желчи, то наливаютъ ее въ стаканчикъ до черты на его стѣнкѣ и когда приборъ погружится, напр. до 20,5 грам., то изъ этого слѣдуетъ, что вѣсъ, заключающейся въ стаканчикѣ желчи, равенъ $0,05 \times 20,5$ граммовъ или 1,025 граммовъ, то есть, принимая вѣсъ воды равнымъ 1, вѣсъ равнаго ей объема желчи будетъ 1,025. Такимъ образомъ послѣднее число представляетъ плотность желчи относительно воды, потому что, при одинаковыхъ объемахъ, вѣсы пропорціональны плотностямъ.

Вліяніє тяжести на движеніє жидкихъ тїлъ.

§ 152. Различныя движенія, производимыя жидкостями, составляютъ особенный отдѣлъ физики, называемой *Гидродинамикой*. Предметъ гидро-динамики.

Извѣстная часть этого отдѣла, занимающаяся собственно искусствомъ проведенія и возвышенія водъ, извѣстна подъ названіемъ *Гидравлики* (отъ греческихъ словъ: вода и труба); слѣдовательно можно сказать, что гидравлика есть практическая часть гидродинамики.

Въ гидродинамикѣ, какъ и въ гидравликѣ, предполагается, что жидкости совершенно несжимаемы и удобовдвижимы. Но какъ жидкости обладаютъ этими свойствами только несовершенно, то очевидно, что и теорическіе выводы, полученные на основаніи этого предположенія, только приблизительно согласуются съ опытами.

Кромѣ того движеніе жидкостей представляетъ многіе другіе случаи: 1) истеченіе бываетъ изъ резервуара съ тонкими стѣнками, т. е. такими, которыхъ толщина меньше половины самаго наименьшаго протяженія въ отверстіи; 2) изъ резервуара, снабженнаго представляемыми трубками; 3) чрезъ трубы большаго или малаго діаметра; 4) по руслу, какъ въ рѣкахъ.

§ 153. Возьмемъ сосудъ съ тонкими стѣнками, наполненный водою. Если въ какой нибудь стѣнкѣ сдѣлать небольшое отверстіе, то вода будетъ вытекать отъ вліянія двухъ силъ: тяжести, дѣйствующей въ вертикальномъ направленіи, и давленія жидкости, дѣйствующаго перпендикулярно стѣнкѣ и пропорціонально глубинѣ. Вытекающая такимъ образомъ струя называется *жилою*. Истеченіе жидкости изъ сосуда.

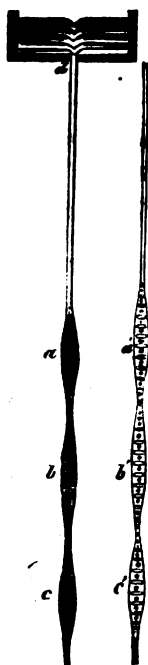
Если отверстіе сдѣлано въ днѣ сосуда, то и тяжесть и внутреннее давленіе дѣйствуютъ въ одномъ и томъ же направленіи, а потому жила будетъ вертикальна и прямолинейна. Но если отверстіе сдѣлано въ стѣнкѣ вертикальной или наклонной, то силы эти дѣйствуютъ на жидкость по двумъ направленіямъ— по вертикальному и по горизонтальному или наклонному. Въ этомъ случаѣ жидкость вынуждается ихъ равнодѣйствующей, жила принимаетъ криволинейное направленіе и внѣ сопротивленія воздуха описывала бы, подобно всѣмъ брошеннымъ тѣламъ, кривую, извѣстную подъ именемъ параболы.

§ 154. Жила представляетъ замѣчательныя явленія, которыя изучены Саваромъ. Образованіе жилы.

Она состоитъ изъ двухъ различныхъ частей: одна изъ нихъ, кающаяся отверстія, совершенно спокойна, прозрачна и имѣетъ видъ самаго чистаго хрустальнаго цилиндра, другая напротивъ находится въ движеніи и представляетъ въ нѣкоторыхъ другъ отъ друга раз-

стояніяхъ удлиненные, правильно расположенные эллипсонды называются *желудками* (фиг. 476).

Фиг. 476 и 477. Эта вторая часть жилы не непрерывна, потому что



когда заставляют вытекать жидкость непрозрачную, какова ртуть, то можно видѣть предметы сквозь жилу. Саваръ нашелъ, что желудки состоятъ изъ отдѣльных шариковъ, вытянутыхъ въ поперечномъ направленіи жилы, и что сжатія или *узлы* напротивъ образованы изъ шариковъ, вытянутыхъ по длинѣ жилы, какъ это представлено на фигурѣ 477-й. — Саваръ доказалъ, кромѣ того, наблюдая жилу при сильномъ свѣтѣ, что прозрачная ея часть состоитъ изъ кольцеобразныхъ расширеній, начинающихся у отверстія и продолжающихся съ равными промежутками до второй части жилы, гдѣ они отдѣляются другъ отъ друга. Эти расширенія происходятъ отъ періодическихъ толчковъ въ отверстіи и число ихъ находится въ прямомъ отношеніи къ скорости истеченія и въ обратномъ къ діаметру отверстія.

Толчки при отверстіи иногда могутъ быть достаточно быстры для произведенія звука, который усиливается, если жилѣ противопоставить какую нибудь натянутую перепонку. Саваръ, извлекая изъ одного музыкальнаго инструмента звукъ, одинаковый со звукомъ жилы, измѣнилъ послѣднюю такъ, что ея

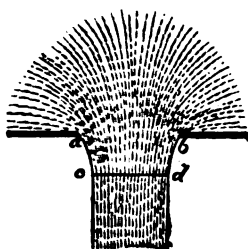
желудки и узлы получили большую правильность, а прозрачная часть почти совершенно исчезла.

Наконецъ этотъ же ученый нашелъ, что сопротивленіе воздуха не оказываетъ вліянія на форму и размѣры жилы точно также, какъ и на число толчковъ. Онъ замѣтилъ также, что образованіе горизонтальныхъ или наклонныхъ жилъ не отличается существенно отъ образованія жилъ, падающихъ вертикально.

Смѣтис
жилы.

Во время истеченія жидкости чрезъ круглыя отверстія въ тонкой стѣнкѣ, жила сохраняетъ по длинѣ своей круглую форму, такъ что вездѣ въ поперечномъ разрѣзѣ даетъ круги; но діаметръ у этихъ круговъ неодинаковъ. Сначала онъ равенъ діаметру отверстія, потомъ онъ быстро уменьшается и на разстояніи, почти равномъ діаметру отверстія, сѣченіе жилы даетъ уже только около $\frac{2}{3}$ сѣченія въ отверстіи. Если жила направлена сверху внизъ, какъ показано на фиг. 476-й, то уменьшеніе діаметра продолжается медленно до самой непрозрачной части. Если она горизонтальна, то уменьшеніе продолжается нечувствительно. Если наконецъ она направлена снизу вверхъ подъ угломъ между 25° и 45° , то она чувствительно сохраняетъ тотъ же діаметръ. Но когда уголъ наклоненія превышаетъ 45° , то сѣченіе жилы увеличивается отъ сжатой части до непрозрачной. Слѣдовательно есть сѣченіе меньше своего предъидущаго и послѣдующаго; оно называется *сжатымъ сѣченіемъ*.

Сжатіе жилы происходитъ отъ сходящихся направленій, которыя принимаютъ частицы жидкости внутри сосуда при стремленіи своемъ къ отверстию (фиг. 478).

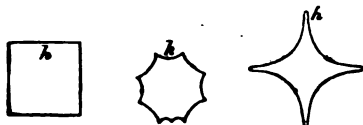


Для нагляднаго обнаруженія этого явленія опускаютъ въ воду какія нибудь легкія, нетонущія въ ней вещества и производятъ истечение жидкости изъ прозрачнаго сосуда съ тонкими стѣнками. Если отверстіе имѣетъ одинъ сантиметръ въ діаметрѣ, то видно какъ, на разстояніи 2 или 3 сантиметровъ отъ него, частицы воды направляются со всѣхъ сто-

ронъ къ этому отверстию, описывая кривыя линіи и стремясь къ нему какъ бы къ центру притяженія. Эти направленія продолжаютъ нѣсколько и внѣ сосуда, и отъ того водяная жила постепенно суживается до той точки, въ которой частицы воды, отъ взаимнаго дѣйствія другъ на друга, принимаютъ параллельныя или расходящіяся направленія. Жила образуетъ такимъ образомъ родъ усѣченнаго конуса, котораго основаніе есть отверстіе, а площадь сѣченія—сжатое сѣченіе.

До сихъ поръ мы предполагали, что отверстіе кругло. Если же оно представляетъ многоугольникъ или имѣетъ другую какую нибудь форму, отличную отъ круга, то струя не сохраняетъ уже формы отверстія и видъ жилы послѣдовательно измѣняется по мѣрѣ удаленія

Фиг. 479, 480 и 481.



отъ отверстія; но и при этомъ случаѣ вода образуетъ желудки и узлы. Жила, выходящая въ горизонтальномъ направленіи изъ квадратнаго отверстія, имѣетъ въ различныхъ удаленіяхъ отъ послѣдняго разрывы, представленные на фиг. 479, 480 и 481.

§ 155. Посмотримъ теперь, по какимъ законамъ совершается скорость истечения изъ отверстія въ тонкой стѣнкѣ. Если бы слой жидкости $acdb$ (фиг. 482), находящійся надъ отверстіемъ ab , могъ падать свободно книзу, не претерпѣвая давленія частицъ, находящихся надъ нимъ, то на основаніи законовъ свободного паденія тѣлъ, онъ долженъ вытекать изъ сосуда со скоростью, соответствующую его высотѣ.

Фиг. 482.



Поэтому, если h есть высота слоя ac , то скорость $v = \sqrt{2gh}$.

Но какъ слой этотъ выноситъ давленіе верхнихъ частицъ, то и скорость его зависитъ не отъ одной только высоты его ac , но отъ цѣлаго столба $axgb$, лежащаго отвѣсно надъ нимъ. Это показываетъ, что скорость истечения воды изъ всякаго сосуда должна уменьшаться по мѣрѣ уменьшенія высоты заключающейся въ немъ воды.

Слѣдовательно ускоряющая сила тяжести g будетъ относиться къ ускоряющей силѣ g' , служащей причиною дѣйствительнаго паденія частицъ жидкости, какъ ac къ ax , или какъ h къ z , гдѣ подъ z разумѣется высота давленія,

Ско-
рость
истече-
нія жид-
кости
изъ от-
верстій.

т. е. $h:s = g:g'$; откуда ускоряющая сила, дѣйствующая на вытекающій слой жидкости, или $g' = \frac{g}{h} \cdot s$. Но если ускоряющая сила, дѣйствующая на вытекающій слой, равна не g , но g' , то скорость истечения $v' = \sqrt{2g'h}$, и если мы въ эту величину для v' вставимъ выраженіе, полученное для g' , то будемъ имѣть для скорости истечения $v' = \sqrt{2gs}$.

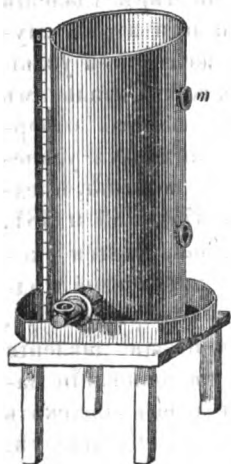
А какъ это выраженіе соотвѣтствуетъ скорости приобрѣтенной тѣломъ, падающимъ съ высоты s , то мы можемъ вывести для скорости истечения жидкостей изъ отверстій слѣдующій законъ:

Частицы жидкости, выходя изъ отверстія, имѣютъ скорость, соотвѣтствующую скорости тѣла, падающаго свободно въ пустотѣ съ высоты равной разстоянію отъ центра отверстія до поверхности жидкости въ сосудѣ.

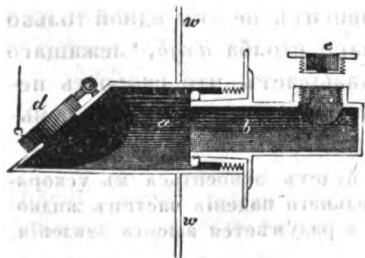
Законъ этотъ, извѣстный подъ именемъ торричеліевой теоремы, былъ выведенъ итальянскимъ ученымъ Торричелли въ 1643 г.

Для повѣрки торричеліевой теоремы на опытѣ употребляютъ сосудъ, котораго объемъ значительно превышаетъ величину отверстія. Отверстія, устроиваемыя какъ въ днѣ, такъ и въ бокахъ сосуда, состоятъ изъ приставленныхъ тонкихъ металлическихъ пластинокъ, потому что, если эти отверстія находятся въ толстой стѣнѣ, то скорость истечения значительно бы уменьшилась отъ тренія объ стѣнѣ отверстія. Весьма удобенъ для опытовъ надъ истеченіемъ жидкостей сосудъ представленный на фигурѣ 483-й.

Фиг. 483.



Фиг. 484.



Онъ состоитъ изъ жестянаго цилиндра со стеклянной трубкой, означающей въ цилиндрѣ уровень воды, который легко замѣтить по дѣленіямъ вертикальной скалы, приставленной къ трубкѣ. Въ боковой стѣнѣ сосуда устроено два отверстія m и n ; первое изъ нихъ лежитъ въ разстояніи 4, а послѣднее въ разстояніи 16 дюймовъ отъ верхней точки скалы или отъ нуля. Третье отверстіе находится на днѣ сосуда, а чтобы дать возможность водѣ истекать изъ этого отверстія, продѣлываютъ дыру въ срединѣ стола, на которомъ лежитъ сосудъ. Четвертое отверстіе c сдѣлано въ короглой горизонтальной трубкѣ, вращающейся на горизонтальной оси для того, чтобы можно было давать вытекающей струѣ произвольное наклоненіе къ горизонту. Устройство этой

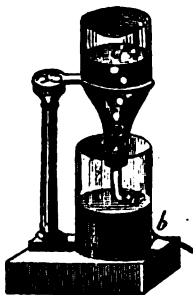
послѣдней трубки для большей ясности представлено особо на фиг. 484. Черезъ боковую стѣнку w проходитъ трубка a , оканчивающаяся раздѣленнымъ кругомъ. Въ эту трубку входитъ другая трубка b , вращающаяся на своей оси. Съ помощью вращенія трубки b можно обращать отверстіе c

кверху, книзу и вбокъ. — Раздѣленный кругъ, находящійся на концѣ трубки *a*, служитъ для точнаго расположенія отверстія, изъ котораго вытекаетъ вода. Точно такія же трубки вставляются въ отверстія *m* и *n*. Клапанъ *d*, поднимающійся посредствомъ бичевки, позволяетъ по произволу прекращать и возстановлять истеченіе воды.

Описанный нами приборъ для повѣрки торричеліевой теоремы имѣетъ то неудобство, что по мѣрѣ истеченія жидкости изъ сосуда высота ея постепенно уменьшается. Слѣдовательно, желая сравнить количества воды, вытекающей въ теченіи извѣстнаго времени изъ двухъ сосудовъ, имѣющихъ одинаковое отверстіе и двѣ различныя высоты жидкостей, мы встрѣчаемъ то неудобство, что поверхность воды постоянно понижается въ каждомъ изъ нихъ, а вмѣстѣ съ этимъ пониженіемъ должна измѣняться во время опыта самая скорость истеченія. Для устраненія этого неудобства прибѣгаютъ къ сосудамъ, дающимъ постоянную скорость истеченія, т. е. къ такимъ сосудамъ, которые позволяютъ сохранять неизмѣнно высоту жидкости надъ отверстіемъ. Этого достигаютъ многими способами:

1) Наливая въ резервуаръ воды нѣсколько больше противу того, сколько вытекаетъ ея чрезъ отверстіе; избытокъ стекаетъ или чрезъ край, или чрезъ сдѣланное для того особенное отверстіе.

2) Средствомъ прибора представленнаго на фиг. 485-й. Онъ состоитъ изъ слѣдующимъ образомъ: наполненную водою стеклянку с опрокидываютъ книзу такимъ образомъ, чтобы служенное



отверстіе трубки, воткнутой въ пробку, погружалось нѣсколько ниже поверхности воды, находящейся въ стаканѣ *a*. По мѣрѣ убыли воды чрезъ отверстіе трубки *b*, стаканъ наполняется свѣжимъ количествомъ ея изъ стеклянки *c*, потому что изъ трубокъ обоихъ сосудовъ вытекаетъ одновременно равное количество воды. А какъ высота давленія въ сосудѣ *a* остается по-

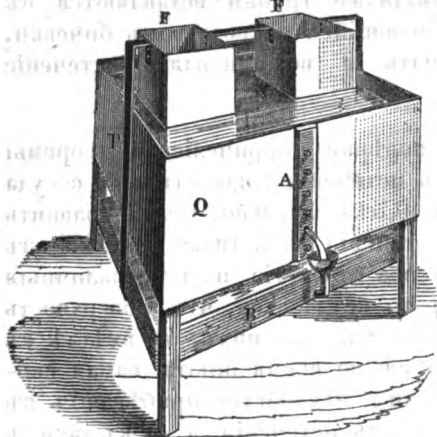
стоянно одна и таже, то ясно, что и самая скорость истеченія будетъ одинакова.

Какъ истеченіе изъ сосуда *c* происходитъ равномерно, то очевидно, что количество вытекающей изъ него воды можетъ служить измѣреніемъ для времени. Если на приборѣ *c* провести равныя дѣленія, то онъ представитъ собою *водные часы*, имѣющіе сходство съ *песочными часами*, представленными на фиг. 486.



3) Посредствомъ плавательнаго прибора Прони. Этотъ приборъ, представленный на 487-й фиг.,

Фиг. 487.



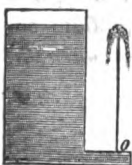
состоитъ изъ наполненнаго водою резервуара PQ , въ которомъ находятся два плователя F, F , соединенныхъ между собою желѣзною полоскою, продолженною и загнутаю съ обѣихъ концовъ для поддержанія другаго подвижнаго резервуара B , лежащаго подъ PQ . Резервуаръ B составляетъ одно цѣлое съ ящиками F, F . Въ доскѣ A , составляющей часть стѣнки резервуара PQ , продѣлано нѣсколько отверстій различной величины. Устроенная подъ ними воронка проводитъ вытекающую жидкость въ

резервуаръ B . Положимъ, что открыто одно изъ отверстій доски A и что изъ него выпущенъ одинъ фунтъ воды въ резервуаръ B ; ясно, что отъ этого долженъ увеличиться однимъ фунтомъ вѣсъ соединенныхъ съ нимъ плователей: однимъ словомъ, вѣсъ резервуара и плователей постоянно увеличивается вѣсомъ воды, выпущенной изъ резервуара PQ . Это увеличеніе вѣса, на основаніи законовъ равновѣсія плавающихъ тѣлъ, заставляетъ ящики F и F погружаться все болѣе и болѣе, по мѣрѣ продолженія истеченія воды изъ резервуара PQ . Но чѣмъ глубже погружается тѣло въ воду, тѣмъ, какъ мы уже знаемъ, большее количество вытѣсняется имъ. Слѣдовательно ящики F и F , по прошествіи извѣстнаго времени, должны вытѣснить объемъ воды, который болѣе противу первоначально вытѣсненнаго объема вѣсѣмъ объемомъ жидкости, выпущенной въ это время изъ резервуара PQ . Отсюда слѣдуетъ, что поверхность воды въ сосудѣ PQ будетъ оставаться постоянною.

4) Съ помощію сифона и мариоттовоу стеклянки, описаніе которыхъ мы сдѣлаемъ впослѣдствіи.

Самая же повѣрка скорости истеченія производится на опытъ различными способами.

1) Первый способъ, заключающійся въ разсмотрѣніи вертикальной жиы основанъ на томъ, что всякое тѣло, брошенное съ извѣстною скоростью снизу вверхъ, поднимается до высоты, которая необходима для того, чтобы падающее съ ней тѣло могло приобрѣсти ту же самую



Фиг. 488. скорость. Представимъ себѣ, что истеченіе производится снизу вверхъ, какъ показываетъ фиг. 488; мы увидимъ, что лучъ воды достигнетъ почти до высоты жидкости въ сосудѣ и если онъ не достигаетъ этой высоты совершенно, то это происходитъ отъ сопротивленія воздуха и отъ столкновенія частицъ обратно падающей жид-

кости. А если лучъ воды достигаетъ одной высоты съ жидкостію въ сосудѣ, то это значить, что при самомъ поднятіи своемъ онъ обладалъ тою скоростію, которая соотвѣтствуетъ высотѣ паденія тѣла, опускающагося отъ поверхности жидкости до точки исхода луча.

На этомъ основано устройство *естественныхъ фонтановъ*. Выходящая изъ приставной трубки вода при поднятіи своемъ встрѣчаетъ сопротивленіе со стороны воздуха, обратно падающей воды и потому не можетъ достигнуть должной высоты, чему препятствуетъ также треніе и прилипаніе воды къ стѣнкамъ трубки. Обстоятельство это заставляетъ давать иногда восходящему лучу не отвѣсное, но наклонное положеніе. Для полученія наибольшей высоты жилы, діаметръ проводныхъ трубокъ долженъ возрастать вмѣстѣ съ ихъ длиною. Отверстія лучше дѣлать въ тонкой стѣнѣ, потому что въ нихъ жила поднимается на большую высоту и бываетъ правильнѣе и прозрачнѣе. Коническія трубки также даютъ струи цѣльныя и прозрачныя, но высота жилы въ нихъ составляетъ только отъ 0,8 до 0,9 высоты струи изъ отверстія въ тонкой стѣнкѣ. Цилиндрическія трубки не даютъ прозрачныхъ струй и высота ихъ соотвѣтствуетъ 0,66 высотѣ струй изъ тонкихъ стѣнокъ.

Фонтан-
ны.

Въ городахъ, къ которымъ невозможно провести воду изъ достаточно возвышающихся водохранилищъ, вода собирается въ высоко помѣщенные резервуары посредствомъ насосовъ, значеніе которыхъ будетъ объяснено нами впоследствии. Изъ резервуаровъ же проводить воду въ дома или въ другіе бассейны посредствомъ трубъ.

Воды рѣкъ, озеръ и даже морей проходятъ весьма часто чрезъ различныя разщелины, соединяющіяся или со дномъ, или съ боками бассейновъ ихъ, во внутренность прилежащаго къ нимъ материка. Эта вода, находящаяся на извѣстной глубинѣ подъ землею, стремится достигнуть до одинаковой высоты съ водами рѣкъ, озеръ и морей, находящихся въ соединеніи съ нею. Вотъ почему вода колодцевъ, лежащихъ вблизи питающихъ ихъ бассейновъ, поднимается и опускается всякій разъ съ поднятіемъ и опусканіемъ воды въ послѣднихъ.

Вода, находящаяся внутри земли, можетъ пополняться тою водою, которая просачивается чрезъ землю послѣ дождя; достигнувъ большаго уровня противу общающагося съ нею бассейна, часть ея переходитъ къ послѣднему и незамѣтно увеличиваетъ количество заключающейся въ немъ воды.

Часть воды, падающая на землю въ видѣ дождя, просачивается обыкновенно въ ней до тѣхъ поръ, пока не встрѣтитъ такого слоя земли, который воспротивится дальнѣйшему проходу ея. Надъ этими слоями большею частію лежатъ скважистые слои земли. Вода проходитъ чрезъ послѣдніе и собирается въ нижнихъ частяхъ ихъ; отсюда она достигаетъ поверхности земли различнымъ образомъ; такъ напр. она выходитъ наружу или по горизонтальному, или по наклонному направленію. Въ другихъ же случаяхъ, пропускающіе ее слои имѣютъ форму сообщающейся трубки: вода, просачивающаяся по этимъ слоямъ, поднимается вверхъ и достигаетъ при этомъ иногда земной поверхности.

Такимъ образомъ происходятъ естественные ключи. Такіе водопроводные слои встрѣчаются весьма часто въ природѣ, иногда они попадаютъ въ промежутки между двумя другими слоями, непронускающими воду. Если прорыть отверстіе въ землѣ до встрѣчи съ низменными пунктами слоя, пропускающаго воду, то послѣдняя по закону соединяющихся трубокъ, будетъ стремиться къ достиженію одинаковаго уровня съ высшими точками слоя.

Прорытыя такимъ образомъ отверстія, составляютъ родъ колодцевъ, изъ которыхъ вода обыкновенно бьетъ вверхъ; такіе колодцы называются *артезианскими*, по имени старинной французской провинціи Артуа, гдѣ было устроено ихъ очень много. Въ провинціи этой встрѣчаютъ колодцы, орозованіе которыхъ относится къ концу XII вѣка. Но подобные колодцы были устраиваемы,

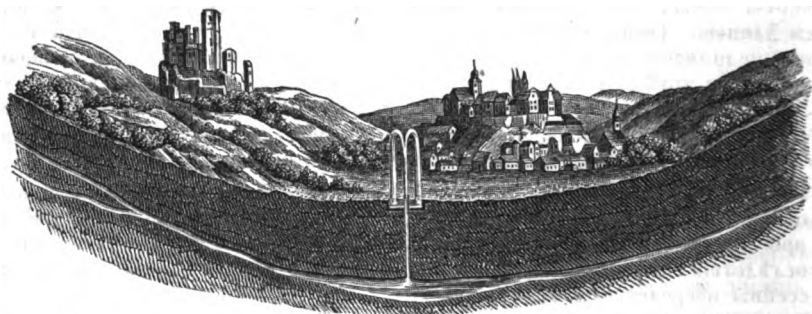
какъ извѣстно, гораздо ранѣе того въ Китаѣ и въ Египтѣ. Воды, питающія артезіанскіе колодцы, проходятъ иногда на протяженіи отъ 120 до 180 верстъ. Глубина же ихъ бываетъ весьма различна и измѣняется съ мѣстностію.

Извѣстный гренельскій колодезь, въ Парижѣ, имѣетъ до 548 метровъ глубины. Это одинъ изъ самыхъ глубокихъ и обильныхъ колодезевъ.

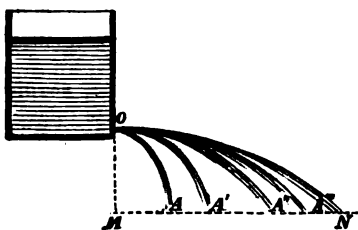
Вода, доставляемая имъ, во всякое время года равна 27° Ц. Основываясь на законѣ постепеннаго увеличенія температуры слоевъ земныхъ, мы имѣемъ право вывести заключеніе, что тѣже самые колодцы доставляли бы воду цѣлый круглый годъ въ 32°, если бы глубина ихъ была 15° метрами болѣе настоящей.

На фиг. 489-й представленъ разрѣзъ артезіанскаго колодца.

Фиг. 489.



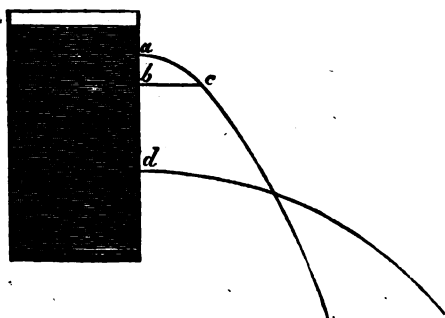
Второй способъ повѣрки торричеліевой теоремы заключается въ разсмотрѣніи горизонтальной жиы. Всякій лучъ воды, вытекающей по горизонтальному направленію, описываетъ параболу, которой видъ зависитъ отъ скорости истеченія. И въ самомъ дѣлѣ, при самомъ началѣ истеченія воды, какъ показываетъ фигура 490-я, мы получимъ параболу OA''' , видъ которой можетъ быть вычисленъ на основаніи уравненія, выведеннаго нами для скорости истеченія $v = \sqrt{2gh}$, гдѣ подъ h должно разумѣть отвѣсное разстояніе точки O отъ уровня воды въ сосудѣ. При постепенномъ уменьшеніи скорости мы увидимъ, что параболы будутъ постепенно



приближаться къ отвѣсной линіи OM . Если начертить на бумагѣ параболическій путь, который долженъ принимать лучъ вытекающей воды при извѣстномъ разстояніи отверстія отъ уровня воды, то по приложеніи листа бумаги къ вытекающему лучу, мы найдемъ согласіе теоретическаго вывода съ опытомъ.

Теоретическое начертаніе параболы производится слѣдующимъ образомъ.

Фиг. 491.



Если отверстіе a (фиг. 491) находится въ разстояніи 4' или $\frac{1}{2}$ фута подъ уровнемъ воды, то на основаніи торричеліевой теоремы скорость истеченія будетъ равна $\sqrt{2 \cdot 30 \cdot \frac{1}{2}} = 4,47'$. Слѣдовательно, если частицы воды въ извѣстный моментъ оставляютъ отверстіе, то по прошествіи секунды онѣ будутъ находиться въ разстояніи 4,47' отъ вертикальной стѣнки; въ $\frac{1}{10}$ секунды онѣ будутъ въ разстояніи $0,894' = 10,7''$. Въ $\frac{1}{10}$ секунды вода должна падать книзу на 7,2'', что

можно легко получить, вставивъ вмѣсто $t = 0,2$, а вмѣсто $g = 30$ въ уравненіе $s = g/2t^2$; поэтому, если начиная отъ отверстія a по вертикальному направленію отложить линію $ab = 7,2''$, то горизонтальная линія, проведенная изъ точки b , должна встрѣтить лучъ воды по прошествіи $1/10$ секунды въ разстояніи $10,7''$. При опытахъ отъ тренія величина bc получается менѣе найденной по вычисленію.

3) Можно повѣрить торричеліеву теорему также, принимая во вниманіе сжатіе жилы. Для этого вымѣряютъ количество воды, вытекающее съ постоянною скоростію изъ данного отверстія въ извѣстную единицу времени; потомъ, измѣряя сжатіе жилы квадратной единицей и помноживъ полученное число на скорость, вычисленную въ линейной мѣрѣ по торричеліевой теоремѣ, получаютъ въ кубической мѣрѣ объемъ равный тому, который мы получили отъ дѣйствительнаго измѣренія. Если обѣ эти величины согласны между собою, то ясно, что вычисленная скорость должна быть равна дѣйствительной.

§ 156. Изъ торричеліевой теоремы выводятся слѣдующія два заключенія:

1) Какъ всѣ тѣла падаютъ въ пустотѣ съ одинаковою скоростью, такъ и скорость истеченія не зависитъ отъ плотности жидкости. Вода и ртуть, напримѣръ, должны вытекать съ одинаковою скоростью, если только высота поверхности надъ отверстіемъ одинакова для обѣихъ жидкостей. Въ самомъ дѣлѣ, опытомъ доказано, что при равныхъ высотахъ и одинаковаго діаметра отверстій въ одно и тоже время вытекаютъ равные объемы этихъ жидкостей.

2) Скорости истеченія, при выходѣ изъ отверстій, пропорціональны квадратнымъ корнямъ изъ высоты поверхностей надъ центромъ отверстія.

Это значитъ, что если высоты водяной поверхности будутъ 49, 36, 25, 16, 9, 4 и 1, то скорости вытекающей воды будутъ относиться между собою какъ квадратные корни этихъ чиселъ, т. е. какъ 7, 6, 5, 4, 3, 2 и 1.

Выводъ этотъ есть прямое слѣдствіе законовъ дѣйствія тяжести. Дѣйствительно, мы видѣли, что если какое нибудь тѣло падаетъ въ пустотѣ, то скорость къ концу извѣстнаго времени пропорціональна квадратному корню изъ высоты паденія.

Если означимъ чрезъ v скорость въ отверстіи, чрезъ h вертикальное разстояніе его центра отъ поверхности жидкости, чрезъ g напряженіе тяжести, то получимъ $v = \sqrt{2gh}$. Таково выраженіе скорости, полученное изъ вычисленій.

На основаніи величины, выведенной нами для теоретической скорости, подъ количествомъ воды, вытекающимъ изъ отверстія и называемымъ обыкновенно *потерю*, должно разумѣть объемъ жидкости, равный объему цилиндра или призмы, имѣющей основаніемъ отверстіе, а высоту теоретическую скорость, полученную по торричеліевой теоремѣ. Поэтому потеря, выведенная теоретически, есть ни что иное, какъ произведеніе изъ площади отверстія на теоретическую скорость. Вычисленная такимъ образомъ *потеря* называется *теоретическою*, потому что на самомъ дѣлѣ объемъ жидкости, выходящей въ одну секунду и называемый *дѣйствительною потерю*, бываетъ менѣе противу того, какъ показываетъ вычисленіе.

Слѣд-
ствія изъ
торри-
челіевой
теоремы.

Эта разница между дѣйствительною и теорическою потерей показывается, что не всѣ водяныя частицы проходятъ чрезъ отверстіе со скоростію, соотвѣтствующею высотѣ давленія. Только посредніе сѣченія, сдѣланнаго въ отверстіи, частицы воды обладаютъ этою скоростію; скорость же частицъ по краямъ этого сѣченія должна быть менѣе, въ чемъ не трудно убѣдиться изъ слѣдующаго разсужденія.

Въ большомъ сосудѣ съ узкимъ отверстіемъ на днѣ, мы можемъ разсматривать всю воду, за исключеніемъ частицъ прилежащихъ къ самому отверстию, какъ за массу находящуюся въ покоѣ. Слои воды, вытекающіе другъ за другомъ, начинаютъ свое движеніе неодновременно; передніе слои пріобрѣтаютъ наибольшую скорость въ то время, когда задніе начинаютъ только двигаться. Вслѣдствіе того долженъ бы произойти разрывъ между слѣдующими другъ за другомъ слоями, если бы только могло между ними образоваться безвоздушное пространство. Но какъ это не можетъ произойти на самомъ дѣлѣ, то отдѣльные слои вытягиваются болѣе въ длину и уменьшаются въ поперечникѣ, по мѣрѣ же уменьшенія поперечника этихъ слоевъ, прибываютъ къ нимъ частицы воды съ боковъ. А какъ послѣдніе начинаютъ свое движеніе, перпендикулярное къ отверстию, только спустя извѣстное время, то очевидно, что онѣ должны прибывать къ отверстию съ меньшею скоростію противу центральныхъ частицъ.

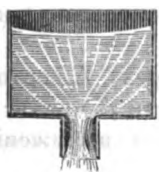
Такимъ образомъ въ моментъ оставленія отверстія, середина вытекающей струи имѣетъ скорость соотвѣтствующую высотѣ паденія, окружающія же ее частицы имѣютъ въ то же время меньшую скорость. Вслѣдствіе того количество вытекающей воды должно быть менѣе того, когда бы всѣ частицы воды въ отверстіи обладали одинаковою скоростію.

Уменьшеніе скорости частицъ струи, прилегающихъ къ краямъ отверстія, происходитъ также отъ тренія воды объ стѣнки сосуда. Число, на которое должно умножить дѣйствительную потерю, для того чтобы получить теорическую, называется *коэффициентомъ сжатія*.

Изъ многочисленныхъ опытовъ найдено, что дѣйствительная потеря среднимъ числомъ равна двумъ третямъ теорической потери, т. е. коэффициентъ равенъ $\frac{2}{3}$.

При-
ставимъ
трубки.

§ 157. Для увеличенія потери къ отверстиямъ придѣлываютъ прибавочныя трубки (Фиг. 492). Форма этихъ трубокъ можетъ быть весьма различна, но употребляются изъ нихъ только *цилиндрическія* и *коническія*.



Если вставить трубку въ отверстіе истеченія, то при этомъ могутъ быть два случая: или жидкость проходитъ въ трубкѣ не прилипа къ ней и тогда потеря не измѣняется, или жила прилипаетъ и въ

этомъ случаѣ, отъ дѣйствія взаимнаго притяженія частицъ стѣнокъ и жидкости, сжатая часть жилы расширяется и потеря увеличивается.

Въ цилиндрическихъ трубкахъ для усиленія потери необходимо, чтобы длина трубки была вдвое или втрое больше ея діаметра. Жидкость выходитъ тогда полною трубкою и потеря увеличивается одной третью.

Коническія трубочки, сходящіяся къ наружной части резервуара, увеличиваютъ потерю еще болѣе предъидущихъ. Онѣ даютъ струи весьма правильныя и выбрасываютъ ихъ на большее разстояніе или на большую высоту.

Потеря же, производимая ими, измѣняется вмѣстѣ съ сходящимся угломъ трубки, т. е. угломъ, который образуется чрезъ продолженіе двухъ противоположныхъ сторонъ конуса, составляющаго трубку.

Изъ всѣхъ этихъ трубокъ, наибольшую потерю производятъ коническія трубки, расходящіяся къ наружи. Вантюри вывелъ изъ своихъ опытовъ, что послѣднія трубки могутъ давать дѣйствительную потерю въ 2,4 больше потери, происходящей при истеченіи изъ отверстія въ тонкой стѣнкѣ, у котораго діаметръ равенъ діаметру сѣченія конуса, и въ 1,46 раза больше теорической потери.

Свойства этихъ трубокъ были извѣстны еще древнимъ Римлянамъ. Граждане, которымъ было позволено брать воду изъ общественныхъ резервуаровъ, нашли изъ опыта, что употребленіе этихъ трубокъ увеличиваетъ выгоды даннаго имъ позволенія; повсемѣстное употребленіе ихъ было наконецъ воспрещено закономъ.

Что же касается до скорости истеченія, то она, при цилиндрическихъ и коническихъ трубкахъ, уменьшается въ томъ же отношеніи, въ которомъ увеличивается количество вытекающей воды.

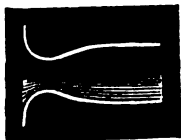
Причина этого заключается въ слѣдующемъ: прилипаніе воды къ стѣнкамъ сосуда не есть ускоряющая сила и потому оно не можетъ увеличивать количества движенія вытекающей воды. Если означимъ чрезъ M количество воды, вытекающей чрезъ отверстіе въ тонкой стѣнкѣ, чрезъ v соответствующую ему скорость, то произведение $M \cdot v$ представитъ намъ количество движенія. Если количество воды увеличится, т. е. если оно сдѣлается равнымъ напр. M' , то во столько же разъ должна уменьшиться соответственная скорость истеченія v , для того чтобы $M \cdot v = M' \cdot v'$, потому что въ противномъ случаѣ должно произойти измѣненіе въ количествѣ движенія.

Намъ остается теперь разсмотрѣть, какими образомъ приставныя трубки, увеличивая количество вытекающей воды, уменьшаютъ ея скорость.

Когда вода входитъ въ приставную трубку, то она претерпѣваетъ сжатіе точно также, какъ и при выходѣ изъ отверстія въ тонкой стѣнкѣ; но послѣ прикосновенія воды къ стѣнкамъ трубки, сила прилипанія заставляетъ воду наполнять совершенно внутреннее пространство трубки. Чрезъ это увеличенный трубкою разрѣзъ жилы принимаетъ большіе размѣры по выходѣ наружу противу того мѣста, гдѣ происходитъ сжатіе, какъ это видно изъ фиг. 493-й.

Въ существованіи самаго сжатія въ трубкѣ мы можемъ убѣдиться изъ того, что если дать приставной трубкѣ форму сжатого луча (фиг. 493), то истеченіе

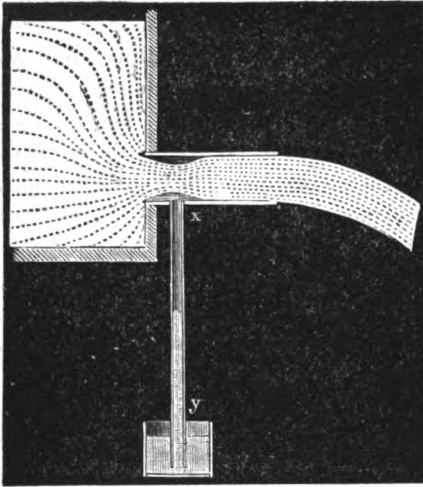
Фиг. 493. происходитъ точно также, какъ бы приставная трубка была совершенно цилиндрическая.



Если же частицы воды, наполняющія вѣсь разрѣзъ трубки, оставляли бы ее съ тою скоростью, съ которою онѣ проходили въ мѣстѣ наибольшаго сжатія, то вслѣдствіе того долженъ бы произойти разрывъ между слѣдующими другъ за другомъ слоями воды, потому что скорость частицъ послѣ каждаго мгновенія принимаетъ новое приращеніе. Этому разьединенію частицъ воды, а слѣдовательно образованію безвоздушнаго пространства, противится давленіе воздуха, которое, ускоряя притокъ водяныхъ частицъ въ трубку, замедляетъ вмѣстѣ съ тѣмъ выходъ ихъ. Давленіе воздуха задерживаетъ водяныя частицы до тѣхъ поръ, пока чрезъ то не сдѣлается полное истеченіе ихъ.

А что при этомъ дѣйствительно принимаетъ участіе давленіе воздуха, видно изъ слѣдующаго обстоятельства: количество воды, вытекающей въ безвоздушномъ пространствѣ, не увеличивается отъ приставленія трубокъ.

Фиг. 494.



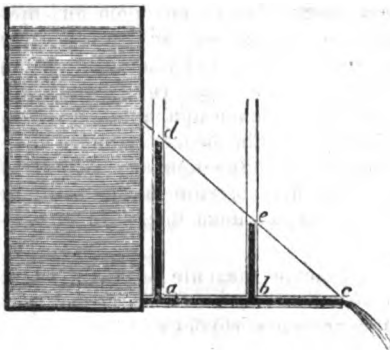
Если сдѣлать отверстіе въ боковой стѣнѣ приставной трубки, то чрезъ это отверстіе всасывается воздухъ и струя перестаетъ быть непрерывною. Если въ это отверстіе (фиг. 494) вставить трубку *ху*, нижній конецъ которой входитъ въ сосудъ съ водою, то въ горизонтальной трубкѣ образуется безвоздушное пространство, заставляющее воду подниматься вверхъ по трубкѣ *ху*. Обстоятельство это служитъ также доказательствомъ участія давленія воздуха въ разсмотрѣнномъ нами явленіи. Какъ коническая приставная трубка даетъ большую потерю противу цилиндрической, то она должна производить большее подніятіе воды въ трубкѣ *ху*.

Теченіе воды по тру- бамъ. § 158. Если жидкость вытекаетъ чрезъ трубку значительной длины, то истеченіе это происходитъ или отъ наклонности трубки, если она наклонена, или отъ какого нибудь давленія при началѣ трубки. Въ обоихъ случаяхъ вслѣдствіе непрерывнаго дѣйствія силы, движеніе должно ускоряться. Однако на весьма маломъ разстояніи отъ начала трубки замѣчаютъ, что движеніе становится равномернымъ, а это показываетъ, что есть какая-то сила постоянно уничтожающая ускореніе теченія.

Эта-то сила должна заключаться въ тѣхъ сопротивленіяхъ, которыя происходятъ отъ тренія между частицами жидкости и стѣнками сосуда. Такимъ образомъ, если найденная скорость истеченія чрезъ трубку въ половину менѣе противу той, которая соотвѣтствуетъ высотѣ давленія, то ясно, что одна половина давленія истратилась на преодоленіе тренія, и что только осталшая половина способствовала движенію жидкости.

Но это гидростатическое давленіе на стѣнки трубки не дѣйствуетъ одинаково во всѣхъ точкахъ ея; оно постепенно ослабѣваетъ по мѣрѣ приближенія своего къ наружному концу трубки.

Фиг. 495.



Если скорость, съ которою жидкость выходитъ у *с* (фиг. 495) изъ конца трубки, составляетъ $\frac{m}{n}$ часть той скорости, которая соотвѣтствуетъ высотѣ давленія, то стѣны трубки въ томъ мѣстѣ, гдѣ она прикасается къ резервуару, выдерживаютъ давленіе $1 - \frac{m}{n}$. Если напр. скорость истеченія у *с* = $\frac{1}{2}$ теорет. скорости, то давленіе на стѣнки у *а* = $\frac{1}{2}$ того давленія, которое соотвѣтствуетъ высотѣ давленія въ резервуарѣ. Если у *а* сдѣлать отверстіе и приставить въ этомъ мѣстѣ отвѣсную трубку, то

вода поднимется въ ней на высоту, соответствующую боковому давленію въ этомъ мѣстѣ; для взятаго выше примѣра высота водяного столба *ad* будетъ равна $\frac{1}{2}$ высоты давленія въ резервуарѣ.

Это давленіе, выносимое боковыми стѣнками у *a*, выражающее потерю скорости самого движенія, употребляется для побѣжденія тренія на всемъ протяженіи трубки отъ *a* до *c*. Если точка *b* лежитъ посрединѣ между *a* и *c*, то на пути отъ *b* до *c* должна быть побѣждена только половина того тренія, которое предстоитъ преодолѣть водѣ на пути отъ *a* до *c*; поэтому въ *b* гидростатическое давленіе, выносимое стѣнками, вполнину менѣ давленія соответствующаго точкѣ *a*; въ отвѣсной трубкѣ, приставленной къ *b*, вода поднимется на высоту $eb = \frac{1}{2} ad$. Если приставить отвѣсную трубку къ любому мѣсту трубки *ac*, то уровень поднятой воды означится линіею *cd*.

Кромѣ сопротивленія, происходящаго отъ тренія, есть еще другія препятствія, состоящія въ изворотахъ и стѣсненіяхъ проводящей трубки: первое изъ нихъ всегда имѣетъ наибольшее вліяніе. Отъ этихъ различныхъ сопротивленій скорость истеченія, а слѣдовательно и потеря, можетъ сдѣлаться въ трубкахъ гораздо менѣе, чѣмъ при истеченіи изъ отверстія въ тонкой стѣнкѣ.

§ 159. Разсмотримъ теперь истеченіе чрезъ волосныя трубки, которыя, какъ мы уже знаемъ, суть трубки съ весьма малымъ діаметромъ. Явленія, обнаруживаемыя трубками, въ особенности заслуживаютъ вниманія по приложеніямъ своимъ въ физиологій. Докторъ Пуазель произвелъ по этому предмету множество любопытныхъ опытовъ, измѣняя длину трубокъ, ихъ діаметръ и давленіе, опредѣляющее истеченіе. Производя опыты надъ стеклянными трубками, онъ нашелъ три слѣдующіе закона.

- 1) Для одной и той же трубки потеря пропорціональна давленію.
- 2) При равныхъ давленіи и длинѣ трубки, потеря пропорціональна діаметру въ четвертой степени.
- 3) Для одного и того же давленія и одинаковаго діаметра потеря обратно пропорціональна длинѣ.

Пуазель кромѣ того открылъ, что скорость истеченія измѣняется со свойствами жидкости. Водяной растворъ азотнокислаго кали увеличиваетъ истеченіе; напротивъ того, спиртъ замедляетъ его. Сукровица течетъ почти вдвое медленнѣе воды; смѣшанная со спиртомъ она течетъ еще медленнѣе; но если къ этой смѣси прибавить азотнокислаго кали, то сукровица принимаетъ прежнюю скорость.

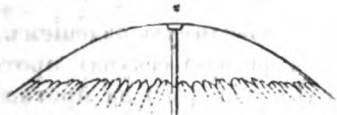
Опыты эти были производимы надъ стеклянными трубками; но спрашивается теперь, получимъ ли мы тѣже результаты для волосныхъ сосудовъ органическихъ тѣлъ? Охлаждая мертвыхъ животныхъ до окружающей ихъ температуры и впуская въ главную артерію какого нибудь органа сукровицу, доказали, что азотнокислое кали облегчаетъ истеченіе въ волосныхъ сосудахъ органическихъ тѣлъ лишенныхъ жизни, также какъ и въ стеклянныхъ трубкахъ, а спиртъ, напротивъ, замедляетъ его.

Эти факты доказываютъ, что обращеніе крови въ артеріяхъ и венахъ подвержено тѣмъ же законамъ, какъ и истеченіе жидкостей въ волосныхъ трубкахъ. Изъ этого видно, какъ важно принимать въ расчетъ физическія силы при изученіи физиологическихъ явленій.

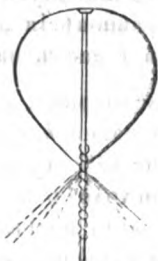
§ 160. Представимъ себѣ висячій стаканъ или другой сосудъ, на-Бокоее давленіе. полненный водою (фиг. 496). Очевидно, онъ будетъ находиться въ покоѣ, потому что всѣ боковыя давленія на стѣны его уничтожатся равными давленіями съ противоположныхъ сторонъ. Но если въ какомъ либо мѣстѣ боковой части сосуда сдѣлать отверстіе, то вода устремится изъ него. Понятно, что давленіе въ этомъ мѣстѣ будетъ совсѣмъ уничтожено, между тѣмъ какъ на сторону противоположную отверстию давленіе будетъ уже увеличено вдвое противу прежня-

отъ отверстія, струя постепенно переходитъ въ положенія, означенныя на фигурахъ 501-й и 502-й.

Фиг. 501.



Фиг. 502.



Подобныя явленія замѣчаютъ при удареніи восходящихъ лучей о пластинки; точно также, если два луча встрѣчаются между собою.

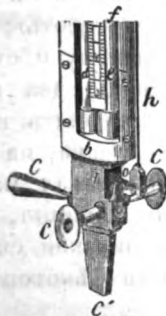
§ 162. Вслѣдствіе тяжести вода стремится постоянно стекать съ высокаго мѣста на низкое; если ничто не противодѣйствуетъ этому стремленію, то происходитъ дѣйствительно теченіе воды. Если мы въ водѣ, текущей по скату, возьмемъ двѣ точки, изъ которыхъ одна лежитъ выше другой, то высота первой точки надъ второю называется *падениемъ*. Отъ величины паденія очевидно зависитъ и самая скорость теченія воды. Скорость эта опредѣляется различнымъ образомъ, такъ наприм. если ширина рѣки однообразна на значительномъ протяженіи, то скорость теченія ея узнаютъ по количеству футовъ, проходимыхъ въ извѣстный промежутокъ времени тѣломъ, плавающимъ на ней. Когда же желаютъ найти скорость воды на извѣстной глубинѣ, то обыкновенно употребляютъ для этого приборъ Фиг. 503. *Пито* (Фиг. 503). Нижняя часть прибора, для большей

Вѣдѣніе
падѣнія
на ско-
рость
теченія.



ясности, представлена въ увеличенномъ видѣ (Фиг. 504). Онъ состоитъ изъ деревянной линейки *a*, имѣющей на оконечности мѣдную оправу *b*, къ которой привинчиваются три поперечныя трубки *c, c, c*. Одна изъ нихъ соединяется со стеклянною трубкою *d*, между тѣмъ, какъ двѣ другія имѣютъ соединеніе съ стеклянною трубкою *e*. Между обѣими трубками *d* и *e*, прикрепленными къ линейкѣ *a*, находится мѣдный масштабъ *f*, раздѣленный на дюймы и линіи. — Сообщеніе стеклянныхъ трубокъ съ соответст-

Фиг. 504.



венными трубками *c, c, c*, можетъ быть, по произволу, возобновляемо и прерываемо оборотами винта, поворачиваемаго посредствомъ проволоки *h* и небольшого рычага *o*. — При употребленіи прибора отворяется винтъ и линейка погружается до извѣстной глубины въ воду, такимъ образомъ, чтобы одна изъ трубокъ *c* была обращена противу теченія, а двѣ другія поперекъ къ нему. — На основаніи закона равнаго давленія вода входитъ въ послѣд-

нѣмъ и останавливается въ трубкѣ e у точки m — противу уровня воды въ рѣкѣ; вслѣдствіе же напора теченія вода проходитъ черезъ трубку c , соединяющуюся съ d и останавливается у точки n . По восстановленіи равновѣсія запирають винтъ. Разность уровней въ обѣихъ трубкахъ d и e дастъ намъ возможность судить о быстротѣ теченія.

Работа
произ-
водимая
падаю-
щимъ.

§ 163. Разсмотримъ теперь работу производимую паденіемъ воды. Если паденіе равно h футамъ и если въ каждую секунду протекаетъ одинъ кубическій футъ воды, то вслѣдствіе того на протяженіи h футовъ происходитъ въ секунду постоянное давленіе, равное вѣсу кубическаго фута воды. Поэтому работа, произведенная водою, равна произведенію изъ h на число выражающее вѣсъ кубическаго фута воды.

Если протекаетъ Q кубическихъ футовъ въ секунду, то произведенная работа будетъ $h \cdot Q$ помноженное на вѣсъ кубическаго фута воды. Понятно, что эту работу, какъ и всякую другую, можно выразить въ пудофутахъ. Если бы работу, производимую паденіемъ воды, можно бы было сообщить безъ всякой потери машинѣ, то работа, производимая машиною, равнялась бы совершенно работѣ паденія воды. Но не одинъ изъ придуманныхъ доселѣ гидравлическихъ двигателей не въ состояніи развить такой работы и можно даже сказать, что никогда не удастся изобрѣсти такое устройство, которое бы въ состояніи было принять всю работу паденія воды и передать эту работу въ неизмѣнномъ видѣ другимъ двигателямъ. При большей части водяныхъ машинъ пропадаетъ значительное число водяныхъ частицъ падающихъ на сторону, чрезъ что неизбѣжно терпится для гидравлическаго двигателя та работа, которую бы они въ состояніи были произвести.

Хотя въ нѣкоторыхъ машинахъ неудобство это можно считать почти устраненнымъ, но и при нихъ встрѣчаются сопротивленія, поглощающія извѣстную часть работы паденія воды, чрезъ что работа, которую могутъ производить эти машины или такъ называемое полезное дѣйствіе никогда не передаетъ всей работы паденія воды.

Не имѣя возможности устроить машину для полной передачи работы двигателя, мы должны придавать гидравлическимъ машинамъ такое устройство, которое бы по возможности приближалось къ выполненію цѣли ихъ.

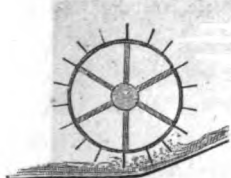
Вода, падающая съ извѣстной высоты, достигаетъ съ нѣкоторою скоростію машины устроенной для передачи ея работы; по произведеніи полезнаго дѣйствія вода оставляетъ машину и стекаетъ далѣе книзу. При этомъ должны быть выполнены два главнѣйшія условія. Вопервыхъ, расположеніе машинъ должно быть таково, чтобы вода дѣйствовала на машину безъ всякаго удара, на произведеніе котораго очевидно должна быть потеряна извѣстная часть полезной работы. Во вторыхъ, вода по остановленіи машины, передъ самымъ стокомъ своимъ книзу не должна имѣть никакой скорости, потому что эта скорость въ состояніи произвести нѣкоторую работу, которая остается утраченною для машины.

§ 164. Мы рассмотримъ здѣсь въ общихъ чертахъ главнѣйшіе гидравлическіе движители. Между ними наибольшее примѣненіе въ общежитіи имѣютъ гидравлическія колеса.

Они бываютъ вертикальными и горизонтальными; первыя изъ нихъ вращаются на лежащихъ или горизонтальныхъ осяхъ, а послѣднія на стоячихъ или отвѣсныхъ осяхъ.

Начнемъ съ вертикальныхъ колесъ, между которыми три главныхъ: снизу бьющееся колесо, среди бьющееся колесо и сверху бьющееся колесо; различія эти основаны на томъ, какимъ образомъ вода падаетъ въ колесо. У снизу бьющагося колеса вода дѣйствуетъ на нижнія лопатки, у среди бьющагося — вода течетъ въ половину высоты колеса, и наконецъ, у сверху бьющагося — она дѣйствуетъ на верхнюю часть колеса.

Фиг. 505.



У снизу бьющагося колеса (фиг. 505) лопатки расположены перпендикулярно къ окружности колеса; нижнія лопатки погружены въ воду, которая течетъ съ известною скоростью, согласно высотѣ паденія.

Это то теченіе воды и приводитъ колесо въ движеніе, и сообщаетъ ему известную скорость вращенія.

Если бы вода должна была сообщать колесу скорость равную той, съ которой бы она протекала въ томъ случаѣ, когда бы не было колеса на пути ея

движенія, то очевидно, что колесо не должно оказывать этому движенію никакого сопротивленія, оно не должно быть вовсе обременено другою работою; слѣдовательно въ этомъ случаѣ оно не въ состояніи будетъ произвести никакого механическаго дѣйствія: полезное дѣйствіе его будетъ равно нулю.

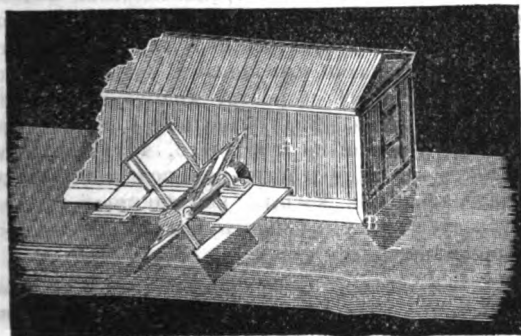
Съ другой стороны, если обременить такъ сильно колесо, чтобы вода не въ состояніи была привести его въ движеніе, то падающая вода должна ограничиться только статическимъ давленіемъ, которое будетъ только удерживать въ равновѣсіи тяжесть обременяющую колесо. Въ этомъ случаѣ полезное дѣйствіе также равно нулю.

Изъ этихъ разсужденій слѣдуетъ, что колесо можетъ произвести полезное дѣйствіе только въ томъ случаѣ, когда оно движется со скоростью меньшею противу свободно текущей воды. Какъ вычисленія, такъ и опыты, произведенные съ помощью динамометра, показываютъ, что колесо производить невыгоднѣйшее дѣйствіе только въ томъ случаѣ, когда скорость колеса въ половину менѣе противу той, которая соотвѣтствуетъ высотѣ паденія.

Изъ этого слѣдуетъ, что у обыкновеннаго снизу бьющагося колеса можетъ быть употреблена съ пользою только половина механическаго дѣйствія паденія; вода оставляющая колесо сохраняетъ еще половину той скорости, которая соотвѣтствуетъ высотѣ паденія.

Но на самомъ дѣлѣ нельзя достигнуть даже и половиннаго полезнаго дѣйствія вслѣдствіе растраты нѣкоторыхъ частицъ воды, вслѣдствіе прилипанія, тренія и другихъ причинъ. Производя опыты

Фиг. 506.



наблюдая, у котораго не пропадаетъ сбоку известнаго количества воды, нашли, что полезное дѣйствіе его $\approx 0,3$ полнаго дѣйствія соотвѣтствующаго высотѣ паденія.

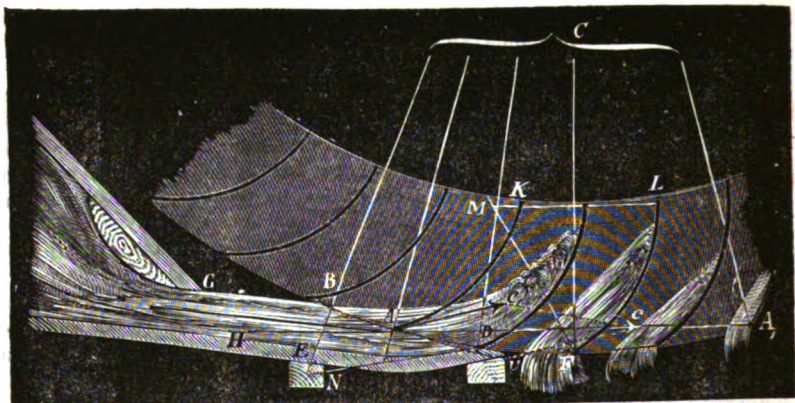
Въ колесахъ же неосвобожденныхъ отъ боковой растраты воды, какъ наприм. на мельницахъ (фиг. 506), расположенныхъ на судахъ, полезное дѣйствіе еще болѣе удаляется отъ полнаго дѣйствія.

Причина этихъ невыгодъ снизу бьющагося колеса, у ко-

того лопатки расположены перпендикулярно къ теченію воды, заключаются очевидно въ томъ, что вода тратитъ часть полезнаго дѣйствія при ударѣ ея объ колесо и что по оставленіи колеса она сохраняетъ еще нѣкоторую скорость. Для устраненія этихъ неудобствъ, французскій инженеръ Понселе предложилъ устраивать *кривыя* лопатки, полезное дѣйствіе которыхъ ближе подходитъ къ полному дѣйствію паденія.

Если бы вода должна была передавать колесу движеніе безъ удара, то очевидно, что лопатки должны быть расположены по направленію касательныхъ къ окружности колеса, потому что въ этомъ случаѣ вода будетъ встрѣчать не плоскость, но ребро лопатки (фиг. 507). Желая же устроить лопатки на

Фиг. 507.

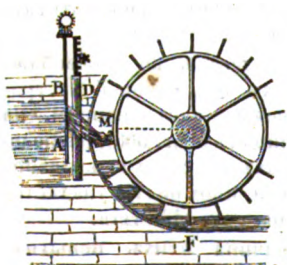


самомъ дѣлѣ такъ, чтобы онѣ выполняли это условіе, мы встрѣчаемъ новое неудобство: это препятствіе къ выходу воды изъ лопатки; съ другой стороны вода не должна передавать колесу всей своей скорости, потому что въ такомъ случаѣ она не будетъ имѣть возможности для дальнѣйшаго стока съ колеса. Поэтому и колеса Понселе даютъ неизбежно нѣкоторую потерю работы, кромѣ потери причиняемой посторонними сопротивленіями.

Колеса Понселе съ кривыми лопатками даютъ полезное дѣйствіе, равное отъ $\frac{1}{2}$ до $\frac{3}{4}$ полного дѣйствія паденія. Это увеличенное дѣйствіе колесъ Понселе, кромѣ незначительности удара, зависитъ отъ того, что вода при восхожденіи по кривой лопаткѣ теряетъ большую часть скорости, передавая ее колесу.

Вообще снизу бьющіеся колеса устраиваются въ томъ случаѣ, когда хотятъ воспользоваться низменнымъ положеніемъ воды.

При большемъ возвышеніи уровня воды устраиваютъ средибьющееся колесо (фиг. 508). Фиг. 508.



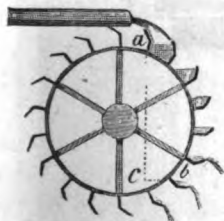
При большемъ возвышеніи уровня воды устраиваютъ средибьющееся колесо (фиг. 508). Вода течетъ въ этомъ случаѣ на половину высоты колеса, къ окружности котораго приделаны лопатки или ящики; ударяющая въ нихъ вода, кромѣ скорости, дѣйствуетъ также своею тяжестью. Вода наполняетъ послѣдовательно эти ковши по мѣрѣ того, какъ они прибываютъ къ тому мѣсту, гдѣ вода падаетъ на колесо. Каждый ковшъ, наполненный водою, опускается книзу и передъ поднятіемъ своимъ освобождается отъ воды.

При устройствѣ этого колеса должно наблюдать, чтобы вода выливалась изъ каждого ковша

по возможности въ самомъ низу, потому что въ противномъ случаѣ не будетъ употреблена въ дѣйствіе полная работа воды.

Колесо съ ковшами даетъ тѣмъ лучше результаты, чѣмъ медленнѣе оно двигается; во первыхъ, потому, что при медленности движенія вода будетъ производить наименьшій ударъ; во вторыхъ, при быстромъ вращеніи образуется центробѣжная сила, которая поднимаетъ воду въ ковшахъ и заставляетъ ее выливаться наружу прежде достиженія ковшами низшей точки ихъ пути. Хорошо устроенныя колеса съ ковшами даютъ 0,75 частей полного полезнаго дѣйствія. Наибольшее благоприятное дѣйствіе этихъ колесъ обнаруживается при высотѣ паденія въ 5 футовъ.

Фиг. 509.



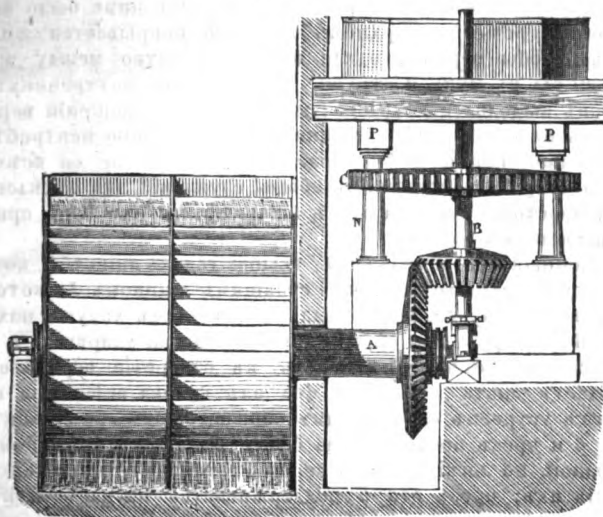
Но если высота паденія значительнѣе, напр. отъ 10 до 12 фут., то устраиваютъ сверху-бьющіяся колеса (фиг. 509), въ которыхъ лопатки расположены также ковшами. Дѣйствіе этихъ колесъ одинаково съ предыдущими, точно также какъ и условія, необходимыя для доставленія имъ наибольшаго полезнаго дѣйствія.

Гидравлическія колеса имѣютъ наибольшее примѣненіе при устройствѣ мельницъ.

Фигура 510-я представляетъ колесо, на которое дѣйствуетъ вода сверху; колесо вращаетъ валъ А. Последний проходитъ въ здание и приводитъ въ дви-

Водя-
ная
мель-
ница.

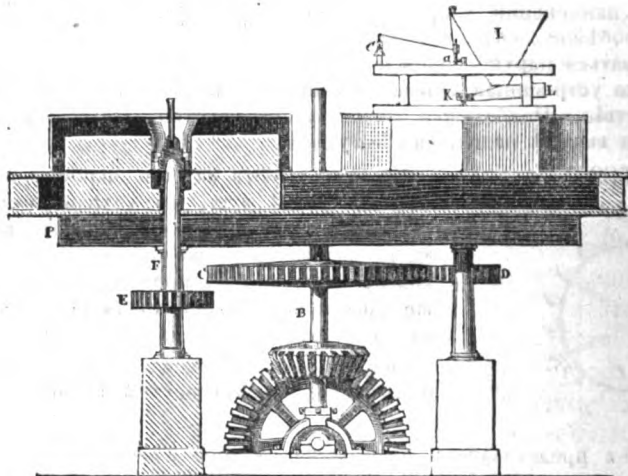
Фиг. 510.



женіе посредствомъ зубчатаго колеса отвѣсный валъ В. Здѣсь представлено только соединеніе дѣйствующихъ частей мельницы, а фигура 511-я представляетъ ея дальнѣйшее устройство.

Колесо С должно вращать два мельничныхъ хода, изъ которыхъ одинъ представленъ здѣсь въ разрѣзѣ, а другой со внѣшней стороны. Для этого вращенія устроены подвижныя зубчатые колеса Е и D, которыя должны за-цѣплять за колесо С. Въ представленныхъ рисункахъ, на первомъ изображена мельница во время движенія, а на второмъ во время покое. Разсмотримъ подробное устройство ихъ.

Валъ *F* лежитъ на подушкѣ своимъ основаніемъ и проходитъ сквозь мельничный камень, называемый *жерновомъ*. На верхней конусообразной части вала находится второй жерновъ, который называется также *тодумомъ* и вращается. Фиг. 511.



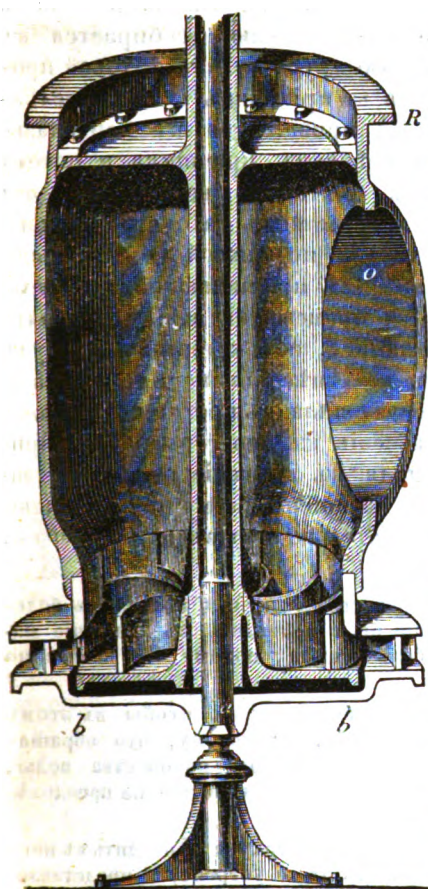
щается вмѣстѣ съ валомъ. Между обоими жерновами находится весьма малое пространство и притомъ такъ стараются, чтобы оба жернова были параллельны другъ другу, т. е. чтобы разстояніе между ними было вездѣ одинаково. Среднее отверстіе въ верхнемъ жерновѣ покрывается желѣзомъ, такимъ образомъ, чтобы зерна входили въ пространство между жерновами и тамъ истирались бы въ муку и отруби. Для чего на внутреннихъ поверхностяхъ жернововъ выдолблены жолоба, которые при обращеніи верхняго жернова дѣйствуютъ подобно лезвію ножницъ. По дѣйствію центробѣжной силы смолотое зерно постепенно выбрасывается въ закрытое со всѣхъ сторонъ пространство, а оттуда въ мѣшки. Приборъ, служащій для отдѣленія отрубей отъ муки, для простоты рисунка здѣсь не представленъ. Онъ приводится въ движеніе продолженіемъ вала *B*.

Зерна, назначенныя для измольченія, всыпаются въ ящикъ *I*, котораго нижнее отверстіе почти закрыто наклонно стоящимъ ящикомъ *L*, который называется *башмакомъ*. На продолженіи вала, вращающемъ ходунъ, находится нѣсколько спицъ *K*, которыя при обращеніи вала слегка ударяютъ о башмакъ и тѣмъ самымъ заставляютъ зерна падать въ отверстіе верхняго жернова. Гремущка *C* даетъ знать мельнику, что изъ кузова всѣ зерна измолоты. Механизмъ этотъ устроенъ слѣдующимъ образомъ: отъ гремущки идетъ шнурокъ къ колку *b* и чрезъ послѣдній по блоку въ ящикъ *j*; на концѣ шнурка привязанъ большой, но легкій кусокъ дерева, который вставляется подъ зерна послѣ насыпанія ихъ; чрезъ это *b* поддерживается на извѣстной высотѣ во время вращенія вала и не дотрогивается къ спицѣ *a*. Количество зеренъ, мало по малу уменьшаясь, наконецъ не въ состояніи удерживать дерева и тогда *b* опускается такъ низко, что зацѣпляется спицею *a* и при каждомъ поворотѣ вала производитъ объ нее ударъ.

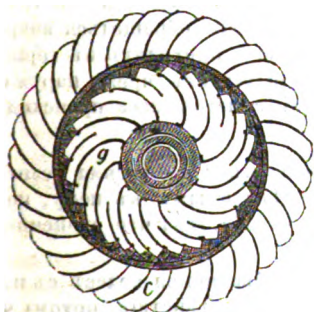
Діаметръ жернова обыкновенно равенъ четыремъ футамъ. Ходунъ совершаетъ 70 оборотовъ въ минуту, а пара жернововъ въ продолженіе 24 часовъ можетъ смолоть отъ 500 до 600 фунтовъ зеренъ.

Между горизонтальными колесами, двигающимися отъ боковаго давленія воды, замѣчательно колесо устроенное Фурнерономъ и извѣстное подъ названіемъ *фурнероновой турбины*. Фигура 512-я показываетъ устройство турбины, сдѣланной для высокаго паденія.

Фиг. 512.



Фиг. 513.



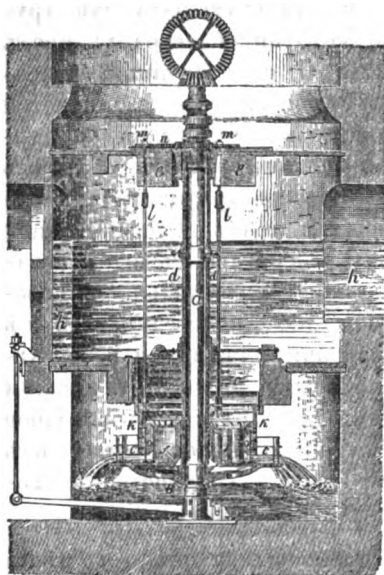
Вся масса падающей воды собирается въ широкую чугунную трубу, изъ которой она входитъ чрезъ отверстіе *O* въ чугунный резервуаръ. Резервуаръ этотъ опирается выдающимся краемъ на бревно, вдѣланныя въ каменную стѣну. Сквозь средину резервуара проходитъ пустая внутри трубка, соединяющая крышку резервуара съ его основаніемъ. Это горизонтальное основаніе, или дно, не соединяется съ вертикальными стѣнками резервуара, но между нимъ и боковыми стѣнками находится кругообразное промежуточное пространство, изъ котораго вода устремляется по горизонтальному направленію.

Устремляющаяся изъ этого мѣста вода приводитъ въ движеніе горизонтальное колесо, снабженное вертикальными лопатками; *aa* есть вертикальная ось, вокругъ которой обращается колесо; она проходитъ чрезъ трубку, соединяющую крышку и дно резервуара. Къ этой оси прикрѣплена круглая доска *bb*, на которой покоится кругъ съ лопатками, лежащій противу нижняго отверстія резервуара.

Лопатки имѣютъ загнутую форму, представленную на Фиг. 513-й, сверху. Для доставленія водѣ по возможности выгоднаго направленія относительно лопатокъ, на доскѣ *bb* резервуара устроены кривыя лопатки изъ жести, для доставленія водѣ опредѣленнаго направленія.

Хорошо устроенная фурнеронова турбина даетъ полезнаго дѣйствія до 75 процентовъ полнаго дѣйствія.

Фиг. 514.



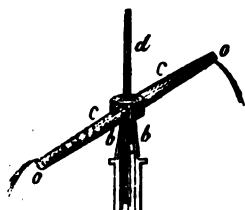
На фиг. 514-й представлена турбина, употребляемая на заводахъ. Масса воды предварительно собирается въ чугунную трубу *h*, изъ которой проводится въ приемникъ *i*. Дно послѣдняго не прикасается къ вертикальнымъ стѣнкамъ приемника и потому можетъ двигаться независимо отъ него, посредствомъ находящейся внутри сосуда подвижной вертикальной оси *a*. Изъ приемника вода переходитъ въ промежутки между кривыми лопатками *g*, изъ которыхъ она ударяетъ на отвѣсныя перья колеса *c*, расположенныя въ противоположномъ направленіи къ перегородкамъ. Приведенныя въ движеніе перья доставляютъ обращеніе всему дну турбины, а слѣдовательно и отвѣсной оси его *a*.

Много было сдѣлано попытокъ для устройства зегнерова колеса въ большемъ видѣ, такъ чтобы оно въ состояніи было приводить въ движеніе машины. Но всѣ эти попытки оставались безъ успѣха, потому что постоянно получалось мало полезнаго дѣйствія.

Послѣднее же обстоятельство происходитъ не отъ того, чтобы въ этомъ случаѣ двигающая сила воды была незначительна, но потому, что обращающееся основаніе должно выносить вѣсь значительнаго количества воды, вслѣдствіе того вода теряетъ большую часть полезнаго дѣйствія на преодоленіе тренія.

Это заставило устраивать горизонтальное колесо вверху и проводить въ него

Фиг. 515.



воду снизу. Сущность этого устройства представлена на фиг. 515-й. Резервуаръ состоитъ изъ чугунной проводной трубы, загнутаой снизу и оканчивающейся трубкою *a*, идущей отвѣсно кверху. Изъ отверстія у *a* вода устремляется въ чахолъ *b*, насаженный такимъ образомъ на оконечность трубки *a*, чтобы онъ могъ свободно обращаться вокругъ послѣдней. Изъ чахла вода проходитъ въ горизонтальныя трубки *cc* и вытекаетъ чрезъ наружныя отверстія ихъ. Движеніе самаго колеса происходитъ отъ вращенія оси *d*.

Въ этомъ приборѣ треніе, преодолеваемое колесомъ у *a*, весьма незначительно, потому что вѣсъ колеса, со всѣмъ прикрѣпленнымъ къ нему, почти совершенно поддерживается давленіемъ водянаго столба, такъ что оконечность трубки *a* почти не выноситъ никакого давленія.

Но при подобномъ устройствѣ, какъ и при снизу бьющемся колесѣ съ плоскими лопатками, тратится значительная часть полезнаго дѣйствія, потому что, если бы вода передавала совершенно свою скорость колесу и вытекала изъ отверстій безъ скорости, слѣдовательно, если бы колесо вращалось со скоростью соотвѣтствующею высотѣ паденія, то давленіе на противоположную сторону или полезное дѣйствіе было бы равно нулю.

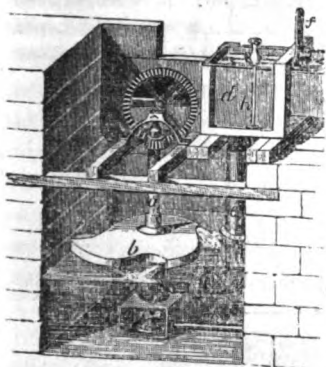
Фиг. 516.



Вода должна непременно сохранять часть своей скорости. — И въ этомъ случаѣ искривленіе трубки, показанное на фиг. 516-й, увеличиваетъ полезное дѣйствіе. Вода, выходящая изъ трубки и производящая давленіе на загнутые края ея, передаетъ колесу мало по малу свою скорость, такъ что скорость ея у отверстій становится уже весьма незначительною.

Подобныя загнутыя колеса въ большомъ употребленіи въ Шотландіи и потому ихъ называютъ *шотландскими турбинами* (фиг. 517). У нихъ вода бѣжитъ изъ *d* черезъ трубу *e* въ колесо *b*, вращающееся вмѣстѣ съ осью *a*.

Фиг. 517.



Между гидравлическими двигателями замѣча—Гидрав-
тельны водостолбная машина и гидравлическій таранъ.
Первая изъ этихъ машинъ будетъ нами
разсмотрѣна въ аэроstaticкѣ.

Устройство же гидравлическаго тарана основано на слѣдующемъ. Представимъ себѣ, что извѣстныя частицы тѣла (твердаго или жидкаго), двигающагося съ опредѣленною скоростью, внезапно остановлены. Вслѣдствіе того остальные частицы, неподверженные непосредственному вліянію останавливающаго сопротивленія, производятъ на первыя частицы различныя дѣйствія.

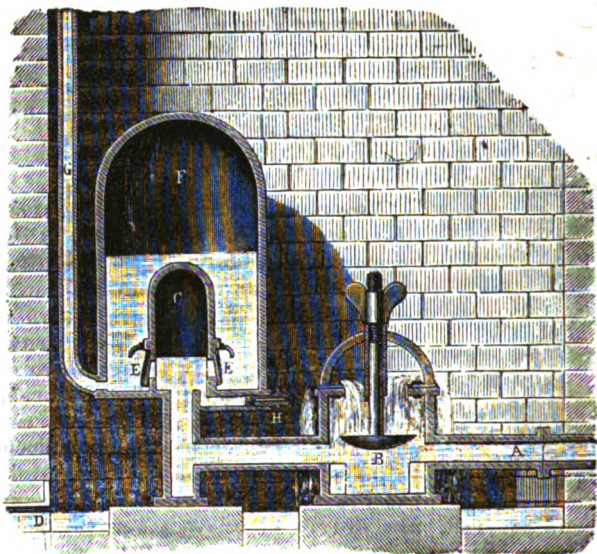
Частицы, лежащія впереди, или будутъ стремиться притянуть къ себѣ остановленные частицы, или отбѣдутъ отъ нихъ; частицы же, лежащія позади, имѣя стремленіе къ продолженію движенія, будутъ очевидно производить давленіе на остановленные частицы.

Если напиримѣръ стрѣла летящая съ быстротою будетъ остановлена какою нибудь силою, непосредственно дѣйствующею на среднюю часть ея, то переднія будутъ стремиться притягивать къ себѣ остановленную часть и это притяженіе въ иныхъ случаяхъ можетъ быть такъ значительно, что передняя часть въ состояніи отбѣлится отъ остальной массы. Напротивъ того задняя часть стрѣлы будетъ имѣть стремленіе подвигать впередъ остановленную часть, такъ что послѣдняя будетъ по всей своей длинѣ выносить давленіе позади лежащихъ точекъ. Точно также, если движущійся по трубкѣ столбъ воды будетъ остановленъ внезапно какимъ либо сопротивленіемъ, то сопротивленіе это, вслѣдствіе скорости приобрѣтенной водою, должно будетъ выносить давленіе, которое очевидно распространится вдоль всего столба воды. Въ продолженіи этого весьма краткаго времени, боковыя стѣны будутъ выносить давленіе, зависящее отъ скорости заключающагося въ нихъ водяного столба.

Вода возвышеннаго бассейна проводится чрезъ трубку *A* (фиг. 518). Трубка эта имѣетъ вблизи нижняго конца обращенное кверху отверстіе, чрезъ которое вытекаетъ вода. Клапанъ *B* находится на пути текущей воды; поэтому если скорость этой воды достигнетъ извѣстной величины, то клапанъ *B* увлекается кверху и запираетъ отверстіе, чрезъ которое вытекала вода. Какъ въ это мгновеніе теченіе воды внезапно останавливается, то всѣ боковыя стѣнки претерпѣваютъ ударъ, который въ состояніи преодолѣть давленіе гораздо большее, противу давленія соотвѣтствующаго высотѣ паденія воды. Отъ этого удара открываются клапаны *E* и часть воды вгоняется въ резервуаръ *F*, откуда она переходитъ въ восходящую трубку *G* и поднимается въ ней на высоту гораздо большую, противу резервуара, изъ котораго она проведена, потому что воздухъ, находящійся въ резервуарѣ *F*, сжимается и давитъ сильноѣе противу обыкновеннаго атмосфернаго давленія, дѣйствующаго на поверхность

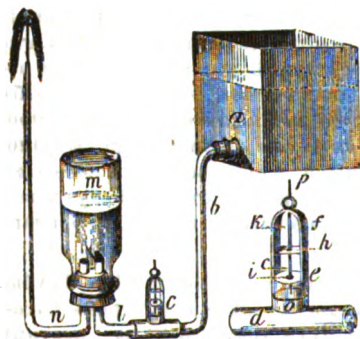
бассейна. Когда послѣ этого удара снова возстановится равновѣсіе, клапанъ *В* опадаетъ вслѣдствіе собственной своей тяжести, вода вытекаетъ снова чрезъ *В* до тѣхъ поръ, пока не заперется опять клапанъ, послѣ чего повторится сказанное нами выше.

Фиг. 518.



Моръ устроилъ модель, служащую для объясненія основаній гидравлическаго тарана (фиг. 519а). Она состоитъ изъ стеклянныхъ трубокъ и мѣднаго клапана въ части служащей для вытеченія воды. Послѣдній представленъ особо на фиг. 519б въ увеличенномъ видѣ. Къ горизонтальной трубкѣ *l* приставлена мѣдная отгибная трубочка *с*, закрытая сверху кружкомъ *е*, въ которомъ продѣлано небольшое отверстіе *і*. Сквозь послѣднее проходитъ стержень *к* клапана *о*. Стержень проходитъ свободно чрезъ два другія отверстія, изъ которыхъ одно находится въ верхней части дуги *г*, а другое въ дощечкѣ *л*. Клапанъ располагается посрединѣ между высокою трубкою *б* и загнутымъ колѣномъ *ея*. Высокая трубка проводитъ воду изъ резервуара. Послѣдняя устремляется къ небольшому отверстію *і* и весь опускающійся водяной столбъ мало по малу приобрѣтаетъ скорость, которая позволяетъ ей наконецъ поднять клапанъ *о* и прижать его къ доскѣ *е*.

Фиг. 519а и 519б.



Чрезъ это останавливается истеченіе воды и весь водяной столбъ, находившійся въ движеніи, устремляется мимо клапана въ резервуаръ *т* (фиг. 519а), поднимая для этого небольшой клапанъ, запирающій оконечность проводной трубки. Послѣдній клапанъ соответствуетъ клапанамъ *В* (фиг. 518); подобное отношеніе существуетъ и между остальными частями прибора Мора и гидравлическаго тарана.

Чѣмъ болѣе отверстіе *і* (фиг. 519б) относительно клапана, тѣмъ съ большимъ ускореніемъ будетъ опускаться вода и тѣмъ сильнѣе будетъ напоръ, съ которымъ вода вступаетъ въ резервуаръ; слѣдовательно, тѣмъ быстрѣе будетъ

выливаться вода изъ резервуара *а*. Если опустить клапанъ *о* весьма мало, что можетъ быть достигнуто приличнымъ помѣщеніемъ гирьки, лежащей на поршнѣ надъ самою дугою *о*, то толчки слѣдуютъ быстро другъ за другомъ. Если обременить клапанъ *о* тяжестью сверху, то онъ будетъ подниматься только по достиженіи водою значительной скорости, а слѣдовательно и самое истечение воды изъ трубки *а*, будетъ подниматься на значительную высоту. При наполненіи резервуара значительнымъ количествомъ воды, толчки слѣдуютъ быстро другъ за другомъ и вода будетъ подниматься выше, нежели при наполненіи резервуара воздухомъ.

Въ приборѣ Мора вода бьетъ изъ трубки *а* выше уровня резервуара *а*, что повидимому противорѣчитъ изложеннымъ нами выше законамъ; но при этомъ должно замѣтить, что не вся вода достигаетъ до этой высоты, но большая часть воды опускается гораздо ниже.

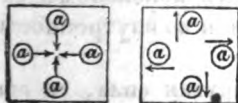
Законы равновѣсія газообразныхъ тѣлъ.

(Аэростатика).

§ 165. Мы уже говорили, что газы суть тѣла, у которыхъ притягательная сила между частицами гораздо слабѣе нежели у твердыхъ и жидкихъ тѣлъ. Взамѣнъ слабого притяженія между частицами газовъ существуетъ значительная расширительная сила, называемая *упругостію*, вслѣдствіе которой они обладаютъ гораздо большею легкою подвижностію противу жидкостей. Упругость эта такъ

Отличительная
свойства
газовъ.

Фиг. 520 и 521.



значительна у газовъ, что частицы ихъ, вмѣсто сближенія между собою (фиг. 520) стремятся ко взаимному удаленію другъ отъ друга (фиг. 521). Основываясь на этомъ свойствѣ газообразныхъ тѣлъ называютъ послѣднія весьма часто *упругими жидкостями*.

Упругія жидкости раздѣляются на два класса на газы *постоянные* или собственно такъ называемые газы и на газы *непостоянные* или *пары*. Къ первымъ относятся тѣ изъ нихъ, которые сохраняютъ состояніе своего скопленія при всякомъ давленіи и при всѣхъ возможныхъ пониженіяхъ температуры; какъ напр. *кислородъ*, *водородъ*, *азотъ*, *азотистая окись* и *окись углерода*.

Непостоянные же газы или пары напротивъ легко переходятъ въ жидкое состояніе или отъ усиленнаго давленія или отъ пониженія температуры. Но приведенное нами различіе не должно принимать въ строгомъ значеніи, потому что большое число газовъ, которые прежде считали постоянными, Фареею и другимъ физикамъ удалось привести въ жидкое состояніе и поэтому мы скорѣе имѣемъ право допустить, что и прочіе газы, принимаемые теперь за постоянные, мог-

ли бы были также приведены въ жидкое состояніе, если бы мы въ состояніи были подвергнуть ихъ достаточному давленію и холоду. Вотъ почему, употребляя слово *газъ* въ общемъ значеніи, мы должны относить его къ тѣламъ, которыя при обыкновенномъ давленіи и при обыкновенной температурѣ представляются намъ въ воздухообразномъ состояніи, между тѣмъ какъ подъ *парами* должно разумѣть воздухообразное состояніе, принимаемое подъ вліяніемъ теплоты тѣлами, которыя подобно водѣ, спирту, эфиру суть жидкости при обыкновенныхъ давленіяхъ и обыкновенныхъ температурахъ.

Въ настоящее время въ химіи извѣстны около 34 различныхъ газовъ, между которыми 4 суть тѣла неразлагаемыя или простыя: кислородъ, водородъ, азотъ и хлоръ; 7 изъ нихъ встрѣчаются въ природѣ въ свободномъ состояніи: кислородъ, азотъ, углекислота, окись углерода, углеродистый двухводородный газъ, аммоніакъ и сернистая кислота. Всѣ же другіе получаются химическими средствами.

Переходя къ изслѣдованію свойствъ газовъ намъ должно доказать прежде всего посредствомъ опыта одно изъ главнѣйшихъ явленій, служащее существеннымъ, отличительнымъ признакомъ состоянія ихъ скопленія. Явленіе это есть *разширительная* сила газовъ или стремленіе ихъ частицъ къ занятію большаго объема. Явленіе это можетъ быть обнаружено на опытѣ посредствомъ прибора, называемаго воздушнымъ насосомъ, устройство котораго будетъ объяснено нами впоследствии. Подъ стеклянный колоколъ, помѣщаемый на тарелку воздушнаго насоса кладутъ бычачій пузырь *a* (фиг. 522). Къ Фиг. 522. стянутому горлу этого пузыря придѣлываютъ мѣдную трубку, запирающуюся и отпирающуюся посредствомъ винта. Пузырь этотъ сжимаютъ нѣсколько, оставляя въ немъ извѣстное количество воздуха и смачиваютъ стѣнки его водою для того, чтобы доставить имъ способность къ удобнѣйшему сжатію и выправленію. Подъ колоколомъ насоса находится воздухъ точно также какъ и во внутренности пузыря.

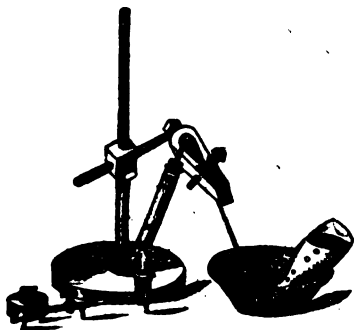


Если между частицами воздуха существуетъ упругая сила, то оба эти количества воздуха раздѣленные стѣнками пузыря, находясь въ естественномъ своемъ состояніи должны обнаруживать одинаковую упругую силу и потому мы вправе заключить, что обѣ эти упругія силы сохраняютъ равновѣсіе между собою. Но послѣ извлеченія воздуха изъ подъ колокола разширительная сила того количества воздуха, которое заключается внутри пузыря, не будетъ встрѣчать уже сопротивленія упругой силы, дѣйствовавшей прежде на наружную поверхность пузыря; вслѣдствіе того пузырь вздуется какъ и въ томъ случаѣ, когда бы мы вгоняли во внутренность его новое количество воздуха посредствомъ выдыханія. Явленіе это убѣждаетъ насъ прямо въ упругости газа, заключеннаго въ пузырь. Впуская снова, посредствомъ особеннаго механизма, воздухъ подъ колоколъ, мы увидимъ, что вздутый пузырь опять приметъ первоначальное свое состояніе, что очевидно происходитъ отъ упругости воздуха, введен-

наго вновь подъ колоколъ. Подобнымъ образомъ можно доказать и упругую силу всѣхъ газовъ.

На основаніи свойства упругости мы имѣемъ право ожидать, что всякій газъ, заключенный въ открытомъ сосудѣ, долженъ тотчасъ оставлять послѣдній. Это бы происходило на самомъ дѣлѣ, если бы сосудъ находился въ пустотѣ; но при обыкновенныхъ обстоятельствахъ выходу газа противится упругая сила наружнаго воздуха, окружающаго сосудъ. Но должно впрочемъ замѣтить, что это *собственно* справедливо только въ томъ случаѣ, когда заключающійся въ сосудѣ газъ есть также воздухъ. И въ самомъ дѣлѣ, опыты показываютъ, что упругую силу газа можно привести въ равновѣсіе только давленіемъ, производимымъ газообразной массой совершенно одинаковой съ массой заключающейся въ сосудѣ. Такъ напр. давленіе воздуха не можетъ держать въ равновѣсіи упругую силу водорода или углекислоты. Газы эти не будутъ въ такомъ случаѣ улетать изъ заключающихъ ихъ сосудовъ, какъ это происходитъ въ пустотѣ; взаимнѣе того мы найдемъ, что внѣшній и внутренній газы начнутъ быстро смѣшиваться между собою. Впослѣдствіи мы покажемъ какимъ образомъ подтверждается это явленіе.

На основаніи описаннаго нами свойства, желая сохранить всякой газъ отдѣльно въ чистомъ несмѣшанномъ состояніи, мы должны содержать его въ плотно закупоренныхъ сосудахъ. На томъ же самомъ основаніи и полученіе ихъ производится посредствомъ особеннаго способа. Положимъ, что мы желаемъ получить газъ *кислородъ*, который, какъ извѣстно, добывается изъ различныхъ тѣлъ. Мы ограничимся здѣсь полученіемъ кислорода изъ красной ртутной окиси. Одинъ изъ самыхъ простыхъ приборовъ, употребляемыхъ съ этою цѣлю, представленъ на фиг. 523. Онъ состоитъ изъ продолговатаго стекляннаго стаканчика, въ который насыпается ртутная окись: горло этого стаканчика заткнуто пробкой, сквозь которую плотно проткнутъ конецъ изогнутой узкой стеклянной трубки. Другой конецъ трубки, захватываемый сверху щипцами статива, опускается въ блюдо съ водою и входитъ тамъ въ горло опрокинутой бутылки, которая также наполнена водою. Отъ нагрѣванія лампой ртутной окиси въ стаканчикѣ отдѣляется отъ ней газъ, который

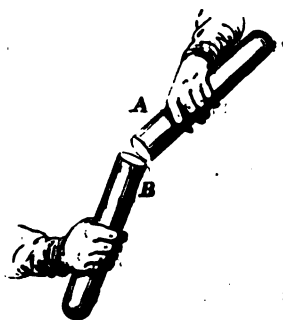


проходитъ чрезъ узкую стеклянную трубку и собирается на днѣ опрокинутой бутылки, постоянно вытѣсняя по мѣрѣ своего прібытія заключавшуюся тамъ воду. Прохожденіе газа чрезъ трубку основано на разширительной силѣ его, а поднятіе его чрезъ воду въ опрокинутой бутылкѣ на незначительности его удѣльнаго вѣса сравнительно съ водою. Подобно описанному нами собиранію кислорода

получаются также и другіе газы съ тою только разницею, что употребляемые для того приборы видоизмѣняются согласно со способами употребляемыми для добыванія каждаго газа. Указанный нами образъ добыванія газовъ весьма важенъ также въ томъ отношеніи, что многіе газы, не обладав ни цвѣтомъ, ни запахомъ, не могутъ быть доступны непосредственно нашимъ чувствамъ какъ тѣла твердыя и жидкія.

Газы подобно жидкостямъ могутъ быть переливаемы изъ одного сосуда въ другой; опыты удается весьма хорошо съ углекислотою, которая гораздо плотнѣе противу воздуха. Такъ напримѣръ собравъ

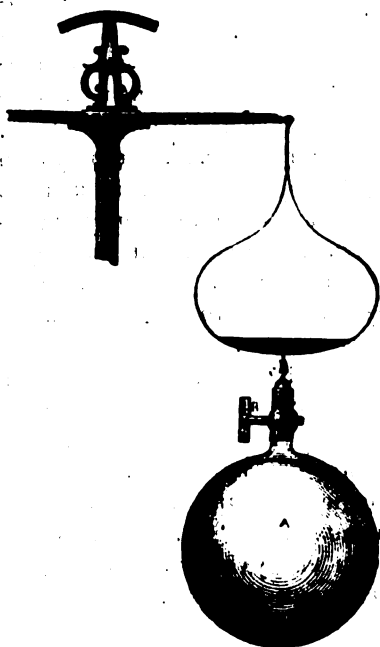
Фиг. 524.



мы можемъ опрокинуть его противу другаго стаканчика, наполненнаго воздухомъ. Обладая значительнѣйшею плотностію противу воздуха, углекислота опускается медленно изъ верхней бутылки въ нижнюю, вытѣсняя изъ послѣдней воздухъ, такъ что, спустя известное время, вся верхняя бутылка будетъ наполнена воздухомъ, а нижняя углекислотою. Въ справедливости этого мы можемъ убѣдиться, погружая въ обѣ бутылки горящую лучинку, которая не можетъ, какъ известно изъ химіи, продолжать своего горѣнія въ пространствѣ наполненномъ углекислотою.

Тяжесть
газовъ.

§ 166. Основываясь на способности газовъ къ расширенію или улетучиванію можно предполагать, что тѣла эти ускользаютъ отъ
Фиг. 525.



общихъ законовъ тяжести. Но опыты показываетъ намъ, что и эти тѣла, не взирая на свою тонкость, покоряются этой силѣ подобно твердымъ и жидкимъ тѣламъ. И въ самомъ дѣлѣ, если взвѣсить на чувствительныхъ вѣсахъ стеклянный шаръ (фиг. 525), въ томъ случаѣ, когда отпертъ винтъ, запирающій его горло, слѣдовательно, когда въ шарѣ заключается воздухъ и если потомъ извлечь этотъ воздухъ посредствомъ воздушнаго насоса и запереть винтъ, то при вторичномъ взвѣшиваніи найдемъ, что вѣсъ шара уменьшится на известное количество, которое очевидно и должно представлять намъ вѣсъ извлеченнаго воздуха.

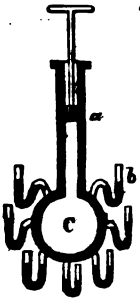
Какъ мы будемъ заниматься въ настоящей статьѣ изслѣдованіемъ механическихъ свойствъ, совершенно

одинаковыхъ для всѣхъ газовъ, то поэтому и ограничимся рассмотрѣніемъ физическихъ свойствъ воздуха какъ газа наиболее распространеннаго въ природѣ.

§ 167. Изъ всего сказаннаго нами слѣдуетъ, что газы подвержены постоянно дѣйствію двухъ силъ: разширительной силѣ между нѣ частицами и силѣ тяжести. Какъ газы обладаютъ легкою подвижностію частицъ, то очевидно, что они должны передавать дѣйствія, производимыя обѣими этими силами, какъ собственнымъ своимъ частицамъ, такъ и стѣнкамъ тѣхъ сосудовъ, въ которые они заключены. Распространеніе дѣйствія этихъ силъ совершается въ газахъ по тѣмъ же законамъ, по которымъ происходитъ передача давленій въ жидкихъ тѣлахъ. Однимъ словомъ, законъ *равнаго давленія* или законъ Паскаля одинаково примѣнимъ какъ къ жидкимъ, такъ и къ газообразнымъ тѣламъ. Чтобы убѣдиться въ томъ, что давленіе, производимое на извѣстную часть воздухообразной массы, распространяется равномерно по всѣмъ направленіямъ чрезъ всю массу газа, упо-

Законъ
равнаго
давленія.

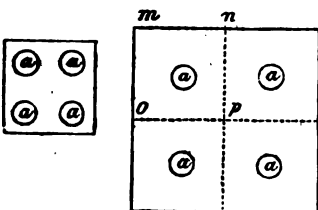
Фиг. 526. требляютъ сосудъ, представленный на фиг. 526. Онъ состоитъ изъ стекляннаго цилиндра, оканчивающагося стекляннымъ шаромъ *c*, въ различныхъ частяхъ котораго сдѣланы отверстія, соединяющіяся съ изогнутыми стеклянными трубочками *b*. Если налить въ каждую трубочку немного ртути и сдвинуть въ шарѣ воздухъ посредствомъ поршня *a*, плотно входящаго въ цилиндръ, то мы увидимъ при этомъ равное поднятіе ртути во всѣхъ трубочкахъ, что нетрудно замѣтить по одинаковому различію уровней ртути во всѣхъ ихъ. Направленія силъ, дѣйствующихъ на свободную поверхность упругихъ жидкостей, подобно тому какъ и у капельножидкихъ тѣлъ, при состояніи равновѣсія должны быть перпендикулярны къ этой поверхности.



§ 168. Для удобнѣйшаго опредѣленія явленій, происходящихъ отъ совокупнаго дѣйствія разширительной силы и тяжести, мы рассмотримъ дѣйствіе этихъ силъ въ отдѣльности.

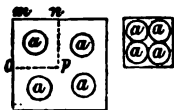
Зависимость
упругости
отъ давленія.

Представимъ себѣ, что стѣны сосуда (фиг. 527) будутъ раздвигаться во всѣ стороны и займутъ вчетверо большее пространство (фиг. 528). Очевидно, что и частицы воздуха *a, a, a, a*, удаляясь другъ отъ друга, будутъ слѣдовать за этимъ разширеніемъ. — Въ послѣднемъ случаѣ каждая часть сосуда, равная *mnop*, будетъ выдерживать давленіе только одной частицы *a* или вчетверо меньшее давленіе противу одинаковаго съ нею сосуда (фиг. 527), котораго стѣны выносили давленіе *4 a*.



Часть I.

Но если легкоподвижныя частицы воздуха будутъ до того сдвинуты (Фиг. 529 и 530),



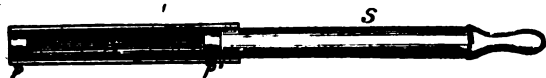
ваемы между собою (Фиг. 529), что частица a займетъ четвертую часть первоначальнаго своего состоянія (Фиг. 530), то стѣны послѣдняго сосуда будутъ выносить давленіе $4a$, тогда какъ равная съ нимъ часть *тѣлор* (Фиг. 529) подвергается только давленію одной частицы a . Примѣры эти показываютъ намъ, какое положеніе

принимаетъ одно и тоже количество воздуха въ различныхъ состояніяхъ разширенія и упругости. Изъ нихъ видно, что по мѣрѣ увеличенія разширенія одного и того же количества воздуха упругость его уменьшается, тогда какъ отъ сжатія его въ меньшее пространство она увеличивается.

Справедливость этого мы можемъ повѣрить самымъ простымъ образомъ надъ *бузинымъ ружьемъ*, служащимъ игрушкою для дѣтей.

Если пространство A (Фиг. 531) будетъ заперто двумя пробками

Фиг. 531.



р, р', то подвигая послѣднюю, посредствомъ поршня S , мы можемъ сгустить воздухъ въ пространствѣ A до такой степени упругости, что передняя пробка p выскочитъ наружу съ значительною силою и произведетъ ударъ.

Какое же именно отношеніе существуетъ между давленіемъ и упругостію, можетъ быть показано только посредствомъ приборовъ, устройство которыхъ основано на измѣреніи давленія обнаруживаемаго воздухомъ вслѣдствіе дѣйствія тяжести, и потому мы перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію и опредѣленію величины послѣдняго давленія.

Атмосфера

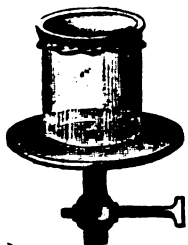
§ 169. Воздухъ окружаетъ весь земной шаръ и простирается высоко надъ землею, потому что находящіеся въ немъ облака бываютъ одинаково видны какъ надъ долинами, такъ и надъ горами. Вслѣдствіе тяжести эта огромная масса воздуха такъ тѣсно связана съ землею, что производитъ вмѣстѣ съ послѣднею вращеніе вокругъ земной оси по направленію отъ запада къ востоку; если бы при вращеніи земли, окружающій ее воздухъ, находился въ покоѣ, то очевидно, что онъ оказывалъ въ такомъ случаѣ сопротивленіе тѣламъ, обращающимся вмѣстѣ съ землею.

Когда воздухъ находится въ равновѣсїи, то въ каждомъ мѣстѣ его стремленіе воздушныхъ частицъ къ разширенію въ стороны и книзу удерживается въ равновѣсїи упругостію боковыхъ и нижнихъ частицъ; разширенію же кверху противодѣйствуетъ тяжесть, которая притягиваетъ частицы воздуха къ центру земли. Но на каждый слой воздуха, лежащій внутри огромной воздушной массы окружающей землю, кромѣ непосредственнаго притяженія земли дѣйствуетъ также и давленіе или вѣсъ отвѣсно лежащаго воздушнаго столба. Вслѣдствіе этого давленія каждый внутренній слой сгущается, причемъ,

какъ мы уже знаемъ, должна увеличиваться его упругая сила и это увеличеніе упругости будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока оно не пріобрѣтетъ возможность удерживать въ равновѣсіи давленіе верхняго слоя. Вблизи земной поверхности упругая сила воздуха, какъ и прочихъ газовъ, значительнѣе напряженія тяжести. Но какъ съ удаленіемъ отъ земной поверхности уменьшается высота воздушныхъ столбовъ, а слѣдовательно и величина давленія, производимаго имъ на ниже лежащіе слои, то очевидно, что плотность и упругость каждаго воздушнаго слоя должны быть тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе онъ удаленъ отъ поверхности моря. Вотъ почему воздухъ на горахъ, возвышающихся значительно надъ уровнемъ моря, уже такъ разрѣженъ, что самое дыханіе становится въ немъ затруднительнымъ.

Съ удаленіемъ отъ поверхности моря, кромѣ уменьшенія упругости воздушныхъ слоевъ, уменьшается также и дѣйствіе тяжести на нихъ; но уменьшеніе упругости слѣдуетъ гораздо быстрѣе протіву уменьшенія дѣйствія тяжести, поатому на извѣстномъ удаленіи отъ поверхности моря должны находиться такіе слои воздуха, которыхъ частицы вслѣдствіе своей упругости стремятся удалиться отъ земной поверхности съ тою силою, которая одинакова съ напряженіемъ тяжести, притягивающей ихъ книзу. Эти то самые слои и образуютъ предѣлъ огромной массы воздуха окружающей землю или, говоря другими словами, составляютъ свободную поверхность ея. Видъ этой поверхности при спокойномъ состояніи воздуха долженъ быть одинаковъ съ видомъ земнаго шара, потому что отдѣльныя дѣйствія тяжести, притягивающія частицы воздуха къ средоточію земли, должны быть перпендикулярны къ поверхности воздушной массы, что очевидно только возможно при шарообразной формѣ ея. Вотъ почему говорятъ, что воздухъ составляетъ вокругъ земли оболочку. Оболочку эту называютъ *атмосферою*, что по-гречески значитъ *паровой кругъ*. Высота атмосферы не опредѣлена еще съ точностію: до настоящаго времени, неизвѣстенъ еще законъ, по которому слѣдуетъ уменьшеніе температуры вмѣстѣ съ удаленіемъ отъ поверхности моря, а потому и не можетъ быть въ точности вычисленно уменьшеніе упругости, на которую оказываетъ вліяніе температура. Приблизительно полагають, что высота атмосферы простирается отъ 7 до 9 миль.

§ 170. Для удостовѣренія въ дѣйствительности существованія да-
вленія воздуха производятъ слѣдующій опытъ. Ставятъ на тарелку Доказательство давленія воздуха.
Фиг. 532. воздушнаго насоса стеклянную банку (фиг. 532), у



которой отдѣлено дно такимъ образомъ, что нижніе края банки могутъ плотно прилегать къ тарелкѣ насоса. Чтобы края эти плотнѣе прилегали къ тарелкѣ, смазываютъ ихъ саломъ; горло же банки, находящееся вверху, обтягиваютъ тонкимъ пузыремъ. Если вытянуть воздухъ изъ пространства, заключающагося внутри банки, то пузырь сперва приметъ дугообразную форму, а потомъ лопнетъ; причемъ бы-

строе врываніе воздуха въ сосудъ обыкновенно сопровождается рѣзкимъ шумомъ.

Въ давленіи воздуха мы можемъ убѣдиться также изъ слѣдующаго простаго опыта, для котораго берутъ кусокъ дерева вѣсомъ отъ 8 Физ. 533. до 10 фунтовъ (Фиг. 533); на верхней части послѣд-

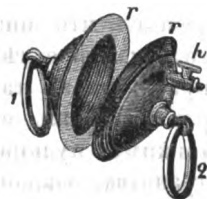


няго утверждаютъ кусокъ плотнаго стекла съ ровною и горизонтальною поверхностію. На это стекло кладутъ хорошо вышлифованную мѣдную пластинку, снабженную ручкой. Пластинку легко отдѣлить отъ стекла въ томъ случаѣ, если она опущена медленно безъ всякаго придавливанія, но если прижать пластинку легко на всѣхъ точкахъ ея поверхности, то нельзя уже отдѣлить пластинку отъ стекла, такъ что, поднимая пластинку посредствомъ ручки, мы поднимаемъ вмѣстѣ съ нею и самый кусокъ дерева.

Причина этого различія можетъ быть объяснена слѣдующимъ образомъ: когда пластинка положена слегка на стекло, то въ промежуткѣ между ними остается слой воздуха, который обнаруживаетъ давленіе на пластинку снизу, и поэтому пластинка будетъ находиться въ тѣхъ же самыхъ обстоятельствахъ какъ и въ томъ случаѣ, если бы она находилась въ воздухѣ, т. е. на нее будутъ происходить два взаимно уничтожающіяся давленія одно сверху, а другое снизу. Когда отъ нажима руки удаляется слой воздуха между прикасающимися частями пластинки и стекла, то давленіе воздуха, дѣйствующее на верхнюю часть пластинки, не уравнивается уже съ нижней стороны и потому для отдѣленія пластинки должно побѣдить это давленіе, что достигается въ томъ случаѣ, когда кусокъ дерева достаточно тяжелъ и когда онъ прикрѣпленъ къ землѣ. Но какъ онъ вѣситъ только нѣсколько фунтовъ, то при поднятіи пластинки слѣдуетъ за нею, чему способствуетъ тогда давленіе производимое воздухомъ на нижнюю поверхность дерева.

Описанные нами опыты показываютъ только давленіе атмосферы съ верхней стороны книзу. Но для обнаруженія распространенія во всѣ стороны можетъ служить приборъ, называемый *магдебургскими полушаріями* по имени города, гдѣ онъ былъ изобрѣтенъ.

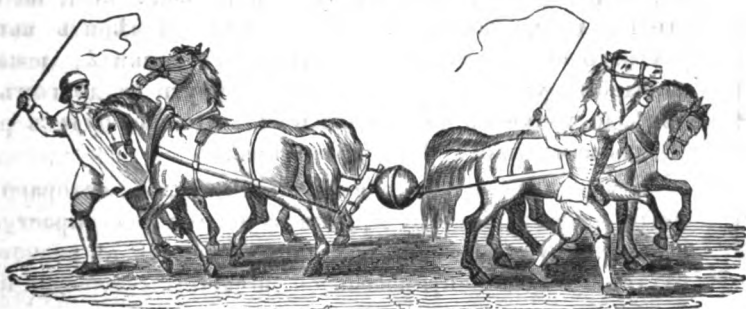
1) Изобрѣтатель этого прибора Отто-Герике приготовилъ два пустыхъ полушарія r и r изъ мѣди, которыхъ края (Фиг. 534) прикладываются другъ ко другу. — Смазавъ края



эти саломъ и приложивъ ихъ плотно другъ ко другу, разрѣживаютъ до самой возможной степени воздухъ въ шарѣ при помощи крана h . Полушарія эти, распадающіяся прежде сами собою, сжимаются такъ сильно отъ давленія наружнаго воздуха, что не могутъ быть разъединены безъ значительнаго усилія, въ какомъ бы направленіи мы не держали приборъ, что служитъ явнымъ доказа-

тѣлствомъ дѣйствія воздуха по всѣмъ направленіямъ. Давленіе это бываетъ такъ значительно, что даже нѣсколько лошадей, припряженныхъ къ кольцамъ полушарій, не въ состояніи ихъ отдѣлнить другъ отъ друга. Любопытный опытъ этотъ (фиг. 535) былъ произведенъ

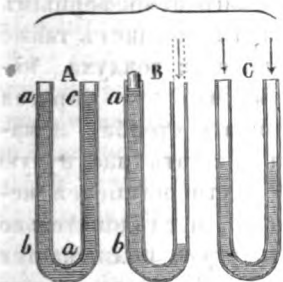
Фиг. 535.



первый разъ въ 1650 году на Имперскомъ Сеймѣ въ Регенсбургѣ, въ присутствіи Императора Фердинанда III, окруженнаго многими Имперскими Князьями, и возбудилъ удивленіе всѣхъ зрителей. Радіусъ этихъ шаровъ равнялся 15 парижскимъ дюймамъ; слѣдовательно поверхность ихъ простиралась до $2827\frac{1}{2}$ квадратныхъ дюймовъ. 16 лошадей, припряженныхъ къ кольцамъ полушарій, не въ состояніи были разъединить ихъ.

§ 171. Величина же давленія воздуха можетъ быть опредѣлена различными средствами. Предположимъ, что изогнутая трубка *A* (фиг. 536) наполнена ртутью. Такъ какъ Величина давленія воздуха.

Фиг. 536.



какъ показываетъ *B*. При этомъ очевидно, что гидростатическое давленіе ртутнаго столба *ab* удерживается въ равновѣсіи только давленіемъ на ртуть воздушнаго столба, который находится въ правомъ колѣнѣ и продолжается внѣ трубки на всю высоту атмосферы. Если вынуть пробку изъ отверстія *a*, то ртуть упадетъ мгновенно и займетъ въ обоихъ рукавахъ, какъ показываетъ *C*, одинаковую высоту, потому что теперь воздухъ давитъ съ одинаковою силою на оба отверстія, и тѣмъ самымъ удерживаетъ ртуть въ равновѣсіи.

Опытъ этотъ производитъ нѣсколько иначе, если мы употребимъ Фиг. 537. для нею стеклянную трубку (Фиг. 537) значительной длины, такъ чтобы каждое колѣно ея простиралось въ высоту почти до 36 дюймовъ. Закрывая отверстие *a* пробкою, мы увидимъ, что ртуть не останется въ запертомъ колѣнѣ, подобно тому какъ въ трубкѣ *B* (Фиг. 536), но опустится до известной точки *c*. Если измѣрить высоту ртутнаго столба въ этомъ колѣнѣ отъ точки *b*, лежащей на одномъ уровнѣ съ поверхностію ртути въ другомъ колѣнѣ до точки *c*, то мы найдемъ, что она будетъ равна 30 дюймамъ или 760 миллиметрамъ.



Отсюда слѣдуетъ, что воздушный столбъ, котораго діаметръ равенъ діаметру трубки, а высота простирается во всю вышину атмосферы, можетъ удерживать въ равновѣсіи ртутный столбъ произвольной, но *опредѣленной* величины.

Если поперечникъ взятой нами трубки равенъ 1 квадратному дюйму, то давленіе двухъ силъ, удерживающихъ другъ друга въ равновѣсіи, будетъ имѣть слѣдующую величину: съ одной стороны — гидростатическое давленіе ртутнаго столба, имѣющаго 1 квадратный дюймъ ширины и 30 дюймовъ высоты, и слѣдовательно заключающій въ себѣ 30 кубическихъ дюймовъ ртути, а съ другой стороны — давленіе воздушнаго столба, имѣющаго также въ ширину 1 квадратный дюймъ, но за то простирающійся во всю высоту атмосферы.

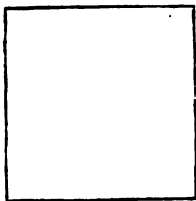
Такой ртутный столбъ вѣситъ около 15 фунтовъ; слѣдовательно и воздушный столбъ, котораго поперечникъ равенъ 1 квадратному дюйму, будетъ вѣсить также 15 фунтовъ.

При этомъ должно замѣтить, что ртутный столбъ *bc* (Фиг. 537) служитъ не только мѣрою давленія, обнаруживаемаго атмосфернымъ воздухомъ вслѣдствіе тяжести на поверхность ртути, но даетъ также величину той упругой силы, которою обладаютъ слои воздуха, находящіеся въ соприкосновеніи со ртутью, потому что эта упругая сила удерживаетъ въ равновѣсіи давленіе воздушнаго столба, лежащаго надъ поверхностію ртути. Поэтому, если покрыть изогнутую трубку *ab* стекляннымъ колпакомъ, то высота ртути останется неизмѣнною. Нагрѣвая же воздухъ подъ колпакомъ, и слѣдовательно увеличивая упругую силу его, мы увидимъ, что ртуть поднимается точно также, какъ при охлажденіи воздуха въ колпакъ она опустится книзу.

Воздухъ, вслѣдствіе своей упругости на каждомъ мѣстѣ земли, передаетъ равномерно во всѣ стороны претерпѣваемое имъ давленіе, такъ что всякое окруженное воздухомъ тѣло выноситъ давленіе, соотвѣтствующее упругой силѣ тѣхъ слоевъ воздуха, которые лежатъ на одной высотѣ съ этими точками. Въ горизонтальныхъ слояхъ, отстоящихъ другъ отъ друга только на нѣсколько футовъ, разница въ давленіи воздуха весьма незначительна, поэтому, говоря о давленіи, претерпѣваемомъ тѣломъ обыкновеннаго протяженія, какъ наприм.

о давленіи дѣйствующемъ на тѣло человѣка, мы вправѣ сказать, что каждая единица его поверхности выноситъ равное давленіе. Поэтому, желая знать величину давленія атмосферы на поверхность какого ни-

Фиг. 538.



будь тѣла, намъ должно помножить число дюймовъ (фиг. 538), заключающееся въ этой поверхности, на величину давленія, выносимаго однимъ квадратнымъ дюймоу, или на 15 фунтовъ. Такъ напр., если поверхность стола имѣетъ 1378 квадратныхъ дюймовъ, то она будетъ претерпѣвать давленіе воздуха въ 20,670 фунта или 1378×15 .

Поверхность тѣла вѣрслага человѣка почти равна 1 квадратному метру. Поэтому давленіе, выносимое каждымъ изъ насъ, приблизительно равно 20,000 фунтамъ. Съ перваго взгляда кажется удивительнымъ, какимъ образомъ человѣкъ можетъ выносить подобную тяжесть. Но должно замѣтить, что это давленіе дѣйствуетъ на человѣка равномерно со всѣхъ сторонъ, сверху и снизу, спереди и сзади, справа и слѣва, и поэтому не можетъ служить препятствіемъ при его движеніи. Но при этомъ рождается новый вопросъ: почему же это сильное давленіе, дѣйствующее на человѣка равномерно со всѣхъ сторонъ, не сжимаетъ и не сдавливаетъ его въ меньшій объемъ? Для разрѣшенія этого вопроса обратимъ вниманіе на тѣ части, изъ которыхъ состоитъ тѣло человѣка: заключающіяся въ немъ кости въ состояніи выдерживать гораздо значительнѣйшее давленіе; всѣ же воздухообразныя вещества, находящіяся во внутренности нашего тѣла, очевидно противоудствуютъ внѣшнему давленію; что же касается до жидкостей, то намъ должно припомнить только незначительность ихъ сжимаемости. Нѣжныя оболочки отдѣльныхъ сосудовъ не могутъ быть также прорываемы внѣшнимъ давленіемъ, потому что оболочки эти претерпѣваютъ равномерное давленіе съ обѣихъ сторонъ, какъ съ наружной, такъ и со внутренней. Для раздавливанія этихъ оболочекъ внѣшнее давленіе не имѣетъ достаточной силы, потому что на каждый квадратный миллиметръ приходится давленіе, простирающееся до $\frac{3}{8}$ лота. Давленіе воздуха было бы только въ томъ случаѣ ощутительно для насъ, если бы оно дѣйствовало только на одну какую нибудь сторону нашего тѣла въ то время, когда противоположная сторона освобождена отъ этого давленія. Такъ напр., если держать руку надъ отверстіемъ стакана, въ которомъ воздухъ разрѣженъ сожженіемъ бумаги. Давленіе будетъ еще болѣе ощутительнымъ, если отъ одной стороны руки удалить воздухъ посредствомъ воздушнаго насоса.

Какую важную роль играетъ давленіе воздуха въ животномъ организмѣ, показываютъ остроумныя изслѣдованія, произведенныя братьями Веберами.

При разсмотрѣніи костей человѣческаго тѣла представляется слѣдующее явленіе. Съ каждой боковой стороны *таза*, поддерживающаго

Фиг. 539.



углубленіяхъ таза, то очевидно, что согласно этому вращенію нога можетъ двигаться во всѣ стороны.

Весь составъ обтянутъ плотною оболочкой, которая соединяетъ тазъ съ верхней частию кости ноги. Братья Веберы, производя опытъ надъ трупомъ, отрѣзали тѣ мускулы, которые соединяютъ тазъ съ костями ногъ; нога свободно двигающаяся въ углубленіи таза не упала книзу, до тѣхъ поръ, пока не была прорѣзана плотная оболочка, связывающая углубленіе таза съ верхней частию ноги. Обстоятельство это показываетъ, что не мускулы поддерживаютъ ногу, но собственно давленіе воздуха, дѣйствующее на наружную часть плотной оболочки. Это значитъ, что вѣсъ ноги удерживается въ равновѣсіи давленіемъ, обнаруживаемымъ на нее атмосфернымъ воздухомъ со всѣхъ сторонъ. Поэтому при ходьбѣ мы не должны употреблять никакого усилія, чтобы поддерживать на воздухѣ ту ногу, которая не стоитъ на землѣ, не взирая на то, что вѣсъ ея довольно ощутителенъ.

Справедливость этого заключенія можетъ быть подтверждена слѣдующимъ опытомъ: насквозь кости таза было продѣлано небольшое отверстіе, по направленію къ верхней части кости; нога упала въ то мгновеніе, когда оконечность инструмента достигла до промежуточнаго пространства между внутреннею стороною углубленія таза и верхушкою кости ноги, хотя къ послѣдней не прикасался вовсе инструментъ. Вставивъ послѣ того кость въ углубленіе таза, такъ чтобы между соединенными частями заключалось близкое прикосновеніе и закрывъ отверстіе продѣланное въ тазѣ, нашли, что нога снова удерживалась давленіемъ воздуха; она опять падала, когда открывали отверстіе.

Давленіе воздуха поддерживаетъ одинаковымъ образомъ и руки.

§ 172. Барометръ. Описанный нами приборъ (фиг. 537) для измѣренія давленія воздуха весьма неудобенъ при точныхъ изслѣдованіяхъ, потому что въ немъ подъ пробку *a* можетъ проникать воздухъ, упругая сила

котораго будетъ давить на поверхность ртути *c*, чрезъ что ртутный столбъ *bc* не будетъ уже служить точною мѣрою атмосфернаго давленія. Мы перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію инструментовъ доставляющихъ точные результаты.

Основаніемъ всѣхъ этихъ инструментовъ служить извѣстный опытъ, произведенный въ 1643 году Торричели ученикомъ Галилея.

Поводомъ къ этому опыту было слѣдующее обстоятельство. Древнимъ было извѣстно, что если погрузить трубку въ воду и потомъ посредствомъ вдыханія всасывать въ себя воздухъ, то вода въ противность законамъ гидростатики занимаетъ мѣсто оставленное воздухомъ и поднимается въ трубѣ выше уровня того резервуара, въ который погружена трубка. Для объясненія этого явленія древніе допускали предположеніе, что природа боится пустоты (*horror vacui* отвращеніе къ пустотѣ) и что на основаніи этого закона она въ состояніи поднять воду и поддерживать ее на извѣстной высотѣ. Считая совершенно удовлетворительнымъ объясненіе этого явленія, они воспользовались имъ для устройства насосовъ, поднимавшихъ воду съ низкихъ мѣстъ на возвышенныя. Для этого вставляли въ воду цилиндрическую трубку, въ которой посредствомъ отвѣснаго стержня двигался сплошной и плотно входящій поршень. вмѣстѣ съ поднятіемъ послѣдняго поднимали также воду, непосредственно лежавшую подъ нимъ. Во Флоренціи былъ сдѣланъ во время Галилея большой насосъ, посредствомъ котораго желали поднять воду на весьма значительную высоту, но когда вода была поднята въ немъ на высоту 34 футовъ, замѣтили съ величайшимъ удивленіемъ, что далѣе этого предѣла вода не поднималась болѣе, несмотря на то, что выше его оставалось еще безвоздушное пространство. Обстоятельство это явно противорѣчило господствовавшему въ то время объясненію поднятія воды. Для объясненія встрѣтившагося противорѣчія обратились къ Галилею, который отвѣчалъ на это съ усмѣшкою, что природа боится пустоты только до 34 футовъ. Современные писатели и біографы его говорятъ, что онъ считалъ самъ это объясненіе неудовлетворительнымъ и предполагалъ причину поднятія воды собственно въ давленіи воздуха, тяжесть котораго ему была извѣстна. Но къ сожалѣнію онъ умеръ, не разрѣшивши положительно этого вопроса, удовлетворительное объясненіе котораго было сдѣлано впоследствии однимъ изъ учениковъ его Торричели.

Основаніе его разсужденія по этому предмету заключалось въ слѣдующемъ. Если представить себѣ, что два столба различныхъ жидкостей удерживаютъ другъ друга въ равновѣсіи, то высоты этихъ столбовъ должны на основаніи гидростатическихъ законовъ быть обратно пропорціональны ихъ плотностямъ. Плотность ртути въ 13,6 разъ болѣе плотности воды. Если давленіе атмосферы дѣйствующее на поверхность воды, окружающей погруженный въ воду поршень, заставляетъ послѣднюю подниматься въ высоту на 34 фута, то очевидно,

что вслѣдствіе того тоже самое давленіе должно поддерживать ртутный столбъ въ $\frac{34}{13,6}$ фут., т. е. почти въ 30 дюймовъ.

Для повѣрки этого разсужденія на опытѣ поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Берутъ стеклянную трубку, имѣющую нѣсколько линий въ ширину и нѣсколько болѣе 30 дюймовъ въ длину. Трубка эта, запаянная съ одного конца, совершенно наполняется ртутью, а потомъ закрывается пальцемъ съ открытой стороны для того, чтобы при опрокидываніи трубки этимъ концомъ въ чашечку со ртутью послѣдняя не выливалась изъ самой трубки.

Если же по опрокинутіи трубки, какъ показано на фиг. 540, от-
 Фиг. 540. крыть снова свободное ея отверстіе, то ртуть опустится въ ней до извѣстной точки, которая будетъ находиться на 30 дюймовъ или 76 сантиметровъ отъ поверхности ртути въ чашечкѣ; опытомъ этимъ вполне доказывается справедливость вывода Торричели. Очевидно, что давленіе ртутнаго столба удерживается въ равновѣсіи давленіемъ воздуха на поверхность ртути въ чашечкѣ. И въ самомъ дѣлѣ, давленіе ртутнаго столба на тотъ слой, который лежитъ на одномъ уровнѣ съ остальною ртутью въ чашечкѣ, передается чрезъ всю массу ртути по всѣмъ направленіямъ, слѣдовательно и по отвѣсному направленію къверху, такъ, что каждая часть поверхности ртути въ чашечкѣ, соответствующая разрѣзу трубки, должна выносить съ нижней стороны тоже самое давленіе, которому подверженъ по отвѣсному направленію сверху слой ртути въ трубкѣ, лежащій на общемъ уровнѣ съ остальною жидкостью въ чашечкѣ.

Слѣдовательно равновѣсіе ртути въ чашечкѣ можетъ существовать только тогда, когда атмосферный воздухъ оказываетъ нижнему давленію одинаковое противодѣйствіе сверху, т. е. когда на каждую часть поверхности, соответствующую разрѣзу трубки происходитъ давленіе ртутнаго столба въ трубкѣ, однимъ словомъ, когда оно равно $h \cdot z$, гдѣ h означаетъ высоту, а z плотность ртути.

Надъ поверхностію ртути въ трубкѣ должно очевидно находиться *пустое* или чѣмъ-нибудь незазантое пространство, потому что если бы тамъ находился воздухъ, то упругая сила его заставляла бы понижаться ртутный столбъ, и вслѣдствіе того послѣдній не могъ бы уже служить точною мѣрою атмосфернаго давленія.

Устроенный такимъ образомъ приборъ называется *барометромъ*, самимъ пустота надъ поверхностію ртути въ трубкѣ *торричеллиевой пустотой*. Пустота эта происходитъ отъ того, что для опытовъ берутъ обыкновенно, какъ мы уже сказали, трубку болѣе 30 дюймовъ длиною; если бы мы взяли трубку имѣющую въ точности 30 дюймовъ, то ртуть наполнила бы совершенно всю трубку. Въ послѣднемъ случаѣ затруднительно было бы производить опытъ, потому что тогда отверстіе трубки должно было бы прикасаться къ поверхности ртути



въ чашечкѣ, причемъ воздухъ могъ легко бы проскакивать въ трубку и по легкости своей подниматься кверху.

Чтобы убѣдиться на самомъ дѣлѣ въ томъ, что давленіе ртути дѣйствительно поддерживается давленіемъ воздуха, поступаютъ различнымъ образомъ. Такъ напр. если вмѣсто запаянной сверху трубки употребить трубку обтѣнутую сверху пузырькомъ, который, какъ извѣстно, не пропускаетъ воздуха, и если потомъ сдѣлать въ пузырѣ отверстіе, то увидимъ, что ртуть въ трубкѣ тотчасъ упадетъ и расположится на одномъ уровнѣ съ остальною массою ртути въ чашечкѣ. Въ справедливости выведеннаго нами заключенія можно также убѣдиться другимъ образомъ. Представимъ себѣ, что на одну изъ чашекъ вѣсовъ положена гиря; ясно, что другая чашка тотчасъ поднимется; снявши же гирю съ первой чашки, мы увидимъ, что другая опустится. Обстоятельство это мы можемъ примѣнить къ барометру; положимъ, что отъ какихъ либо причинъ увеличилось давленіе на поверхность ртути въ чашечкѣ, очевидно, что поверхность ртути въ трубкѣ, освобожденная отъ давленія, должна при этомъ подняться точно также, если бы давленіе на поверхность ртути въ чашечкѣ уменьшилось, то поверхность ртути въ трубкѣ должна опуститься.

Мы бы могли подвергать барометръ подобнымъ измѣненіямъ въ давленіи атмосферы, поднимаясь съ нимъ на различныя высоты, гдѣ, какъ мы уже знаемъ, слои атмосферы должны производить различное давленіе. Если дѣйствительно существуетъ зависимость между давленіемъ ртути въ трубкѣ и давленіемъ атмосферы, то барометръ долженъ обнаруживать измѣненія въ давленіи послѣдней при нахожденіи на различныхъ высотахъ. Паскалю первому пришла на мысль повѣрять этимъ путемъ опытъ Торричелли. Онъ просилъ одного изъ своихъ родственниковъ опредѣлить высоту барометра на горѣ Пюнде-Домъ, гдѣ было найдено, что высота ртути въ трубкѣ дѣйствительно понизилась на 6 сантиметровъ, т. е. показывала 70, а не 76.

Не довольствуясь этимъ, Паскаль желалъ повѣрять самъ опытъ Торричелли въ 1646 году посредствомъ другой жидкости, которую онъ наполнилъ трубку вмѣсто ртути. Для этого была имъ взята запаянная съ одного конца трубка въ 15 метровъ длины; трубку эту онъ наполнилъ водою и опрокинулъ въ резервуаръ съ тою же жидкостью: вода остановилась въ трубкѣ на высотѣ въ 10^м 33, т. е. на высотѣ въ 13, 6 разъ болѣе противу высоты принимаемой ртути, а какъ вода обладаетъ въ 13, 6 разъ меньшею плотностію противу ртути, то ясно, что вѣсъ столба воды въ трубкѣ Паскаля былъ равенъ вѣсу столба ртути въ трубкѣ Торричелли. Это показываетъ, что въ обоихъ случаяхъ высоты жидкостей поддерживаются одинаковымъ давленіемъ атмосферы.

Перейдемъ теперь къ частному разсмотрѣнію устройства барометровъ. Инструментамъ этимъ даютъ различную форму, сообразно съ цѣлю ихъ употребленія. Но при каждой формѣ должны быть выполнены постоянно извѣстныя условія, если желаютъ, чтобы показанія барометра были точны.

1) Ртуть должна быть весьма чиста, потому что съ прибавленіемъ различныхъ примѣсей должна измѣняться ея плотность; сверхъ того неочищенная ртуть пристаётъ къ стеклу.

Ртуть, обыкновенно встрѣчаемая въ торговлѣ, почти никогда не имѣетъ надлежащей чистоты. Самый лучший способъ очищенія заключается въ промывкѣ ея въ чистой, но значительно разведенной азотной кислотѣ: погруженная въ этотъ растворъ ртуть взбалтывается нѣсколько разъ.

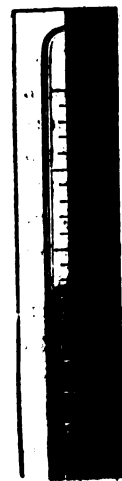
Если этимъ способомъ желаютъ очистить ртуть отъ всѣхъ нечистотъ, то оставляютъ ее въ кислотѣ въ теченіи нѣсколькихъ недѣль. По удаленіи ртути изъ кислоты должно наблюдать, чтобы въ ней не оставалось даже слѣда кислоты: для этого тщательно промываютъ ее нѣсколько разъ перегнанною водою.

Очищенная ртуть заключаетъ весьма часто въ растворѣ ртутную окись, которая можетъ быть удалена отъ промывки ртути въ слабомъ растворѣ сѣрнистаго аммонія.

2) Высота ртутнаго столба, поддерживаемаго давленіемъ воздуха, должна быть измѣряема съ точностію. Это только тогда возможно, когда барометрическая трубка имѣетъ совершенно вертикальное направленіе. Для измѣренія высоты ртутнаго столба помѣщается возлѣ ея раздѣленная на части линейка, называемая масштабомъ или скалою. На этомъ масштабѣ находится подвижной указатель, который обгибаетъ часть стеклянной трубки и соединяется съ нониусомъ. Указатель этотъ ползаетъ по длинѣ трубки къ тому мѣсту, гдѣ останавливается верхушка ртутнаго столба, послѣ чего на нониусѣ отсчитываютъ число дѣлений, соответствующее этому мѣсту. При этомъ должно держать глазъ на одной высотѣ съ верхушкою ртути, потому что въ противномъ случаѣ указатель не будетъ приходиться въ точности противу верхушки, а будетъ выше или ниже ея, судя по самому положенію глаза.

Иногда дѣленія проводятся на самой трубкѣ и вытравляются на ней кислотою, или наконецъ помѣщаютъ дѣленія позади трубки, такъ что глазъ, наблюдающій верхушку столба, видитъ прямо соответствующее ей дѣленіе. Но и въ этихъ случаяхъ можетъ произойти таже ошибка какъ и при указателѣ въ томъ случаѣ, когда глазъ не находится на одной высотѣ съ вершиною ртутнаго столба.

Для устраненія этихъ ошибокъ В. Веберъ придумалъ слѣдующее остроумное Фиг. 541а. устройство. Дѣленія проводятся на передней сторонѣ толстаго зеркальнаго стекла (фиг. 541а), задняя сторона котораго амальгамирована наполовину по своей длинѣ, такъ что смотря на стекло спереди, мы будемъ видѣть одну половину прозрачную, а другую въ видѣ зеркала. Барометрическая трубка помѣщается позади этой стеклянной полоски такимъ образомъ, чтобы середина ея въ точности приходилась противу черты, отдѣляющей зеркальную часть полоски отъ прозрачной, слѣдовательно чтобы была видна только половина ртутнаго столба. Если скала расположена отвѣсно, то точка зеркала, въ которой наблюдатель видитъ изображеніе своего глаза, должна лежать въ точности на одной высотѣ съ самымъ глазомъ; поэтому если наблюдатель видитъ изображеніе своего глаза возлѣ самой верхушки ртутнаго столба, то значитъ, что глазъ расположенъ правильно и потому нечего опасаться ошибки въ отсчитываніи дѣлений.



Въ этомъ заключается существенная выгода придуманнаго Веберомъ устройства, которое сверхъ того можетъ даже замѣнять собою самый нониусъ. Ясно, что въ зеркалѣ мы должны видѣть изображеніе дѣлений, но въ изображеніи растаніе между двумя дѣленіями должно казаться менѣе противу дѣйствительнаго, потому что изображеніе дѣлений представляется наблюдателю такъ точно, какъ бы они были отодвинуты назадъ на двойную толщину стекла. Слѣдовательно дѣ-

ленія находятся въ такомъ отношеніи къ своимъ изображеніямъ, какъ дѣленія самаго масштаба къ дѣленіямъ нониуса. Но при точномъ отсчитываніи дѣленій по такому способу требуется большой навыкъ отъ наблюдателя.

При барометрахъ иногда устрояютъ лупы для того, чтобы имѣть возможность удобнѣе наблюдать верхушку ртути въ трубкѣ. Понятно, что лупы эти должны быть установлены надлежащимъ образомъ.

3) Мы уже говорили, что надъ вершиною ртути въ трубкѣ должно находиться совершенно безвоздушное пространство. Для достиженія этой цѣли вывариваютъ ртуть въ трубкѣ слѣдующимъ образомъ. Наполняютъ до $\frac{1}{4}$ трубки ртутью и нагреваютъ по всему протяженію ея трубку, держа послѣднюю надъ раскаленными углями. Послѣ кипяченія ртути прибавляютъ въ трубку новое количество ртути, которая должна быть предварительно нѣсколько нагрѣта, потому что въ противномъ случаѣ трубка можетъ треснуть. Это новое количество прилитой ртути вывариваютъ точно также какъ и предыдущее и поступаютъ такимъ образомъ до тѣхъ поръ, пока вся трубка не будетъ подвержена подобному нагреванію. Послѣ того приливаютъ еще немного нагрѣтой ртути для того, чтобы совершенно наполнить трубку. Съ помощью этого способа удаляется какъ воздухъ такъ и влага, пристающіе ко внутреннимъ стѣнкамъ трубки.

Если въ торричеліевой пустотѣ остается еще немного воздуха, то присутствіе его можетъ быть обнаружено слѣдующимъ образомъ: нагибаютъ трубку и смотрятъ, наполнилась ли она совершенно ртутью или остаются еще на вершинѣ трубки пузырьки воздуха. Должно впрочемъ замѣтить, что какъ бы не была чиста ртуть, всегда, спустя извѣстное время, въ пустоту барометра проникаетъ нѣкоторое количество воздуха; происходящая отъ того ошибка въ показаніяхъ барометра очевидно бываетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе самый объемъ, занимаемый торричеліевой пустотою.

Чѣмъ долѣе кипятятъ ртуть въ трубкѣ, тѣмъ плоше бываетъ вершина ртутнаго столба, такъ что послѣдняя можетъ быть даже доведена почти до полной горизонтальности. Это принимали прежде за доказательство, что воздухъ совершенно удаленъ изъ трубки; но Дюлонъ показалъ, что выпрямленіе вершины ртутнаго столба происходитъ отъ примѣси незначительнаго количества ртутной окиси, которая увеличиваетъ притяженіе между стекломъ и ртутью. Это притяженіе образуется въ продолженіе вывариванія.

На этомъ основаніи въ новѣйшее время при устройствѣ барометровъ весьма часто не употребляютъ вывариванія, а довольствуются для удаленія воздуха и влаги, пристающихъ къ стеклу, наполненіемъ трубки теплою ртутью. Въ барометрахъ, состоящихъ изъ чашечки и прямой трубки, для наполненія ртути берутъ тонкаго діаметра стеклянную трубку, оканчивающуюся воронкой; трубку эту погружаютъ до самаго основанія барометрической трубки и наливаютъ чрезъ посредство этой длинной воронки теплую ртуть. Но ртуть влитая такимъ образомъ всегда даетъ возвышеніе на своей вершинѣ.

Морь для избѣжанія продолжительнаго и труднаго нагреванія ртути приложили соединять наполненную ртутью трубку съ воздушнымъ насосомъ, для того чтобы удалить изъ ртути воздухъ.

Трубки, употребляемыя для барометровъ, не должны быть слишкомъ узки, потому что, какъ было замѣчено выше, небольшой пузырекъ воздуха проникающій въ торричеліеву пустоту оказываетъ тѣмъ меньшее вліяніе на показанія барометра, чѣмъ значительнѣе пространство занимаемое пустотою. Для точныхъ барометровъ употребляютъ трубки, которыхъ діаметръ неменѣе 6'''.

Узкія трубки имѣютъ еще то неудобство, что онѣ дѣлаютъ барометры мало чувствительными, потому что при нихъ оказывается значительнымъ треніе ртути о стѣны трубки, въ особенности если въ ртуть заключается примѣсь ртутной окиси. Это треніе иногда бываетъ такъ велико, что даже значительныя измѣненія въ давленіи воздуха не могутъ быть обнаруживаемы баромет-

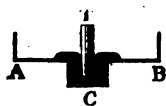
рами съ самымъ узкимъ трубками. Чтобы доставить ртути надлежащую подвижность, обыкновенно встряхиваютъ во времямъ весь инструментъ. Даже въ барометрахъ, употребляемыхъ для показанія погоды, діаметръ трубки не долженъ быть меньше одной линіи,

Исправ-
леніе ба-
рометр.
наблю-
деній.

§ 173. При наблюденіяхъ посредствомъ барометра должно принимать во вниманіе двѣ ошибки, изъ которыхъ одна можетъ происходить отъ *капиллярности*, а другая отъ *температуры*.

Какъ ртуть не пристаегъ къ стеклу, то вслѣдствіе капиллярности происходитъ пониженіе ртутнаго столба въ трубкѣ. Для освобожденія показаній барометра отъ этой ошибки прибѣгаютъ къ помощи таблицъ, въ которыхъ показана величина пониженія, соотвѣтствующая трубкамъ различнаго діаметра. Таблицы эти будутъ приведены нами при изложеніи законовъ капиллярности. Зная внутренній діаметръ барометрической трубки и величину пониженія соотвѣтствующаго этому діаметру вслѣдствіе капиллярности, прибавляютъ эту величину къ найденной высотѣ ртутнаго столба.

Кромѣ того вслѣдствіе волосности происходитъ также пониженіе ртути въ самой чашечкѣ между трубкой и стѣнками. Это пониженіе составляетъ половину пониженія, происходящаго въ трубкѣ, которой діаметръ составляетъ половину разстоянія между трубкой и стѣнками. Слѣдовательно для полученія истинной высоты должно прибавить къ наблюдаемой высотѣ пониженіе, происходящее въ трубкѣ, и вычесть пониженіе обнаруживаемое чашечкой. Въ барометрахъ, не употребляемыхъ для переноски, и употребляемыхъ обыкновенно на обсерваторіяхъ, берутъ трубки большаго діаметра и особеннаго устройства чашечку, дающую постоянный уровень. Устройство этихъ чашечекъ основано на свойствѣ большой капли ртути сохранять постоянную высоту: чашечка оканчивается сглаженною горизонтальною поверхностію *AB* (фиг. 541b), на которой ртуть образуетъ каплю не достигающую до краевъ.



Въ такомъ случаѣ верхній уровень капли постояненъ. Но для этого необходимо, чтобы измѣненія въ давленіи воздуха не были слишкомъ значительны; въ противномъ случаѣ капля можетъ увеличиться и достигнуть краевъ или наконецъ уйти въ *C*. —

Что же касается до температуры, то должно замѣтить, что при вслѣдствіи измѣненіи ея происходитъ или разширеніе или суживаніе ртути. Вслѣдствіе измѣненія объема ртути измѣняется плотность ея, а слѣдовательно и высота ртутнаго столба, потому что эта высота на основаніи гидростатическихъ законовъ находится въ обратномъ отношеніи къ плотности жидкости, заключающейся въ трубкѣ. Поэтому при различныхъ давленіяхъ атмосферы мы бы могли имѣть одинаковую высоту ртути въ барометрѣ. Это показываетъ намъ, что при каждомъ наблюденіи должно приводить высоту ртутнаго столба къ той высотѣ, которая соотвѣтствуетъ какой нибудь условной и неизмѣнной температурѣ. За эту условную температуру принимаютъ ту,

которая соотвѣтствуетъ таянію льда. Въ статьѣ о теплотѣ мы покажемъ, какимъ образомъ производится это исправленіе посредствомъ вычисленія. Вліяніе температуры на показанія барометра заставляетъ присовокуплять къ нему термометръ.

Для приведенія высоты барометра къ температурѣ 0° составлены таблицы поправокъ. Таблицы эти могутъ быть найдены въ извѣстномъ французскомъ изданіи: *Annuaire du bureau des longitudes*, (1833 года).

Кромѣ того отъ перемены температуры измѣняется длина самаго масштаба, опредѣляющаго высоту ртутнаго столба. Положимъ, что при извѣстной температурѣ, напр. при 0° , высота послѣдняго приходилась противу 27 дѣленій и что при сохраненіи неизмѣнности прочихъ обстоятельствъ увеличилась только одна температура. Какъ вслѣдствіе этого увеличенія удлинится масштабъ, то значить, что 27-ое дѣленіе, находящееся въ верхней части его, подвинется еще болѣе вверхъ, такъ что противу высоты ртути придется уже меньшее дѣленіе. Слѣдовательно масштабъ будетъ намъ показывать въ этомъ случаѣ высоту ртутнаго столба менѣе противу настоящей, т. е. той, которая соотвѣтствовала нулю.

Съ пониженіемъ же температуры полоса, на которой проведенъ масштабъ, съюзится и потому 27-ое дѣленіе опустится книзу; значить, масштабъ будетъ теперь уже показывать высоту ртутнаго столба болѣе противу надлежащей. Изъ этого слѣдуетъ, что теплота, увеличивающая высоту ртутнаго столба въ трубкѣ, уменьшаетъ ее дѣйствіемъ своимъ на скалу. Если бы разширенія и суживанія обнаруживаемыя отъ одного и того же дѣйствія теплоты на ртуть и на вещество масштаба были одинаковы, то очевидно, что на сколько бы поднялась или опустилась вершина ртути, на столько бы поднялось или опустилось и соотвѣтствующее ей дѣленіе масштаба.

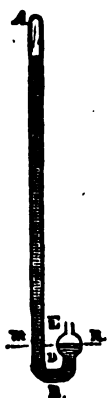
Но на самомъ дѣлѣ разширеніе ртути и разширеніе вещества масштаба, который дѣлается изъ латуни, бываютъ различны: разширеніе латуни значительно менѣе противу разширенія ртути. Слѣдовательно при точныхъ наблюденіяхъ, кромѣ приведенія показаній барометра къ 0° , должно еще обращать вниманіе и на различіе разширенія ртути и масштаба.

§ 174. Показавъ условія, необходимыя для доставленія показаній барометра точности, перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію различнаго рода барометровъ.

Различныя устройства барометровъ.

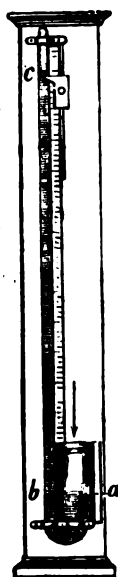
Описанный нами барометръ, состоящій изъ трубки и чашечки, представляетъ большія неудобства при употребленіи его, въ особенности при переноскѣ. Барометръ самаго обыкновеннаго устройства пред-

Фиг. 542



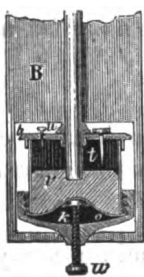
ставленъ на фиг. 542. Загнутая трубка *AB* оканчивается въ немъ шарикомъ *DE*, открытымъ сверху. Высота ртутнаго столба, выносящая давленіе воздуха, измѣрится въ немъ, начиная отъ линіи *mn*, потому что объ массы ртути *Bm* и *Bn*, лежащія ниже горизонтальной линіи, удерживаются въ равновѣсіи другъ другомъ. Но этотъ способъ опредѣленія высоты ртути допускаетъ нѣкоторую ошибку въ томъ случаѣ, если началомъ дѣленія масштаба принимается какая нибудь постоянная точка, потому что самая высшая точка ртути въ широкомъ колѣнѣ, отъ которой считается высота ртути въ трубкѣ, поднимается и опускается при каждомъ измѣненіи уровня ртути въ узкомъ колѣнѣ. Но эта ошибка въ барометрахъ, назначаемыхъ для обыкновеннаго употребленія, можетъ быть уменьшена до такой значительной степени, которая позволяетъ совершенно пренебрегать разницею между началомъ дѣленія и верхнею точкою ртути въ уширенномъ колѣнѣ. Для этого широкому колѣну даютъ значительно большій діаметръ передъ узкою трубкою. Положимъ, что діаметръ *DE* въ 6 разъ болѣе противу діаметра трубки; слѣдовательно разрывъ первой будетъ въ 36 разъ болѣе противъ послѣдней. Поэтому измѣненіе въ высотѣ ртути барометра, равное одной линіи, заставитъ поверхность ртути въ уширенномъ колѣнѣ отодвинуться отъ начала дѣленія масштаба только на $\frac{1}{36}$ линіи. Понятно, что происходящая при этомъ ошибка въ наблюденіяхъ, производимыхъ не съ ученою цѣлю, можетъ быть совершенно пренебрегаема.

Фиг. 543.



На фиг. 543 представленъ этотъ барометръ въ такомъ видѣ, какъ его употребляютъ при обыкновенныхъ ежедневныхъ наблюденіяхъ въ обществѣ. Какъ эти барометры не употребляются для точныхъ измѣреній, то обыкновенно придѣлываютъ масштабъ только къ верхней части трубки.

Фиг. 544 и 545.



Значительное улучшеніе въ барометрѣ съ чашечкою сдѣлано Фортенемъ (фиг. 544). Онъ отличается отъ предъидущаго барометра тѣмъ, что въ немъ ртуть нижняго сосуда сохраняетъ постоянный уровень. Дно этого сосуда состоитъ изъ замшеваго мѣшка *l*, лежащаго противу винта *z*. При вращеніи этого винта опускается или поднимается поверхность ртути въ чашечкѣ (фиг. 545). Отъ крышки чашечки опускается книзу остроконечный штифтъ изъ слоновой кости или изъ платины, который отражается на блестящей поверхности ртути. Посредствомъ

вращенія винта легко приводитъ поверхность ртути въ точное прикосновеніе съ остроконечіемъ штифта, что происходитъ въ томъ случаѣ, если оконечность штифта прикасается къ оконечности своего изображенія. Эта оконечность и служитъ нулевой точкой скалы барометра.

Барометрическая трубка оправляется въ этомъ барометрѣ въ металлическій чехолъ, въ верхней части котораго продѣланы двѣ щели, *Фиг. 546.* діаметрально лежащія другъ къ другу (*Фиг. 546*), посред-

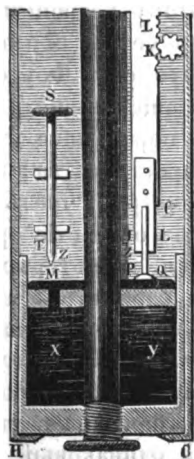
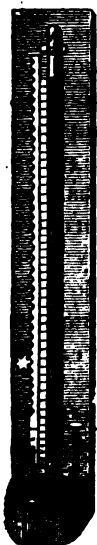


ствомъ ихъ наблюдаютъ верхушку ртутнаго столба. На металлической трубкѣ проведены дѣленія, нулевая точка которыхъ соотвѣтствуетъ оконечности штифта, къ которой подводится поверхность ртути. При этомъ устройствѣ можно бы прямо отсчитывать высоту барометрическаго столба по дѣленіямъ трубки; но для избѣжанія ошибки, которая можетъ произойти отъ неправильнаго положенія глаза относительно верхушки ртути къ металлической трубкѣ, придѣлывается снаружи широкое кольцо. Въ этомъ кольцѣ находятся также двѣ щели, соотвѣтственно щелямъ металлической трубки, съ тою только разницею, что первыя сдѣланы шире послѣднихъ, для того, чтобы удобнѣе можно было видѣть чрезъ нихъ дѣленія трубки. Верхніе края обѣихъ щелей кольца лежатъ совершенно на одной высотѣ. Кольцо это устанавливаютъ такъ, чтобы верхушки и оба верхніе края его лежали на одной линіи, т. е. чтобы линія зрѣнія была касательною къ верхушкѣ ртути. Послѣ того стоитъ только обратить вниманіе, какое дѣленіе трубки соотвѣтствуетъ этой линіи зрѣнія. Для опредѣленія частей отдѣльныхъ дѣленій къ кольцу придѣлывается нониусъ.

Приведеніе нуля дѣленій скалы достигается также посредствомъ устройства, приданнаго барометру Парротомъ (*Фиг. 547*).

Фиг. 547 и *548.*

На *Фиг. 548*-й представлена нижняя часть этого барометра, заключающая собственно сущность устройства. Трубка *AB* опускается въ этомъ барометрѣ въ чашечку, раздѣленную дощечкой *ZZ* на двѣ части, которыя сообщаются между собою посредствомъ небольшого отверстія *V*. Нижняя часть чашечки наполнена совершенно ртутью, которая поднимается выше отверстія *V* и покрываетъ только одно дно верхней части чашечки. На поверхности ртути въ послѣдней плаваетъ легкій поплавочекъ изъ слоновой кости, имѣющій видъ небольшого полуцилиндра *PQ* съ разширеннымъ основаніемъ. Верхняя часть этого

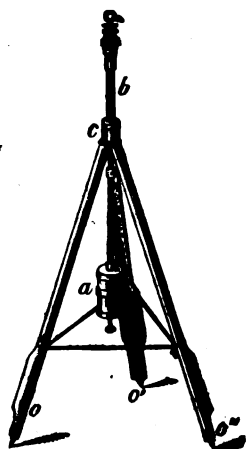


Часть I.

поплавокъ входитъ въ пустоту небольшого цилиндра изъ основной кости, приделаннаго къ нижней части скалы *LL*, которая можетъ быть поднимается и опускается вдоль барометрической трубки, посредствомъ зубчатого колеса *K*. Устройство это даетъ возможность легко приводить начало дѣлений скалы къ поверхности ртути. Съ этою цѣлю на цилиндрѣ *F* означены части прямой линіи возлѣ *J* и нижняго *L*, а на поплавкѣ проведена горизонтально кольцообразная линія. Посредствомъ зубчатого колеса *K* приводятъ обѣ эти линіи въ совпаденіе между собою. Дѣленія на скалѣ проведены такимъ образомъ, что нуль ихъ лежитъ на одномъ уровнѣ съ поверхностію ртути только тогда, когда происходитъ совпаденіе обѣихъ линій, о которыхъ мы говорили выше.

Барометръ этотъ весьма удобно приспособленъ къ переноскѣ. Для этого сперва наклоняютъ немного барометръ къ той сторонѣ, въ которой находится отверстіе *V*, сообщающее верхнюю и нижнюю части чашечки; во время этого наклоненія ртуть трубки будетъ подниматься въ барометрическую пустоту до тѣхъ поръ, пока не наполнитъ ея совершенно, а ртуть, лежащая на днѣ верхней части чашечки, стекаетъ въ нижнюю часть ея, въ замѣнъ ртути, которая убыла для наполненія пустоты. Потомъ закрываютъ штифтикомъ *ST* отверстіе *V* и переворачиваютъ барометръ такъ, чтобы чашечка находилась вверхъ. Передъ новымъ наблюденіемъ поднимаютъ вверхъ закрытый конецъ трубки и приводятъ его въ наклонное положеніе, вынимаютъ штифтикъ изъ отверстія; потомъ приводятъ понемногу трубку въ отвѣсное положеніе, при чемъ ртуть опускается въ трубкѣ и поднимается въ верхнюю часть чашечки до поплавка.

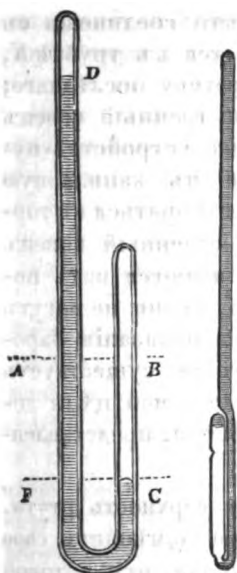
Фиг. 549.



Чтобы при неизбежныхъ толчкахъ и сотрясеніяхъ, происходящихъ при переноскѣ барометра съ одного мѣста наблюденія на другое, предохранить его отъ разбитія, употребляютъ различныя устройства, между которыми наиболѣе употребительное представлено на фигурѣ 549-й. Къ этому устройству приспособляются легко барометры Фортеня и Паррота. Для этого въ барометрѣ Фортеня поднимаютъ посредствомъ вращенія винта нижнее дно чашечки до тѣхъ поръ, пока ртуть не займетъ всего пустаго пространства; послѣ того оборачиваютъ барометръ, чрезъ что ртуть чашечки закрываетъ отверстіе трубки. Во время переноски, ножки, на которыхъ обыкновенно устанавливается барометръ, сближаются, въ углубленія выдающихся частей ихъ входитъ чашечка.

Но гораздо удобнѣе для переноски *сифонный барометръ*, устроенный Гэ-Люссакомъ. Основанія этого барометра заключаются въ слѣдующемъ. Представимъ себѣ, что мы имѣемъ изогнутую стеклянную трубку, имѣющую по всей длинѣ своей одинаковый діаметръ, и что

эта трубка наполнена ртутью, которая въѣдствие давленія воздуха, Фиг. 550 и 551. проходящаго чрезъ небольшое отверстіе, приняла положеніе DC (фиг. 550). Если провести



отъ какой нибудь точки трубки произвольную горизонтальную линію AB и потомъ измѣрить разстоянія ея до уровней ртути C и D , то сумма обоихъ этихъ разстояній дастъ намъ высоту ртутнаго столба FD . Устроенные на этихъ началахъ барометры, представляютъ кромѣ удобства переноски еще ту важную выгоду, что въ нихъ высота ртутнаго столба не зависитъ отъ капиллярности. И въ самомъ дѣлѣ, какъ оба рукава этого барометра имѣютъ одинаковый діаметръ, то очевидно, что на сколько понизится ртуть отъ капиллярности въ верхнемъ колѣнѣ, на столько она понизится отъ той же причины и въ нижнемъ: слѣдственно высота ртутнаго столба будетъ одинакова какъ и въ томъ случаѣ, когда бы капиллярности не существовало. Къ неудобствамъ этого барометра должно отнести

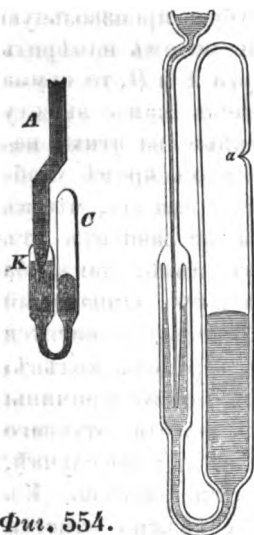
трѣніе ртути объ стѣнки узкой трубки и потому онъ требуетъ встряхиванія при наблюденіяхъ.

Частное устройство барометра Гэ-Люссака основано преимущественно на приспособленіи его къ переноскѣ. На Фиг. 551 представлена трубка, служащая основаніемъ этого барометра; въ нижнемъ колѣнѣ ея находится небольшое отверстіе, величина котораго рассчитана такимъ образомъ, чтобы посредствомъ него могъ проникать въ трубку воздухъ, но чтобы ртуть не могла выливаться изъ трубки. Поэтому трубку можно переворачивать нисколько не опасаясь пролитія ртути.

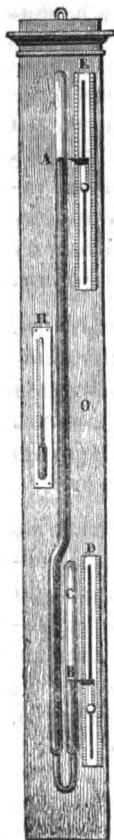
Это удобство, основанное на желаніи приспособить барометръ къ переноскѣ, по замѣчанію Реньо, лишаетъ барометръ чувствительности. И въ самомъ дѣлѣ барометръ долженъ показывать намъ самыя малѣйшія разности въ давленіи атмосферы: чѣмъ уже отверстіе, чрезъ которое проникаетъ воздухъ во внутренность трубки, тѣмъ очевидно менѣе могутъ быть обнаруживаемы разности въ упругости его.

Для того, чтобы воздухъ не могъ проникать изъ одного колѣна въ другое и попадать такимъ образомъ въ торричеліеву пустоту, оба колѣна соединены между собою капиллярною трубкой. При оборачиваніи барометра трубка эта всегда бываетъ наполнена ртутью, и представляетъ поэтому сопротивленію къ прохожденію воздуха въ длинное колѣно. Впрочемъ при сильныхъ толчкахъ небольшая колонна ртути, заключающаяся въ этой трубкѣ, можетъ также разъединяться и чрезъ то доставлять возможность воздуху проходить изъ короткаго въ длинное колѣно.

Для устраненія этого неудобства Бунтенъ придалъ трубкѣ барометра нѣкоторое измѣненіе, представленное на фиг. 552. Капиллярная



Фиг. 554.



трубка вмѣсто непосредственнаго соединенія съ высокимъ коленомъ припаивается къ трубкѣ *K*, имѣющей большій діаметръ противу послѣдняго; въ эту трубку *K* проходитъ заостренный конецъ верхняго колѣна. При такомъ устройствѣ пузырьки воздуха, проходящіе въ капиллярную трубку, никакъ не могутъ уже пробраться въ торричеллеву пустоту чрезъ заостренный конецъ колѣна *A*; пузырьки эти собираются надъ поверхностію ртути въ трубкѣ *K*, но они не могутъ оказывать никакого вліянія на показанія барометра, потому что пустота всегда существуетъ въ вершинѣ трубки *A*. Той же самой цѣли достигаютъ посредствомъ устройства, представленнаго на фиг. 553.

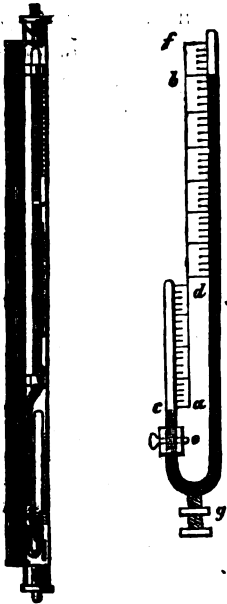
Въ сифонномъ барометрѣ поверхность ртути, подверженная давленію воздуха, измѣняетъ свое положеніе; поэтому нулевая точка, отъ которой должно начинаться отсчитываніе высоты ртутнаго столба, можетъ подниматься и опускаться. Вотъ почему масштабъ въ сифонномъ барометрѣ дѣлается подвижнымъ, такъ чтобы нулевую точку можно было подводить къ мѣсту, на которомъ останавливается верхушка ртути нижняго колѣна. При этомъ должно замѣтить, что въ большей части сифонныхъ барометровъ трубки имѣютъ такую кривизну, которая позволяетъ нижнему колѣну быть на одной прямой линіи съ верхнимъ. Подобное расположеніе позволяетъ отсчитывать положеніе уровней ртути въ обоихъ колѣнахъ на одной скалѣ. Вмѣсто подвижной скалы дѣлаютъ такіа, у которыхъ нуль приходится противу середины длиннаго колѣна; тогда отсчитываютъ на сколько верхній уровень лежитъ выше, а другой уровень ниже нуля; сумма отсчитываній даетъ намъ высоту ртутнаго столба.

Въ сифонныхъ барометрахъ дѣленія вытравляются весьма часто на самой трубкѣ. На фиг. 554-й представленъ одинъ изъ употребительныхъ видовъ сифоннаго барометра.

Если бы масса ртути отъ измѣненія температуры не измѣнялась въ объемѣ, то достаточно было бы отсчитывать только положеніе одного уровня ртути, потому что при неизмѣнномъ состояніи температуры отъ переменны давленія воздуха ртутный столбъ поднимается въ одномъ колѣнѣ на столько, на сколько онъ опускается въ другомъ; слѣдовательно по положенію одного колѣна можно судить и объ другомъ. Но это справедливо только до тѣхъ поръ, пока не измѣ-

иется температура, которая оказываетъ различное вліяніе на столбы ртути различной высоты; а какъ эти измѣненія происходятъ постоянно, то мы должны ограничиваться наблюденіемъ обоихъ уровней.

Фиг. 555 и 556.



Сифонные барометры, занимая мало мѣста, могутъ быть легко приспособлены къ переноскѣ; обыкновенно ихъ помѣщаютъ въ углубленіи палки, оставляя для наблюденія небольшія дверцы (Фиг. 555).

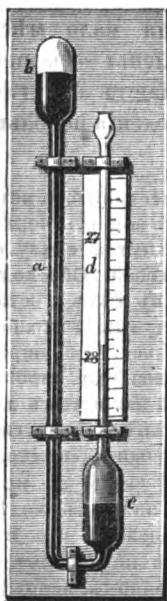
Весьма удобенъ также для путешествій барометръ, устройство котораго представлено въ общихъ чертахъ на Фиг. 556-й. Онъ состоитъ изъ загнутой внизу стеклянной трубки, образующей два колѣна. Оба колѣна должны имѣть одинаковую ширину въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ происходитъ измѣненіе высоты ртутныхъ столбовъ; нижняя часть можетъ имѣть произвольную ширину. Для опредѣленія различій давленія воздуха, производящихъ различія уровней ртути въ закрытомъ длинномъ и въ открытомъ короткомъ колѣнѣ, посредствомъ винта *g* барометрическая трубка подводится на столько вверхъ, пока начало дѣленія мѣдной скалы *ab* не совпадаетъ съ уровнемъ ртути *e* въ нижнемъ колѣнѣ. Для переноски барометра переворачиваютъ его и закрываютъ ртуть въ длинномъ колѣнѣ поворотомъ крана *o*, ртуть же, оставшуюся надъ краемъ, закрываютъ пробочкой.

Всѣ атмосфернаго воздуха, находящагося надъ нами, подверженъ различнымъ вліяніямъ. Постоянное измѣненіе температуры, вѣтры, измѣняющееся количество распространенныхъ въ воздухѣ водяныхъ паровъ производятъ въ давленіи воздуха непрерывныя измѣненія, которыя имѣютъ вліяніе на барометръ. Вотъ почему на одномъ и томъ же мѣстѣ высота ртутнаго столба съ барометрѣмъ не можетъ оставаться постоянною, а бываетъ подвержена болѣе или менѣе значительнымъ перемѣнамъ. Въ нашихъ странахъ можно сказать не проходило ни одного дня безъ того, чтобы состояніе барометра не измѣнялось на нѣсколько миллиметровъ. Вообще различаютъ два рода измѣненій принимаемыхъ барометромъ: измѣненія *периодическія* и измѣненія *случайныя*. Первые совершаются правильно въ опредѣленные времена и имѣютъ постоянную величину; напротивъ того послѣднія бываютъ не правильны, такъ что нельзя заранѣе опредѣлить ни времени, ни величины ихъ измѣненія; мы будемъ говорить объ этихъ измѣненіяхъ подробнѣе въ Метеорологіи; здѣсь же упоминаемъ о нихъ только для того, чтобы показать различныя измѣненія въ устройствѣ барометра, придуманныя для опредѣленія этихъ измѣненій.

Измѣненія въ состояніи барометра на одномъ и томъ же мѣстѣ весьма незначительны и потому, чтобы сдѣлать ихъ болѣе очевидными, придуманы нѣкоторые особенныя устройства, которыя всѣ впрочемъ допускаютъ различныя ошибки въ показаніяхъ барометра.

Наибольше употребительнѣйшія устройства сдѣланы Гюйгенсомъ и Гукомъ.

Фиг. 557.



На фигурѣ 557-й представленъ барометръ, устроенный Гюйгенсомъ. Барометрическая трубка *a* расширяется вверху у *b*, тамъ, гдѣ находится торричеллева пустота и у *c*, гдѣ на ртуть наливается другая менѣе плотная жидкость. Къ сосуду *c* припаяна узкая трубка *d* открытая сверху. Вслѣдствіе такого устройства легчайшая жидкость, для которой выбираютъ или подкрашенную воду или подкрашенный винный спиртъ, при малѣйшемъ измѣненіи уровня ртути въ *c* переходитъ изъ этого сосуда въ узкую трубку и дѣлаетъ такимъ образомъ незначительныя измѣненія ртути достаточно замѣтными.

Сосудъ *b* имѣетъ одинаковый діаметръ съ сосудомъ *c*; положимъ, что трубка *d* имѣетъ въ *n* разъ меньшій разрѣзъ противу каждого сосуда. Если ртутный столбъ понижается у *b* на *x* линій, то очевидно, что на столько же линій повышается уровень ртути въ *c*, между тѣмъ какъ окрашенная жидкость въ трубкѣ *d* должна подниматься на *nx* линій; слѣдовательно высота окрашенной жидкости увеличилась на $(n-1)x$ линій. Столбъ этой жидкости въ $(n-1)x$

линій давить съ одинаковою силою, какъ и столбъ ртути высотой въ $\frac{(n-1)x}{s}$

линій, въ томъ случаѣ, если *s* есть число показывающее, во сколько разъ плотность окрашенной жидкости менѣе плотности ртути. Значитъ, когда ртуть понижается въ *b* на *x* линій, то высота ртутнаго столба *y*, соответствующая

уменьшенію давленія воздуха, будетъ равна $2x + \frac{n-1}{s}x$. Откуда получится,

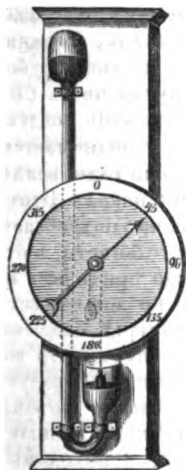
что $x = \frac{sy}{2s + n - 1}$. Положимъ напр., что разрѣзъ трубки *d* въ 20 разъ менѣе противу *b* и *c*, и что окрашенная жидкость есть вода, которая имѣетъ въ 13,6 разъ меньшую плотность противу ртути, т. е. $n = 20$, а $s = 13,6$. Подставляя эти числа въ выраженіе, найденное для *x*, будемъ имѣть $x = \frac{13,6}{2 \cdot 13,6 + 20 - 1} y = 0,294y$.

Если обыкновенный барометръ опускается на *y* линій, то ртуть опускается въ *b* на $0,294y$ линій, а окрашенная жидкость поднимается въ *d* на $5,88y$ линій. Поэтому, когда обыкновенный барометръ поднимается или опускается на 1 линію, то окрашенная жидкость въ барометрѣ Гюйгенса поднимается или опускается на 5,88 линій, т. е. почти въ 6 разъ болѣе.

Барометръ Гюйгенса весьма удовлетворителенъ для тѣхъ случаевъ, когда имѣютъ въ виду наблюдать измѣненія барометра, а не абсолютную высоту ртутнаго столба. На масштабѣ, помѣщаемомъ позади трубки *d*, обыкновенно опредѣляютъ двѣ точки близъ верхняго и нижняго концовъ ея посредствомъ сравненія съ правильнымъ или, говоря иначе, нормальнымъ барометромъ. Опредѣливъ эти точки, раздѣляютъ на части промежуточное разстояніе.

Улучшеніе, сдѣланное въ барометръ Гуконъ, заключается въ слѣдующемъ:

На поверхность ртути, доступную воздуху, кладется небольшая желѣзная гиричка (фиг. 558), которая плаваетъ на ртути. Чтобы не стѣснить движенія гирички, ту часть прибора, въ которой она находится, дѣлаютъ уширенною; вслѣдствіе чего и верхняя часть трубки, гдѣ находится торричеліева пустота, должна быть также одинаково расширена. Къ гиричкѣ привязанъ шнурокъ, который наворачивается на блокъ и имѣетъ на противоположномъ концѣ другую гиричку меньшаго вѣса. Когда отъ измѣненія давленія воздуха ртуть поднимается или опускается, то движенія эти передаются гиричкѣ, которая посредствомъ шнурка передаетъ ихъ въ свою очередь блоку. На оси послѣдняго укрѣплена длинная стрѣлка, которая повторяетъ движенія блока и увеличиваетъ ихъ во столько разъ, во сколько длина ея болѣе діаметра блока. Но должно замѣтить, что при этомъ устройствѣ наблюденія зависятъ отъ всѣхъ неравенствъ причиняемыхъ треніемъ; наклоненія нити и т. п. причинъ.



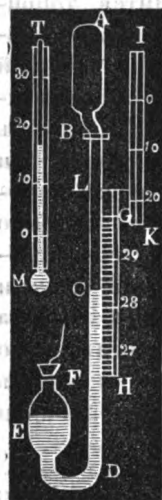
Что же касается до другихъ приборовъ, предложенныхъ съ того же цѣлю, то всѣ они имѣютъ главнѣйшій недостатокъ, что уменьшаютъ движеніе ртути и дѣлаютъ поэтому небольшія измѣненія незамѣтными. Вотъ почему для научныхъ изслѣдованій, гдѣ требуется большая степень чувствительности, гораздо лучше употреблять, вмѣсто нихъ, сифонный барометръ или барометръ съ чашечкою, наблюдая только, чтобы дѣленія какъ масштаба, такъ и нониуса были тщательно вывѣренны.

Если бы кто захотѣлъ употребить для барометра воду вмѣсто ртути, то трубка должна бы быть въ четырнадцать разъ длиннѣе; такой барометръ въ новѣйшее время былъ устроенъ въ Лондонѣ Даніэлемъ. Какъ по причинѣ значительной длины трубки, нельзя употребить обыкновеннаго способа для ея наполненія, то поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Оставивъ верхній конецъ ея открытымъ, плотно вставляютъ ее въ крышку небольшого пароваго котла, откуда вода, вслѣдствіе давленія паровъ, вытѣсняется кверху. Поднимающаяся вода наполняетъ постепенно всю трубку и вытекаетъ наконецъ изъ верхняго ея конца, оканчивающагося волосною трубкою, которая тогда мгновенно запаивается. Потомъ открываютъ котелъ, для того, чтобы доставить возможность воздуху проникать въ него; тогда вода опускается въ трубкѣ до тѣхъ поръ, пока не достигнетъ высоты, соотвѣтствующей давленію воздуха, что бываетъ около 34 футовъ.

Воду въ резервуарѣ покрываютъ слоемъ масла, для того, чтобы воспрепятствовать ей испаряться и поглощать въ себя воздухъ. На верхней части трубки находится масштабъ, а чтобы можно было принять во вниманіе вліяніе теплоты, для этого, прежде чѣмъ запаивать трубку, помѣщаютъ на трехъ различныхъ мѣстахъ термометры, потому что теплота можетъ быть неодинакова.

Показанія этого барометра совершенно согласны съ ртутнымъ барометромъ, только надобно кромѣ теплоты, которая расширяетъ воду гораздо сильнѣе, нежели ртуть, обращать вниманіе также и на водяные пары, образующіеся въ безвоздушномъ пространствѣ, вліяніе которыхъ гораздо больше, нежели вліяніе ртутныхъ паровъ въ обыкновенномъ барометрѣ, потому что вода легче испаряется противу ртути.

Другой родъ прибора для измѣренія давленія воздуха, называемый *симпиезометромъ*, изобрѣтенъ англичаниномъ Адиномъ (Фиг. 559).



Онъ состоитъ изъ стеклянной трубки *ABCDE*, верхняя часть которой *A* расширена и вмѣстѣ съ частью трубки до *C* наполнена водороднымъ газомъ; загнутая часть *CDE* наполнена миндальнымъ масломъ. Когда давленіе воздуха увеличивается, тогда масло въ трубкѣ *BD* поднимается, если же давленіе уменьшается, то водородный газъ, вслѣдствіе своей расширяемости, подвигаетъ его назадъ. Этотъ приборъ очень чувствителенъ и обыкновенно употребляется на корабляхъ, частію по своей чувствительности, а отчасти потому, что при качкѣ корабля масло приходитъ не въ столь сильное движеніе какъ ртуть; но онъ имѣетъ тотъ недостатокъ, что измѣненія температуры оказываютъ на него весьма значительное вліяніе, потому что водородный газъ, какъ и прочіе газы, на каждый градусъ термометра расширяется около 0,00367 своего объема. Поэтому симпиезометръ долженъ быть снабженъ точнымъ термометромъ, который бы позволялъ дѣлать необходимыя поправки. Вообще инструментъ устроивается такъ, чтобы на немъ безъ дальнѣйшихъ вычисленій можно было видѣть высоту ртути, которая соотвѣтствуетъ высотѣ масла при температурѣ, указываемой термометромъ. Это дѣлается такимъ образомъ:

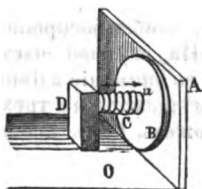
GH есть подвижной масштабъ, который можно двигать параллельно съ раздѣленной на части металлической полоской *IK*; градусы на этой полоскѣ, надписаны въ обратномъ порядкѣ къ градусамъ масштаба *GH*. На подвижномъ масштабѣ находится знакъ *L*, который ставится прямо передъ тѣмъ градусомъ на *IK*, какой показываетъ термометръ. Въ такомъ случаѣ точка на масштабѣ, лежащая противу *C*, будетъ показывать высоту ртутнаго столба, соотвѣтствующаго высотѣ масла.

Но кромѣ барометровъ съ жидкостію, переноска которыхъ сопряжена всегда съ большими или меньшими неудобствами, устраниваютъ также барометры металлические. Изъ этихъ барометровъ мы опишемъ только такъ называемый *анероидный* барометръ и *металлическій* барометръ французскаго механика *Бурдона*.

Первая мысль устройства анероиднаго барометра родилась, во время египетской экспедиціи французовъ, у французскаго ученаго Конте, но самый барометръ былъ устроенъ *Види* и потому иногда носить его названіе.

Въ ртутномъ барометрѣ, какъ мы уже видѣли, между пустотою и атмосфернымъ воздухомъ находится ртуть, которая величиною своихъ движеній по трубкѣ показываетъ величину измѣненій атмосфернаго давленія.

Представимъ себѣ, что пустота находится внутри плотно замкнутой металлической табакерки *B* (Фиг. 560), одна стѣнка которой прилегаетъ къ плотной неподвижной стѣнкѣ *A*, а другая непосредственно подвержена съ наружной стороны атмосферному давленію. Чтобы воспрепятствовать этому давленію измѣнять положеніе обращенной къ нему стѣнки, соединяють послѣднюю съ пружиною *C*, которая прикрѣплена къ какому нибудь неподвижному предмету *D*. Изъ подобнаго расположенія слѣдуетъ, что стѣнка



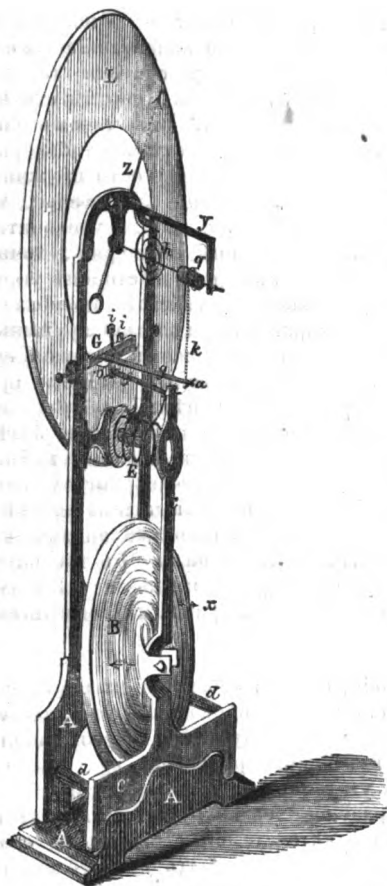
табакерки, обращенная къ воздуху подвержена двумъ противоположнымъ дѣйствіямъ — давленію атмосферы и упругости пружины, изъ которыхъ первая заставляетъ стѣну двигаться ко внутренней сторонѣ табакерки, а послѣдняя побуждаетъ ее двигаться въ противоположную сторону по направленію къ неподвижному предмету. Положимъ, упругость пружины разсчитана такимъ образомъ, что въ состояніи противиться давленію атмосферы, соответствующему 30 дюймовому ртутному столбу барометра. Ясно, что при такомъ равновѣсіи противоположныхъ силъ, обращенная къ воздуху стѣнка табакерки будетъ находиться въ покоѣ. Какъ при этомъ напряженіе упругости пружины остается постояннымъ и можетъ только измѣняться давленіе атмосферы, то при перевѣсѣ давленія надъ упругостію пружины, т. е. когда увеличится первое, стѣнка будетъ двигаться ко внутренней сторонѣ табакерки, точно также какъ при уменьшеніи давленія, когда перевѣсъ будетъ на сторонѣ упругости пружины, стѣнка будетъ покоряться увлекающему дѣйствію преобладающей силы, т. е. произведетъ движеніе по направленію дѣйствія пружины. По различію и по величинѣ этихъ движеній стѣнки, мы можемъ очевидно судить и о различныхъ измѣненіяхъ въ давленіяхъ атмосферы. Поэтому при устройствѣ этого прибора должно имѣть въ виду три главнѣйшія обстоятельства. Вопервыхъ, устроить стѣнку такъ, чтобы она была какъ можно болѣе воспріимчива къ измѣненіямъ давленій атмосферы и была бы сверхъ того подвижна. Во вторыхъ, какъ измѣненія въ давленіи атмосферы могутъ быть весьма незначительны, то чтобы имѣть возможность наблюдать за соответственными имъ движеніями стѣнки, должно придумать такой механизмъ, который обнаруживалъ бы эти движенія въ увеличенномъ видѣ. Въ третьихъ, должно имѣть въ виду, чтобы всѣ равныя между собою измѣненія въ давленіи атмосферы, согласовались съ соответственными и равными показаніями правильнаго ртутнаго барометра.

Для достиженія перваго изъ этихъ условій, стѣнки табакерки дѣлаютъ изъ тонкой мѣди, поверхность которой выточена такимъ образомъ, что представляетъ собою рядъ послѣдовательныхъ небольшихъ углубленій и возвышеній, образующихъ вмѣстѣ послѣдовательный рядъ концентрическихъ круговъ, начинаая отъ центра табакерки. Рядъ этихъ углубленій и возвышеній представляетъ нѣчто подобное съ рядомъ волнъ, образующихся вокругъ камня, отвѣсно брошеннаго въ воду. Второе условіе достигается системою рычаговъ, которая, какъ мы уже знаемъ изъ механической статьи, можетъ быть употреблена для представленія незначительнаго движенія въ увеличенномъ видѣ. Наконецъ, третье условіе достигается сравненіемъ показаній анеронднаго барометра съ сифоннымъ барометромъ: для этого ставятъ оба прибора подъ колоколъ насоса и по мѣрѣ уменьшенія количества заключающагося тамъ воздуха, а слѣдовательно и по мѣрѣ уменьшенія его упругости, уравниваютъ показанія анеронднаго барометра съ сифоннымъ посредствомъ измѣненія упругости пружины, противодѣйствующей давленію воздуха.

Всѣ эти обстоятельства, въ особенности второе, достигаются на практикѣ различнымъ образомъ. Мы опишемъ здѣсь какъ способъ устройства, такъ и самое расположеніе частей анеронднаго барометра, придуманные берлинскимъ механикомъ и оптикомъ Эртлингомъ, который доставилъ анерондному барометру большую степень точности.

Устройство это важно въ учебномъ отношеніи, потому что оно позволяетъ обнимать за разъ всѣ части прибора, чего нельзя сдѣлать въ анерондномъ барометрѣ Види, гдѣ весь механизмъ заключается внутри закрытой табакерки. Главнѣйшее же достоинство устройства сдѣланнаго Эртлингомъ заключается въ тѣхъ поправкахъ, посредствомъ которыхъ можно доставлять показаніямъ барометра большую точность.

Барометръ Эртлингга, представленный на фиг. 561-й, состоитъ изъ пяти важнѣйшихъ частей: изъ прочнаго чугунаго статива *А А А*, къ которому прикрѣпленъ весь механизмъ, изъ тонко-стѣнной мѣдной табакерки *В*, изъ стальной пружины *Е*, изъ системы рычаговъ *С* и *g* и наконецъ изъ циферблата *L*, по которому движется указатель *Z*, сообщающійся съ рычагами. Части эти расположены слѣдующимъ образомъ.



Къ основанію чугунаго статива *А А* прикрѣплена мѣдная табакерка *В*, заключающая внутри пустоту, которая достигается вытягиваніемъ изъ нея воздуха посредствомъ воздушнаго насоса. На свободную стѣнку табакерки дѣйствуетъ чугунный рычагъ *С*, который опирается обѣ высокую стѣнку статива *А* посредствомъ двухъ переключинъ *d* и *d*. Къ той же стѣнкѣ статива прикрѣплена крѣпкая спиральная пружина *Е*, которая притягиваетъ соединенный съ нею конецъ длиннаго плеча рычага *С* къ высокой стѣнкѣ статива. Черезъ что стѣнка табакерки, подверженная давленію воздуха, движется по направленію стрѣлки *x*. Это поднятіе очевидно передается оконечностію длиннаго плеча рычага *С* въ увеличенномъ видѣ; для увеличенія же послѣдняго движенія, оконечность этого плеча соединяется посредствомъ полоски *f* съ короткимъ плечомъ когнчатого рычага *og*, длинное плечо котораго (*g*) соединяется съ осью указателя *Z*, при помощи весьма тонкой цѣпочки *k*, намотанной на небольшой валець. Чтобы доставить стрѣлкѣ

постоянное движеніе въ одну сторону, по направленію противоположному къ дѣйствію цѣпи, къ оси стрѣлки прикрѣплена спиральная пружина, прикрѣпленная другимъ концомъ къ переключинѣ *у*. Дѣленія, указываемыя стрѣлкою, не видны на фигурѣ, потому что они проведены на закрытой отъ насъ поверхности тонкаго мѣднаго круга *L*. Чтобы получить, во сколько разъ стрѣлка увеличиваетъ движенія стѣнки табакерки, очевидно должно перемножить послѣдовательно всѣ отдѣльныя увеличенія. Въ барометръ Эртлингга общее увеличеніе простирается до 150 разъ, такъ что стрѣлка передаетъ измѣненіе, производимое давленіемъ воздуха въ положеніи стѣнки табакерки, въ 150 разъ большимъ видѣ.

Для регулированія инструмента кладутъ его подъ колоколъ насоса вмѣстѣ съ сифоннымъ барометромъ и смотрятъ, чтобы каждое дѣленіе, проходящее стрѣлкою, совпадало съ соотвѣтственнымъ дѣленіемъ, на которомъ останавливается ртуть въ сифонномъ барометрѣ. Самое же регулированіе производится посредствомъ винтовъ *t t*. Если ходъ указателя не совпадаетъ съ движеніемъ ртутнаго барометра, то уравниваютъ ихъ показанія посредствомъ установленія болѣе правильнаго отношенія между длинами короткаго и длиннаго плеча составнаго рычага *og*.

Когда ходы обоихъ барометровъ уравнены, то остается еще привести конецъ стрѣлки къ тому дѣленію, которое соотвѣтствуетъ состоянію барометра:

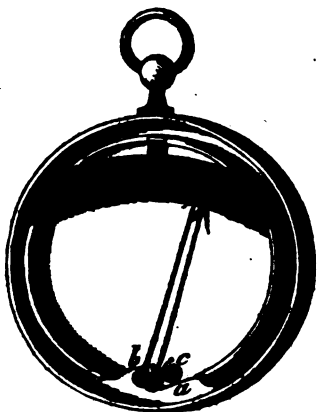
такъ напр., если барометръ показываетъ полное давленіе атмосферы или 28 дюймовъ, то и конецъ стрѣлки должно привести къ дѣленію, соотвѣтствующему этому положенію ртути. Это достигается посредствомъ винта *S*, проходящаго внутри спирали образуемой пружиной.

Остается еще сказать нѣсколько словъ о самомъ уравниваніи хода пружины, которое Эртлингъ достигаетъ эксцентрической формою валька *q*.

Металлическій барометръ парижскаго механика Бурдона основанъ на слѣдующемъ началѣ: всякое давленіе, производимое на внутреннія упругія стѣнки трубки свернутой въ кругъ, стремится развертывать трубку и наоборотъ, если трубка заключаетъ внутри пустоту и при томъ закупорена герметически, то всякое внѣшнее давленіе на ея стѣнки стремится къ большому свертыванію ея.

Фигура 562-я показываетъ барометръ Бурдона. Онъ состоитъ изъ свернутой мѣдной трубки, длиною до 0^м 5, съ тонкими упругими стѣнками. Изъ трубки извлекается воздухъ посредствомъ воздушнаго насоса, послѣ чего она герметически закупоривается. При измѣненіи давленія воздуха на наружныя стѣнки трубки, послѣдняя обнаруживаетъ различныя степени свертыванія и слѣдовательно развертыванія. При уменьшеніи давленія воздуха развертываніе трубки передается стрѣлкѣ, двигающейся по масштабу посредствомъ двухъ металлических нитей *b* и *a*, которыя соединяютъ оконечности трубки съ рычагомъ, утвержденнымъ на оси стрѣлки. Если же, наоборотъ, давленіе воздуха увеличивается, то трубка свертывается и въ такомъ случаѣ небольшая спиральная пружина *c* заставляетъ стрѣлку двигаться по масштабу справа нѣлѣво.

Фиг. 562.



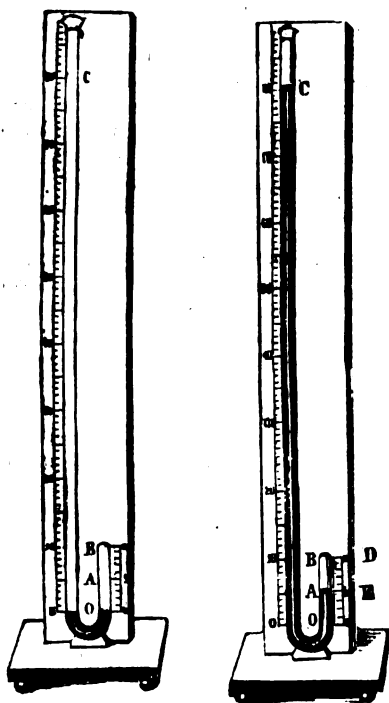
Фигура 562-я показываетъ барометръ Бурдона. Онъ состоитъ изъ свернутой мѣдной трубки, длиною до 0^м 5, съ тонкими упругими стѣнками. Изъ трубки извлекается воздухъ посредствомъ воздушнаго насоса, послѣ чего она герметически закупоривается. При измѣненіи давленія воздуха на наружныя стѣнки трубки, послѣдняя обнаруживаетъ различныя степени свертыванія и слѣдовательно развертыванія. При уменьшеніи давленія воздуха развертываніе трубки передается стрѣлкѣ, двигающейся по масштабу посредствомъ двухъ металлических нитей *b* и *a*, которыя соединяютъ оконечности трубки съ рычагомъ, утвержденнымъ на оси стрѣлки. Если же, наоборотъ, давленіе воздуха увеличивается, то трубка свертывается и въ такомъ случаѣ небольшая спиральная пружина *c* заставляетъ стрѣлку двигаться по масштабу справа нѣлѣво.

Барометръ этотъ занимаетъ мало объема, весьма чувствителенъ и отличается простотою своего устройства.

Окончивъ описаніе главнѣйшихъ барометровъ, перейдемъ теперь къ употребленію ихъ. Кромѣ показанія измѣненій въ давленіи, производимомъ атмосферою, барометръ, какъ мы уже видѣли изъ опыта Паскаля, можетъ быть приспособленъ къ опредѣленію высоты, но объ этомъ опредѣленіи мы будемъ говорить впослѣдствіи, когда ознакомимся съ законами упругости воздуха. Въ общежитіи весьма часто употребляютъ барометръ для показанія погоды. Такое употребленіе барометра имѣетъ слѣдующее основаніе: значительныя измѣненія въ давленіи воздуха сопровождаются большею частію переменами погоды; если давленіе воздуха уменьшается, то обыкновенно слѣдуетъ за этимъ или вѣтеръ или дождь; если же оно увеличивается, то ожидаютъ сухой и постоянной погоды. Согласно съ этимъ на масштабѣ барометра дѣлаются надписи — ясно, пасмурно, переменна и т. д., и надписи эти лежатъ противу дѣленій, означающихъ извѣстныя высоты ртути, соотвѣтствующія этимъ состояніямъ погоды. Но эти показанія естественно не всегда согласуются съ дѣйствительностію, потому что давленіе при различныхъ состояніяхъ погоды, равно какъ при различныхъ вѣтрахъ, различной влажности и т. п., имѣетъ различное значеніе. О связи барометрическихъ показаній съ состояніемъ погоды, мы будемъ говорить подробнѣе въ метеорологической статьѣ.

§ 175. Зная какимъ образомъ измѣрять давленіе воздуха, мы стараемся опредѣлить теперь на сколько именно будетъ увеличиваться или уменьшаться упругость въ то время, когда мы станемъ измѣнять пространство, занимаемое однимъ и тѣмъ же количествомъ воздуха.

Для этого берутъ изогнутую стеклянную трубку, представленную на Фиг. 563 и 564.



(Фиг. 564) лежащей посрединѣ, между *B* и *O*, то воздухъ будетъ спертъ на половину прежняго своего состоянія. Означивъ буквою *n* точку длиннаго колѣна, находящуюся на одной высотѣ съ *A* и измѣривъ надъ *n* высоту ртутнаго столба до *C*, который спертъ воздухъ въ короткомъ колѣнѣ на половину прежняго объема, мы увидимъ, что она будетъ въ точности равна высотѣ барометра. Значить, воздухъ, заключенный въ *BA*, будетъ выдерживать во первыхъ давленіе ртутнаго столба, гидростатическое давленіе котораго соответствуетъ давленію атмосферы и во вторыхъ давленіе самой атмосферы, которая давитъ на этотъ ртутный столбъ. Слѣдовательно, воздухъ, спертый въ половинное пространство, будетъ собственно выносить давленіе 2-хъ атмосферъ. Когда открытое колѣно этого прибора имѣетъ достаточную длину, то такимъ же образомъ можно доказать, что при давленіи 3, 4 атмосферъ воздухъ, заключенный въ короткомъ колѣнѣ, будетъ спертъ на $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ первоначальнаго своего объема.

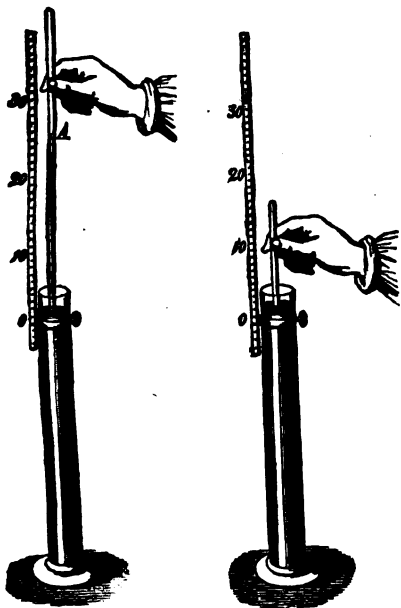
Изъ этого мы видимъ, что отношеніе пространства, занимаемаго газомъ, къ давленію претерпѣваемому имъ не произвольно, но совершается по извѣстному закону, который можетъ быть выраженъ слѣдующими словами: *пространство, занимаемое воздухомъ, обратно пропорціонально давленію производимому на него.*

Заключение это обыкновенно представляютъ въ видѣ слѣдующей пропорціи $v: v' = p': p$ или $\frac{v}{v'} = \frac{p'}{p}$ гдѣ *v* и *p* выражаютъ перво-

начальный объемъ и первоначальное давленіе, p' — измѣненное давленіе, а v' — объемъ соотвѣтствующій послѣднему. Законъ этотъ, выведенный почти одновременно англійскимъ ученымъ Бойлемъ и французскимъ аббатомъ Мариотомъ, носитъ названіе *бойлева* или *мариоттова закона*, изъ которыхъ послѣднее болѣе употребительно.

Чтобы доказать справедливость мариоттова закона при давленіяхъ менѣе атмосферы, берутъ двѣ трубки, одну нѣсколько шире, а другую поуже (фиг. 565). Первая изъ нихъ устанавливается отвѣсно

Фиг. 565 и 566.



въ особомъ стативѣ; верхній конецъ ея оканчивается въ видѣ чашечки, а нижній запаивъ. Трубку эту наполняютъ ртутью до 0. Послѣ того наливаютъ ртуть въ узкую трубку, точно также, какъ и для полученія торричеллевой пустоты, съ тою только разницею, что въ послѣднемъ случаѣ не доливаютъ трубки ртутью по крайней мѣрѣ отъ 2-хъ до 3-хъ сантиметровъ. Если запереть отверстіе пальцемъ и перевернуть трубку, то воздухъ пройдетъ въ верхнюю часть ея. Когда же послѣ того погрузить нижній конецъ въ ртуть широкой трубки и принять палецъ прочь отъ отверстія, то ртутный столбъ въ узкой трубкѣ опустится до известнаго пункта А. При этомъ мы увидимъ, что высота ртутнаго столба не будетъ равна вышинѣ

барометра, потому что здѣсь въ верхней части трубки находится не безвоздушное пространство, а воздухъ.

Погружая верхнюю трубку (фиг. 566) все болѣе и болѣе въ ртуть уширенной трубки, мы найдемъ, что объемъ заключеннаго въ ней воздуха будетъ становиться все менѣе и менѣе. Когда же верхняя трубка погрузится на столько книзу, что ртуть ея будетъ находиться на одномъ уровнѣ со ртутью въ широкой трубкѣ, то очевидно, что запертый въ трубкѣ воздухъ будетъ претерпѣвать давленіе цѣлой атмосферы. Измѣривъ высоту запертаго воздуха, подверженнаго давленію атмосферы, мы найдемъ, что она равна 5 сантиметрамъ, которая, дѣйствуя на поверхность ртути въ широкой трубкѣ, передаетъ очевидно свое давленіе и воздуху прикасающемуся къ поверхности ртути.

Чтобы привести воздухъ къ этому сгущенному состоянію, при которомъ увеличивается его упругость, мы заставляли ртуть въ узкой трубкѣ постепенно опадать и для того надавливали самую трубку

рукою книзу. Уничтожимъ теперь причину этого опусканія ртути, т. е. поднимемъ трубку; ясно, что сдавленный воздухъ снова расширится, упругость его уменьшится, а какъ давленіе атмосферы осталось то же, то ясно, что ртуть должна теперь подниматься въ узкой трубкѣ. Объемъ постоянно расширяющагося воздуха удвоится въ томъ случаѣ, когда высота ртутнаго столба въ узкой трубкѣ надъ уровнемъ ртути въ широкой трубкѣ будетъ равняться половинѣ высоты барометра. Въ этомъ случаѣ запертый воздухъ выноситъ давленіе $\frac{1}{2}$ атмосферы, потому что воздухъ и ртуть въ трубочкѣ вмѣстѣ производятъ давленіе равное давленію цѣлой атмосферы. Но какъ здѣсь давленіе ртути равно давленію $\frac{1}{2}$ атмосферы, то значитъ, что оставшая половина давленія приходится на долю воздуха.

Описанные нами опыты для повѣрки маріотова закона удобны въ томъ отношеніи, что производятся посредствомъ весьма простыхъ приборовъ, которые поэтому употребляются во всѣхъ физическихъ кабинетахъ. Къ этимъ приборамъ весьма часто придѣлываютъ въ той части, гдѣ находится сгущаемый или разрѣживаемый воздухъ, небольшія воронки, сообщающіяся съ трубками посредствомъ отверстій, сдѣланныхъ въ винтѣ, которымъ снабжаются эти воронки; повернувъ винтъ, можно прекратить сообщеніе между воронкой и трубкой. Въ эти воронки кладутъ различныя вещества, посредствомъ которыхъ поглощается влага, заключающаяся въ воздухѣ, для того, чтобы производить наблюденія надъ совершенно сухимъ воздухомъ, т. е. надъ такимъ воздухомъ, на упругость котораго не имѣетъ вліянія упругость водяныхъ паровъ, обыкновенно заключающихся въ воздухѣ.

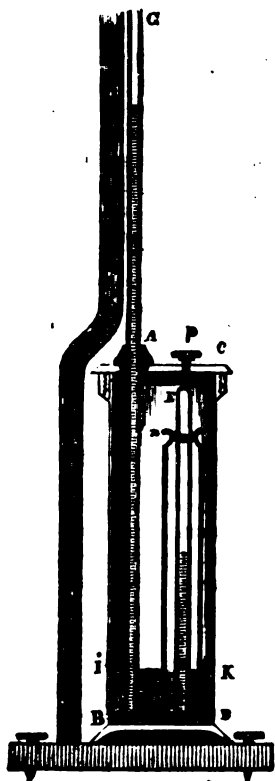
Къ трубкамъ, какъ показываютъ фиг. 565 и 566, придѣлываютъ линейки съ раздѣленными масштабами, которые позволяютъ намъ судить какъ о высотѣ ртути, такъ и объ объемѣ принимаемого воздуха.

Но эти приборы позволяютъ производить повѣрку закона съ достаточною точностію только при малыхъ давленіяхъ. Весьма затруднительно измѣрять мелкія части короткаго рукава трубки при значительныхъ давленіяхъ. Для выдерживанія сильныхъ давленій трубку пришлось бы дѣлать весьма узкою. При этихъ давленіяхъ середина ртутнаго столба двигалась бы скорѣе противу краевъ, которые задерживались бы треніемъ о стѣнки трубки и происходящія отъ того ошибки очевидно должны быть тѣмъ болѣе, чѣмъ значительнѣе давленіе и уже самая трубка. Законъ же сжимаемости газовъ, подтвержденный различными давленіями при одной и той же температурѣ, весьма важенъ, потому что онъ, какъ мы увидимъ впоследствии, входитъ во всѣ изслѣдованія, производимыя надъ расширеніемъ газовъ отъ теплоты. Важность этого закона заставила ученыхъ повѣрить его для различныхъ давленій съ всевозможною тщательностію посредствомъ болѣе усовершенствованныхъ приборовъ, позволявшихъ повѣрять законъ для значительныхъ давленій и необходимость подобной повѣрки увеличилась еще тѣмъ, что нѣкоторые ученые, какъ напримѣръ самъ Бойль, Мушенброкъ, Зульцеръ и Робензонъ замѣтили, что законъ Маріота не можетъ быть приложенъ въ точности къ усиленнымъ давленіямъ и что онъ справедливъ только для малыхъ давленій. Самыя противорѣчія, обнаруживавшіяся между опытами этихъ ученыхъ, заставили первостепенныхъ новѣйшихъ физиковъ снова повѣрить этотъ законъ и какъ вопросъ до настоящаго времени еще нельзя считать окончательно разрѣшеннымъ,

то мы приведемъ здѣсь главнѣйшія изслѣдованія произведенныя надъ нимъ Эрстедомъ, Араго и Дюлономъ, Пулье, и наконецъ Ренью, доставившимъ наиболѣе совершенные результаты по этому предмету.

Болѣе точные опыты надъ сгущеніемъ воздуха были произведены впервые въ 1823 году Эрстедомъ вмѣстѣ съ майоромъ Свензономъ, посредствомъ прибора, въ которомъ устраниены недостатки сопряженныя съ описанными нами опытами.

Фиг. 567.



Для этого воздухъ былъ заключенъ въ запаянную сверху трубку, которая была погружена въ плотный стеклянный цилиндръ, заключавшій въ нижней своей части ртуть для воспрепятствования выходу воздуха и наполненный сверху водою. Если произвести давленіе на поверхность послѣдней, то давленіе это передается ртуті, которая въ свою очередь сообщитъ его воздуху, заключенному въ трубкѣ. Какъ при этомъ стеклянная трубка подвержена одинаковому давленію со внѣшней и со внутренней стороны, то это позволяетъ доставлять трубкѣ достаточный діаметръ; сверхъ того при этомъ достигается и другая выгода: отъ сильнаго давленія не измѣняется объемъ трубки. Достаточный діаметръ трубки позволяетъ съ точностію какъ подраздѣлять, такъ и измѣрять объемъ занимаемый воздухомъ. Ближайшія подробности прибора, устроеннаго Эрстедомъ, видны изъ фигуры 567-й. ABCD есть цилиндръ изъ плотнаго стекла, обтянутый въ верхней части крѣпкимъ мѣднымъ кольцомъ, на которое навинчивается металлическая крышка, EF есть запаянная сверху стеклянная трубка, снабженная точными дѣленіями; посредствомъ желѣзнаго кольца *n* и соединенной съ нимъ желѣзной чашечки *m* она удерживается въ отвѣсномъ положеніи, въ чашечку наливается ртуть для заправки отверстія трубки.

Цилиндръ же наполняется ртутью такъ, чтобы верхняя поверхность ея IK лежала на вѣсколку футъ выше основанія. Трубка GH съ помощію прикрѣпленнаго къ ней металлическаго кольца A ввинчивается въ соответственное отверстіе крышки цилиндра. Черезъ другое отверстіе, запираемое винтомъ *p*, цилиндръ наполняется водою. Наливая ртуть въ трубку GH, мы будемъ сдавливать воздухъ, заключенный въ EF. Для большихъ давленій трубка GH составляется изъ различныхъ частей, изъ которыхъ каждая имѣетъ до 7 футовъ длины. Трубки эти прикрѣпляются другъ къ другу посредствомъ колецъ съ винтами, обхватывающими мѣста соединеній отдѣльных трубокъ.

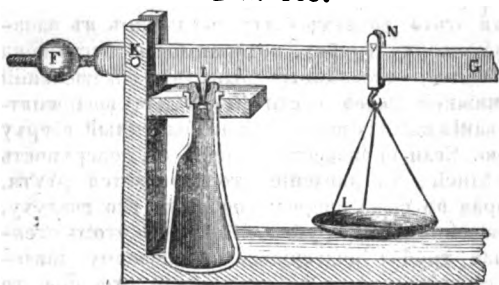
Съ помощію этого прибора воздухъ былъ сдавливаемъ до 8 атмосферъ и были найдены такія незначительныя отклоненія отъ отношеній указываемыхъ закономъ Маріота, что скорѣе ихъ можно было приписать несовершенству прибора и неточности наблюденія, чѣмъ неточности самаго закона.

Вослѣдствіи тѣже самые ученые, желая повѣрить справедливость закона для болѣе сильныхъ давленій, употребляли слѣдующій способъ. Они взяли плотный желѣзный сосудъ, отверстіе котораго закрывалось клапаномъ ко внутренней сторонѣ. Сперва былъ опредѣленъ или внутренний объемъ сосуда. Для этого опредѣлили вѣсъ количества воды, заключавшагося въ сосудѣ, потомъ вѣсъ воздуха, который наполнял его при равновѣсіи съ атмосферою.

Послѣ того вгоняли въ сосудъ воздухъ при помощи насоса, который будетъ нами описанъ ниже; плотность этого воздуха находили посредствомъ взвѣшиванія. Сосудъ, употребленный имъ, заключалъ 0,891 граммъ воздуха при давленіи 336,9 и при опытахъ воздухъ былъ такъ имъ сдвливаемъ, что вѣсилъ 101,2 грамма, слѣдовательно былъ сгущенъ болѣе чѣмъ во 110 разъ.

Самое же опредѣленіе сдвливающей силы, употребленной при опытахъ, они

Фиг. 568.

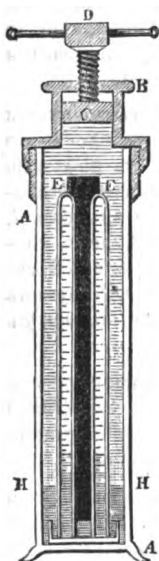


производили слѣдующимъ образомъ. Къ одноплечному рычагу *FG* (Фиг. 568), точка опоры котораго находится въ *Н*, при дѣливали остроконечный выступъ *I*, который располагали надъ самымъ клапаномъ сосуда; послѣ того на подвижную чашу *LN* клаи гири для того, чтобы заставить выступъ *I* давить на клапанъ до тѣхъ поръ, пока послѣдній не запретъ сосуда.

Количество приложенныхъ гирь давало въ этомъ случаѣ величину силы, съ которою былъ сдвленъ воздухъ въ сосудѣ. Хотя эти опыты были далеко отъ совершенной точности, но все таки они были въ пользу справедливости Мариоттова закона при большихъ давленіяхъ. Посредствомъ нихъ найдено, что при давленіяхъ до 60 атмосферъ, плотности воздуха пропорціональны давленіямъ.

Для большаго подтвержденія справедливости этого закона Эрстедъ производилъ опыты надъ газами, переходящими при сильномъ давленіи въ жидкое состояніе. Газы эти слѣдовали маріотову закону до тѣхъ поръ, пока сдвливаніе не подходило къ тому предѣлу, при которомъ происходитъ переходъ ихъ въ жидкое состояніе. Опыты по этому предмету были произведены по-

Фиг. 569.



средствомъ прибора, представленнаго на фиг. 569-й. *АА* есть плотный стеклянный цилиндръ, на который навинчивается металлическая трубка *В* съ поршнемъ *С*, назначеннымъ для произведенія давленія на воду, наполняющую цилиндръ. На дно цилиндра наливается ртуть до *НН*, потомъ вставляютъ въ цилиндръ двѣ стеклянные трубки, раздѣленные на части, изъ которыхъ одна наполнена атмосфернымъ воздухомъ, а другая испытуемымъ газомъ, напр. сѣрнистой кислотою. Если производить посредствомъ винта *Д* давленіе на воду въ цилиндрѣ, то послѣднее будетъ передаваться газамъ въ *ЕЕ* и сжимать ихъ. При этомъ найдено, что сжатіе сѣрнистой кислоты вначалѣ слѣдуетъ за сжатіемъ воздуха, но при извѣстномъ давленіи начинаетъ сжиматься сильнѣе, противу воздуха вскорѣ за увеличеніемъ сжатія слѣдуетъ переходъ въ жидкое состояніе. Подобные опыты были произведены и надъ другими газами, которые дали тѣже слѣдствія.

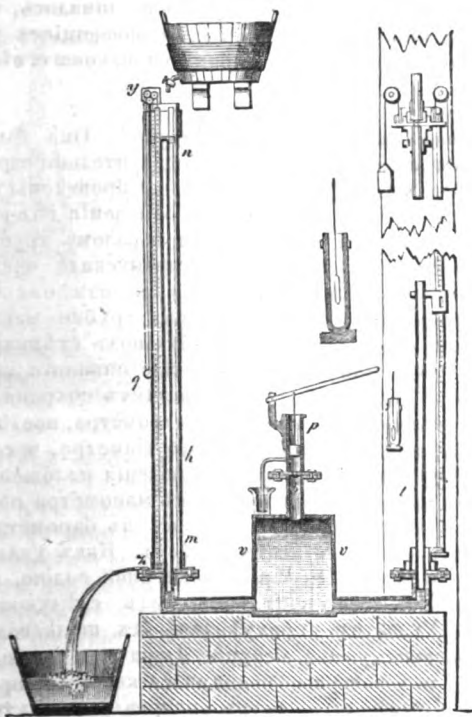
Результаты эти были подтверждены французскимъ физикомъ Дебрѣ, который доказалъ также, что газы амміакъ, сѣрнистая кислота, синерога и сѣрнистойводородный газъ, начиная отъ давленія двухъ атмосферъ, сжимаются гораздо сильнѣе, нежели этого слѣдовало бы ожидать по маріотову закону. При сравненіи же воздуха съ водородомъ найдено было Дебрѣ, что оба эти газа сжимаются одинаково до давленій простирающихся около 15 атмосферъ, что за этимъ давленіемъ происходитъ различное уменьшеніе объемовъ обоихъ газовъ и что за 20 атмосферами воздухъ сжимается гораздо скорѣе противу водорода.

Но сравненіе сжимаемости газовъ съ сжимаемостію воздуха нисколько не подвинуло впередъ вопроса, удовлетворяетъ ли въ точности сжимаемость воздуха маріотову закону при значительныхъ давленіяхъ. Для разрѣшенія этого вопроса французскіе ученые Араго и Дюлонъ прибѣгли къ слѣдующему способу.

Посреди старой башни въ здавіи college Henri IV была установлена мачта въ 100 футовъ высоты. У основанія мачты былъ расположенъ чугунный сосудъ, соединявшійся съ манометромъ и сгустительнымъ насосомъ приборами, значеніе которыхъ мы объяснимъ впоследствии; къ самой мачтѣ была прикрѣплена длинная стеклянная трубка, состоявшая изъ 13 трубокъ, изъ которыхъ каждая имѣла 6 фут. длины.

Употребленный ими приборъ представленъ на фиг. 570. На ней изображаетъ чугунный сосудъ, *p* сгустительный насосъ, *mn* запертый сверху манометръ, *t* вертикальная трубка, открытая сверху.

Фиг. 570.



Положимъ, что чугунный сосудъ наполненъ ртутью, что снабженный дѣленіями манометръ наполненъ сухимъ воздухомъ, и что ртуть въ трубкѣ *mn* и въ вертикальной трубкѣ *t* стоитъ на одной высотѣ. При этомъ ясно, что заключенный въ трубкѣ *mn* воздухъ, котораго объемъ можетъ быть въ точности опредѣленъ, долженъ выдерживать давленіе одной атмосферы. Если съ помощью насоса *p* сдвигать воду въ верхней части сосуда *v*, то чрезъ это будетъ сжиматься сухой воздухъ въ манометрѣ *mn* и ртуть поднимется въ трубкѣ *t*, посредствомъ дѣленій, проведенныхъ на манометрѣ, можно опредѣлить во всякое время объемъ заключающагося въ немъ воздуха. Для опредѣленія же давленія, соответствующаго объему, принятому воз-

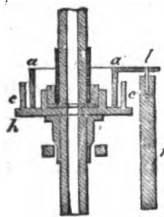
духомъ, стоитъ только измѣрить различіе уровней ртути въ трубкѣ *t* и въ манометрѣ.

Опыты эти были произведены со всевозможною тщательностію и предусмотрительностію, которою отличаются всѣ наблюденія Араго и Дюлона, обогатившихъ можно сказать каждую отрасль физики различными открытіями. Мы не станемъ здѣсь описывать всѣ остроумныя мѣры предосторожности, употребленныя ими для достиженія точнѣйшихъ результатовъ, а рассмотримъ нѣсколько ближе главнѣйшія части прибора.

Насосъ *p* былъ такъ устроенъ, что при давленіи 27 атмосферъ онъ могъ сдвигать воду.

Вертикальная трубка была составлена изъ 13 отдѣльных трубокъ плотнаго стекла, изъ которыхъ каждая имѣла въ длину 2 метра и 5 миллиметровъ въ діаметрѣ; толстота стѣны простиралась также съ 5 миллиметровъ. Отдѣль-

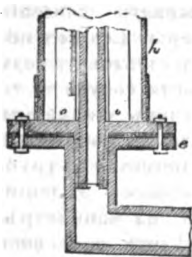
ныя трубки были связаны крѣпкими кольцами, которые представлены на Фиг. 571.



Фиг. 571 — въ подробности. Оправа верхней трубки лежитъ нижнею сглаженною своею поверхностію на обтянутомъ кожей кружкѣ, который поκειται на оправѣ нижней трубки; верхняя оправа можетъ быть прижимаема къ обтянутому кожей кружку посредствомъ винтовъ. Нижняя оправа была снабжена отвѣснымъ выступомъ *c*, чрезъ что вокругъ верхней оправы образуется родъ сосуда, наполняемого веществами, препятствующими къ выходу ртути изъ трубки. Вещества эти наливались въ сосудъ въ расплавленномъ видѣ и тамъ застыли; но передъ наливаніемъ ихъ въ промѣжуткѣ между выступомъ *c*, и верхнею оправою помѣщается кольцо *aa'*, снабженное указателемъ *l*, который служитъ для означенія извѣстныхъ дѣленій масштаба. Чтобы нижнія трубки не были слишкомъ обременены вѣсомъ верхнихъ трубокъ и чрезъ то не ломались, къ верхнему концу каждой трубки были прикрѣплены шнуры, навивающіеся на блокѣ и снабженные на противоположныхъ концахъ гирами одинаковаго вѣса съ трубками.

Трубка манометра совершенно подобна вертикальной трубкѣ. Она была раздѣлена тщательно на части равнаго объема, при чемъ предварительно верхній конецъ ея еще незапаянный былъ вытянутъ; дѣленія были проведены на трубкѣ безъ помощи брилліанта, потому что этотъ способъ означенія дѣленій могъ бы вредить прочности трубки. Приготовленная такимъ образомъ трубка прикрѣплялась къ доскѣ чугуннаго сосуда *e*. Послѣ того пропускали чрезъ трубку струя сухаго воздуха и запаивали вытянутый конецъ, не измѣняя замѣтно дѣленія. На Фиг. 572 показанъ способъ прикрѣпленія трубки манометра къ доскѣ *e*. Оправа была загнута подъ стѣнками трубки, для того чтобы не происходило никакого давленія на эти стѣнки снизу. Чтобы воздухъ сохранялъ постоянную температуру въ трубкѣ манометра, послѣдняя была окружена трубкой большаго діаметра, чрезъ которую пропускалась вода. Для наблюденія положенія уровня ртути придѣлывался къ трубкѣ манометра подвижной указатель съ новіусомъ, какъ въ барометрѣ Фортея, устранившаго этотъ приборъ. Какъ указатель находился внутри трубки, наполненной водою, то для передвиженія его придуманъ былъ слѣдующій механизмъ. Указатель прикрѣпленъ къ шелковому шнуру, обвивающему два верхніе блока *у у*, отсюда

Фиг. 572.

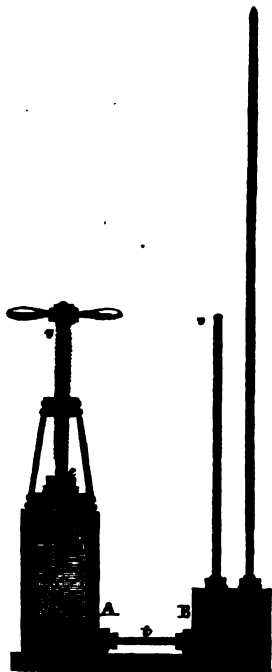


шнуръ проходилъ книзу къ блоку *q*, отъ котораго поднимался вверхъ и проходилъ чрезъ нижній блокъ *у у*. Послѣ того шнуръ направляли внутрь наружной трубки до блока *z*, откуда направлялся вверхъ и прикрѣплялся наконецъ свободнымъ концомъ къ нижней части указателя. Легко повѣять, какимъ образомъ, дергая за шнуръ, можно было поднимать и опускать указатель.

Термометры, расположенные въ различныхъ частяхъ прибора, показывали температуру различныхъ частей его. Одинъ изъ барометровъ опредѣляетъ атмосферное давленіе внизъ, другой вверхъ ртутнаго столба вертикальной трубки. Опыты, произведенные Араго и Дюлономъ съ помощію описаннаго нами прибора, заставили ихъ принять маріотовъ законъ для атмосфернаго воздуха справедливымъ въ точности до давленія 27 атмосферъ.

Касательно же повѣрки маріотова закона надъ другими газами были произведены въ новѣйшее время точные опыты французскимъ физикомъ Пулье.

Съ этою цѣлю онъ употребляетъ приборъ, представленный на фиг. 573. Приборъ этотъ состоитъ изъ двухъ чугунныхъ сосудовъ *A* и *B*, соединенныхъ между собою желѣзною трубкою *t*; въ первый изъ этихъ сосудовъ погружается поршень *a* посредствомъ давленія производимаго на него поворотомъ винта *u*. Въ сосудъ *A* помещается ртуть, для воспрепятствованія выходу которой прилѣпляется въ верхней части сосуда особый ящикъ; съ тою же цѣлю наливается на ртуть слой масла, которое смачиваетъ стѣнки ящика и позволяетъ дѣлать самый поршень изъ бронзы, потому что тогда ртуть не пристаётъ къ нему. Въ другомъ сосудѣ *B* находятся два вертикальные вырѣза; въ одинъ изъ нихъ вставляется закрытая сверху стеклянная трубка *s*, между тѣмъ какъ въ другомъ вставляется открытая сверху длинная трубка. Обѣ трубки дѣлаются изъ плотнаго стекла. При началѣ опыта ртуть находится въ обѣихъ трубкахъ на одномъ уровнѣ, при чемъ воздухъ, заключающійся въ закрытой трубкѣ претерпѣваетъ давленіе атмосферы, которое можетъ быть предварительно опредѣлено посредствомъ барометра. Съ поворотомъ винта *u* ртуть поднимается въ обѣихъ трубкахъ, но это поднятіе совершается различно для каждой трубки. Когда объемъ воздуха въ закрытой трубкѣ уменьшится на половину противу первоначальнаго своего состоянія, опредѣляютъ то давленіе, которому подверженъ въ этомъ случаѣ воздухъ: для этого находятъ величину давленія выносимаго въ открытой

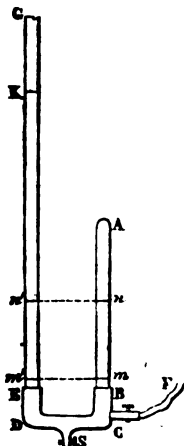


трубкѣ слоемъ ртути, лежащимъ на одномъ уровнѣ со ртутью въ закрытой трубкѣ. Такимъ образомъ находятъ, что при половинномъ объемѣ запертый воздухъ выноситъ давленіе двухъ атмосферъ, а именно: давленіе атмосферы сверху внизъ и давленіе ртутнаго столба, лежащаго надъ опредѣляемымъ слоемъ ртути въ открытой трубкѣ; высота этого ртутнаго столба равна высотѣ барометра. Продолжая производить давленіе на ртуть, можно привести воздухъ къ трети его первоначальнаго объема: въ этомъ случаѣ мы найдемъ, что давленіе, выносимое имъ, будетъ равно тремъ атмосферамъ и т. д. — Понятно, что дальнѣйшее производство опытовъ зависитъ отъ высоты закрытой трубкѣ.

Опыты Пулье подтвердили справедливость маріотова закона для атмосфернаго воздуха до 30 атмосферъ давленій. Посредствомъ подобныхъ опытовъ Пулье нашелъ, что кислородъ, водородъ, азотъ, азотная окись и окись углерода слѣдуютъ до 100 атмосферъ одинаковому закону сжатія съ атмосфернымъ воздухомъ; свѣристый газъ, амміакъ, углекислота и азотистая окись сжимаются болѣе противу атмосфернаго воздуха по достиженіи объемами ихъ одной трети или четверти первоначальнаго своего состоянія. Газы же углеродисто-водородный и углеродистый двухводородный обнаруживаютъ гораздо большую сжимаемость противъ атмосфернаго воздуха.

Всѣ эти опыты подтверждаютъ, что атмосферный воздухъ въ точности слѣдуетъ маріотову закону до давленія 30 атмосферъ. Обстоятельство это не согласовалось съ тѣми различіями, которыя найдены были французскимъ физикомъ Реньо во время разширенія атмосфернаго воздуха отъ теплоты при большихъ и при малыхъ давленіяхъ. Это заставило Реньо снова повѣрить точность маріотова закона. Приборъ, устроенный имъ съ этого цѣлю, со-

стоялъ изъ стеклянной трубки AB (фиг. 574) около сантиметра въ діаметръ и 3-хъ метровъ въ длину. Нижняя часть этой трубки соединяется съ открытою трубкою EG длиною отъ 25 до 30 метровъ. Обѣ трубки утверждены неизмѣнно въ отвѣсномъ положеніи. Трубка AB запаена въ верхней части; на ней проведены двѣ постоянныя черты m и n такимъ образомъ, чтобы объемъ Am составлялъ половину объема At . Металлическая оправа $BCDE$, соединяющая обѣ стеклянныя трубки, снабжена двумя небольшими трубками съ винтами, изъ которыхъ одна F сообщается съ насосомъ, употребляемымъ для сдвиганія воздуха въ трубкѣ AB , и другая S служитъ, въ случаѣ нужды, для выпусканія ртути изъ двухъ соединяющихся трубокъ AB и EG . Сперва наполняютъ объемъ Am сухимъ воздухомъ при давленіи атмосферы, послѣ того наливаютъ ртуть въ приборъ для того, чтобы сгустить этотъ воздухъ и привести его въ объемъ Am ; тогда измѣряютъ высоту $n'K$ столба ртути, лежащаго надъ уровнемъ nn' . Давленіе воздуха, приведеннаго къ половинѣ первоначальнаго своего объема, равно въ этомъ случаѣ высотѣ $n'K$ сложенной съ



высотой ртути въ барометрѣ; она должна быть вдвое больше первоначальнаго давленія, если законъ Маріота совершенно точенъ. По окончаніи этого опыта снова наполняютъ воздухомъ трубку AB , заставляя его принять объемъ Am подъ давленіемъ 2 атмосферы и прибавляютъ новое количество ртути для того, чтобы привести этотъ воздухъ къ объему Am . Тогда измѣряютъ упругость сгущеннаго такимъ образомъ газа; она должна быть въ этомъ случаѣ равна 4 атмосферамъ, если законъ Маріота точенъ. Точно также наполняютъ воздухомъ объемъ Am при давленіи 4 атмосферы и уменьшаютъ на половину объемъ этого воздуха прибавленіемъ ртути. При этомъ способѣ объемы газовъ, подверженныхъ сильнымъ давленіямъ, достаточно велики для точныхъ измѣреній. Кромѣ того нѣтъ надобности раздѣлять трубку на части равной величины, потому что ртуть поднимается постоянно только до однихъ и тѣхъ же чертъ. Выгоды эти достаточно указываютъ на превосходство опытовъ Реньо передъ всѣми другими опытами. Реньо нашелъ такимъ образомъ, что воздухъ сгущается нѣсколько болѣе, нежели показываетъ законъ Маріота; но различіе между сжимаемостію найденною опытомъ и сжимаемостію вычисленною на основаніи закона такъ незначительно, что можно имѣть безъ чувствительной погрѣшности пренебрегать при практическихъ примѣненіяхъ. Что же касается до другихъ газовъ, то изъ опытовъ Реньо слѣдуетъ, что азотъ сжимается нѣсколько болѣе того, какъ бы слѣдовало по маріотову закону и что водородъ наоборотъ сжимается нѣсколько менѣе. Углекислота удаляется отъ закона болѣе прочихъ испытанныхъ газовъ; отклоненіе это, начинающееся съ давленія одной атмосферы, такъ значительно, что примѣненіе закона не можетъ быть допущено къ этому газу въ особенности для давленій нѣсколько значительныхъ.

Температура оказываетъ большое вліяніе на упругость газовъ: такъ напр. углекислота наиболѣе удаляющаяся отъ маріотова закона при 0° , показываетъ уже различіе при температурѣ 100° , атмосферный воздухъ при значительныхъ температурахъ тоже представлялъ меньшее отклоненіе нежели при обыкновенной температурѣ. Это подало поводъ къ предположенію, что должна быть такая температура, при которой воздухъ не уклонялся бы отъ маріотова закона. Кромѣ того можно допустить, что за предѣломъ этой температуры сжиманія воздуха начнутъ уже уменьшаться противу отношеній, указываемыхъ маріотовымъ закономъ, и это предположеніе основывается на томъ, что водородъ, уменьшившійся менѣе противу того, какъ бы слѣдовало ожидать по маріотову закону, обнаруживаетъ тѣже обстоятельства въ обратномъ по-

рядѣ при давленіяхъ, производимыхъ на него во время пониженія температуры.

Таковы заключенія, выведенныя Ренью изъ опытовъ. Основываясь на нихъ, онъ полагаетъ, что законъ Маріота существуетъ для всѣхъ газовъ при извѣстномъ состояніи ихъ сгущенія и при определенной температурѣ. Съ измѣненіемъ температуры, при одной и той же степени сгущенія, сжимаемость газовъ можетъ увеличиваться или уменьшаться. Понятно, что отношенія между сжимаемостію и упругостію должны разстраиваться въ томъ случаѣ, когда отъ усиленнаго давленія или отъ пониженія температуры газы приближаются къ перемѣнѣ своего состоянія скопленія, т. е. когда частицы ихъ изъ газообразнаго вида переходятъ въ жидкій.

§ 176. Обратимся теперь къ ближайшимъ слѣдствіямъ, вытекающимъ изъ маріотова закона, который показываетъ, что *пространства, занимаемая газами, обратно пропорціональны давленіямъ производимымъ на нихъ.* Слѣдствіе изъ маріотова закона.

1) Если при удвоенномъ давленіи газъ займетъ вдвое меньшее пространство, то очевидно, что плотность его увеличится вдвое. Поэтому *плотности газовъ прямо пропорціональны давленіямъ.* А какъ всѣ тѣла находятся въ прямомъ отношеніи съ плотностями послѣднихъ, то ясно, что *всѣ одного и того же объема будутъ также прямо пропорціональны давленіямъ, претерпѣваемымъ ими.*

2) Изъ маріотова закона слѣдуетъ, что для приведенія газа въ половинный объемъ должно увеличить вдвое давленіе. Для существованія равновѣсія въ этомъ случаѣ необходимо, чтобы упругость газа въ состояніи была поддерживать въ равновѣсіи давленіе производимое на него. Значитъ, при вдвое большемъ давленіи упругость газа должна увеличиться вдвое, а какъ при удвоенномъ давленіи пространство, занимаемое газомъ, уменьшается на половину первоначальнаго объема и какъ этотъ объемъ находится въ прямой зависимости съ плотностію, то очевидно, что *плотности газовъ прямо пропорціональны упругости обнаруживаемой ими.*

Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что для одного и того же количества воздуха при давленіяхъ 1, 2, 3, 4, 5, 1000 и т. д. пространства будутъ . . . 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{1000}$ и т. д. плотности 1, 2, 3, 4, 5, 1000 и т. д. упругости 1, 2, 3, 4, 5, 1000 и т. д.

Маріотовъ законъ даетъ намъ средство разрѣшать нѣсколько задачъ весьма важныхъ при изслѣдованіи газообразныхъ тѣлъ.

1) Положимъ, что извѣстная масса воздуха занимаетъ объемъ V при давленіи H и положимъ, что требуется опредѣлить объемъ V' , соответствующій новому давленію H' при неизмѣнномъ состояніи температуры. Какъ объемы обратно пропорціональны давленіямъ, то получимъ $\frac{V'}{V} = \frac{H}{H'}$, откуда $V' = \frac{VH}{H'}$. Значитъ, для полученія искомаго объема должно помножить первоначальный объемъ на первоначальное давленіе и раздѣлить полученное произведеніе на новое давленіе.

2) Положимъ, что масса воздуха занимаетъ объемъ V при давленіи H и мы желаемъ знать, какое должно употребить давленіе H' для приведенія его къ

объему V' . Поступая какъ и въ предыдущемъ случаѣ, получимъ $\frac{H'}{H} = \frac{V}{V'}$, откуда $H' = \frac{HV}{V'}$; слѣдовательно искомое давленіе получается отъ умноженія первоначальнаго давленія воздуха на первоначальный объемъ и отъ раздѣленія этого произведенія на новый объемъ.

3) Положимъ, что извѣстный объемъ воздуха имѣетъ вѣсъ P при давленіи H и что требуется найти вѣсъ P' того же объема воздуха при давленіи H' . Вѣса одного и того же объема воздуха прямо пропорціональны давленіямъ, слѣдовательно будетъ $\frac{P'}{P} = \frac{H'}{H}$, откуда $P' = \frac{PH'}{H}$.

Какъ объемы газовъ зависятъ отъ давленія претерпѣваемаго ими, то очевидно, что зная объемъ газа, мы можемъ только тогда имѣть вѣрное понятіе о количествѣ газа, заключающагося въ этомъ объемѣ, когда намъ извѣстно то давленіе, которому подверженъ газъ. Различныя количества газовъ могутъ быть только тогда пропорціональны ихъ объемамъ, когда они претерпѣваютъ одинаковое давленіе. Поэтому, желая сравнить между собою два объема газовъ, подверженныя различнымъ давленіямъ, должно опредѣлить величину объема одного изъ газовъ, въ томъ случаѣ, если бы онъ былъ подверженъ одинаковому давленію съ другимъ газомъ. Вообще принято приводить объемы газовъ къ давленію столба ртути высотой въ 30 дюймовъ или 760 миллиметровъ, т. е. вычисляютъ, какъ великъ долженъ быть объемъ газа, найденный при другомъ давленіи, въ томъ случаѣ, если бы онъ былъ подверженъ давленію ртутнаго столба 760 миллиметровъ высоты.

Положимъ, что v есть объемъ извѣстнаго количества газа, подверженнаго давленію b , и что V есть объемъ того же количества газа при давленіи ртутнаго столба въ 760 миллиметровъ высоты. На основаніи маріотова закона мы имѣемъ $\frac{V}{v} = \frac{b}{760}$; слѣдовательно $V = \frac{b}{760} v$.

Такъ напр. если извѣстное количество газа при давленіи 500 миллиметровъ имѣетъ объемъ 84 кубическихъ сантиметровъ, то тоже количество газа при давленіи 760 миллиметровъ будетъ имѣть объемъ $V = \frac{500}{760} \cdot 84 = 55,2$.

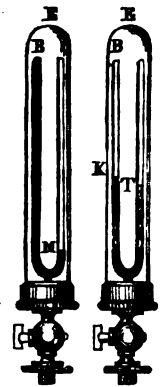
Какъ объемы газовъ зависятъ также отъ температуры, то очевидно, что приводя ихъ къ давленію атмосферы, мы должны обращать вниманіе и на это обстоятельство, вводя въ вычисленія поправки, согласно законамъ расширенія газовъ отъ теплоты. Но объ этихъ поправкахъ мы будемъ говорить въ то время, когда ознакомимся ближе съ законами дѣйствія теплоты.

Прибо-
ры осно-
ванные
на марі-
отовомъ
законѣ.

§ 177. Имѣя возможность разрѣшать различные вопросы, относящіеся къ давленію газовъ, намъ остается только имѣть приборы, которые бы позволяли опредѣлять давленіе газовъ. Приборы эти бываютъ двухъ главныхъ родовъ: одни изъ нихъ измѣряютъ давленіе газовъ разрѣженныхъ, другіе же — давленіе газовъ сгущенныхъ.

Къ перваго рода приборамъ относится такъ называемый *укороченный барометръ*.

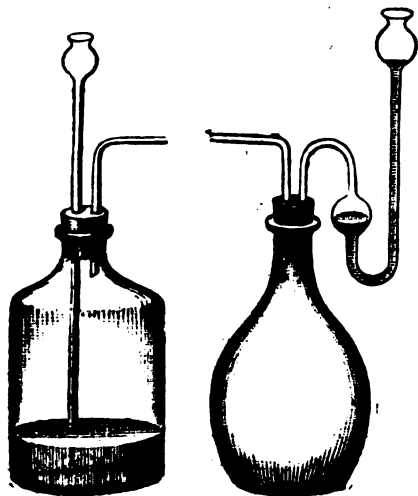
Приборъ этотъ состоитъ изъ изогнутой трубки (фиг. 575 и 576), ^{укороченный барометръ.} оба колѣна которой имѣютъ одинаковый діаметръ и одинаковую высоту. Одно колѣно открыто сверху, а другое западно; высота обоихъ колѣнъ простирается обыкновенно отъ 20 до 25 сантиметровъ, потому что приборъ назначается для упругости газовъ разрѣженныхъ, т. е. такихъ, которыхъ упругость меньше атмосферы. Ртуть наливается въ открытое колѣно до тѣхъ поръ, пока она не наполнитъ всей закрытой трубки *В* (фиг. 575) и не остановится въ открытомъ колѣнѣ у точки *М*, лежащей нѣсколько выше загиба образуемаго трубкою. Давленіе атмосферы, поддерживающее столбъ ртути въ 76 сантим., очевидно въ состояніи будетъ удерживать болѣе короткій столбъ *ВМ*, наполняющій западное колѣно. Трубка утверждается на металлической доскѣ и покрывается стек-



ляннымъ колпакомъ, закрытымъ сверху. Съ помощью трубки снабженной винтомъ, сообщаютъ внутреннюю часть колпака съ пространствомъ, въ которомъ разрѣженъ воздухъ или другой газъ. Если упругость послѣднихъ болѣе давленія, оказываемаго ртутнымъ столбомъ *ВМ*, то ртуть будетъ постоянно наполнять западное колѣно трубки; если же упругость эта уменьшится, то ртуть опустится въ закрытомъ колѣнѣ до какой нибудь точки *К* (фиг. 576) и поднимется на столько же въ открытомъ колѣнѣ. Различіе высотъ обоихъ столбовъ ртути выразитъ намъ упругость разрѣженнаго газа. Разницу эту отсчитываютъ на масштабѣ, прикрѣпленномъ къ металлической дощечкѣ, къ которой утверждена трубка.

Приборы, назначаемые для измѣренія сгущенныхъ газовъ, называются *манометрами*.

Манометры бываютъ трехъ видовъ: *манометры съ открытой трубкой*, въ которую проходитъ атмосферный воздухъ въ обыкновенномъ состояніи; *манометры съ закрытой трубкой*, въ которой сгущается воздухъ, и *манометры металлические*.



Къ открытымъ манометрамъ относятся *предохранительныя трубки*, представленныя на фиг. 577 и 578, въ двухъ различныхъ видахъ. Черезъ пробку сосуда, въ которомъ образуется газъ, проходятъ двѣ трубки. Одна изъ нихъ, оканчивающаяся въ верхней части бутылки, служитъ для провода образующагося газа наружу или въ другой сосудъ, а другая, погружающаяся въ жидкость, есть собственно предохра-

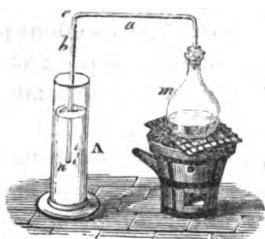
Предохранительныя трубки.

тельная трубка. На отверстіе проводной трубки, выходящее наружу, приходится два давленія: одно атмосфернаго воздуха снаружн и другое давленіе газа со внутренней стороны трубки. Если послѣднее давленіе превышаетъ первое, то газъ выходитъ изъ трубки. Вслѣдствіе давленія газа внутри сосуда, заключенная въ немъ жидкость поднимается по предохранительной трубкѣ и по высотѣ этой жидкости мы можемъ судить о величинѣ того перевѣса въ давленіи, который обнаруживаетъ надъ окружающимъ воздухомъ газъ, образующійся въ сосудѣ. Точно также величину давленія газа внутри сосуда мы можемъ видѣть изъ различія уровней жидкости въ изогнутой трубкѣ (фиг. 578).

Трубки эти называются *предохранительными* потому, что присутствіе ихъ устраняетъ опасность взрыва, могущаго произойти при значительномъ увеличеніи давленія газа: въ послѣднемъ случаѣ газъ можетъ изгнать всю жидкость изъ трубки и открыть для себя свободный выходъ, не причинивъ вреда сосуду.

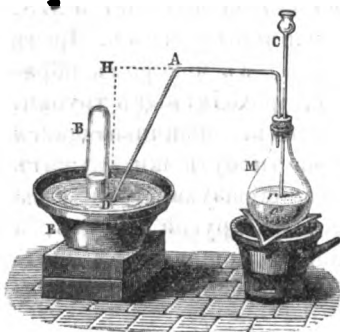
Предохранительныя трубки оказываютъ также услугу при собираніи газа надъ водою, въ приборахъ изображенныхъ на фиг. 580. Весьма часто случается, что упругость газа, образующагося въ сосудѣ, дѣлается менѣе противу давленія воздуха на воду, надъ которой собирается газъ. Положимъ, что какой нибудь газъ отдѣляется изъ

Фиг. 579.



праваго сосуда (фиг. 579) и переходитъ въ лѣвый сосудъ посредствомъ трубки, погруженной лѣвымъ концомъ въ воду. Пока отдѣленіе газа совершается равномерно, упругость его превышаетъ давленіе атмосферы и вѣсъ того столба воды, который наполняетъ лѣвый конецъ трубки. Но если упругость газа уменьшается или отъ замедленія образованія газа, или отъ охлажденія сосуда, то давленіе атмосферы пріобрѣтаетъ перевѣсъ надъ упругостію газа, и если этотъ перевѣсъ въ состояніи преодолѣть вѣсъ столба воды, наполняющей лѣвый конецъ трубки, то вода проникаетъ въ правый сосудъ и препятствуетъ дальнѣйшему образованію газа. И это обстоятельство можетъ быть устранено предохранительной трубкой.

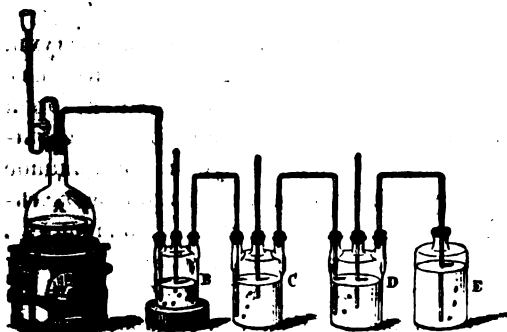
Фиг. 580.



Когда упругость газа, отдѣляющагося въ *M* (фиг. 580), умножается, то давленіе атмосферы, дѣйствующей на воду сосуда *E*, поднимаетъ ее на извѣстную высоту въ трубку *AD*; но какъ тоже самое давленіе дѣйствуетъ черезъ трубку *Ct* на жидкость, наполняющую нижнюю часть этой трубки, то очевидно, что послѣдняя жидкость будетъ вытѣснена изъ трубки, если только плотность

ся мало разнится отъ плотности жидкости лѣваго сосуда. Какъ часть предохранительной трубки, погруженная въ жидкость, менѣе той высоты, на которую давленіе воздуха въ состояніи поднять воду изъ лѣваго сосуда до верхняго изгиба трубки, соединяющей оба сосуда, то воздухъ успѣетъ попасть въ правый сосудъ чрезъ нижнее отверстіе предохранительной трубки, прежде нежели поднимется вода до верхняго изгиба трубки, соединяющей сосуди.

Предохранительныя трубки употребляются также въ приборахъ, назначаемыхъ для насыщенія воды, или другой жидкости, какимъ либо газомъ. На фиг. 581-й представленъ подобный приборъ, извѣстный въ Химіи подъ названіемъ прибора *Вольфа*. Газъ входитъ въ этотъ приборъ по трубкамъ, соединяющимъ сосуди. Если m , m' , m'' и m''' выражаютъ длины трубокъ погруженныхъ въ жидкость, находящуюся въ сосудахъ, то избытокъ давленія газа надъ давленіемъ воздуха въ послѣднемъ сосудѣ будетъ $m'' + m'''$, во второмъ $m' + m'' + m'''$ и наконецъ въ первомъ $m + m' + m'' + m'''$. Предохранительная трубка



фиг. 582. первого сосуда препятствуетъ, при уменьшеніи упругости

газа, прониканію жидкости изъ первого сосуда во второй, потому что въ этомъ случаѣ жидкость каждаго сосуда не въ состояніи будетъ подниматься по газопроводной трубкѣ на высоту большую противу той части предохранительной трубки, которая погружена въ жидкость сосуда.

Собственно такъ называемые *открытые манометры* состоятъ изъ стеклянной трубки *A* (фиг. 582) отъ 4 до 5 метровъ длиною; верхній конецъ ихъ открытъ, а нижній погружается въ желѣзный сосудъ *C*, наполненный ртутью. Какъ сосудъ, такъ и плотно соединенная съ нимъ трубка, прикрѣпляются къ отвѣсной деревянной доскѣ, на которой проведены дѣленія. Другая трубка *B* изъ желѣза, соединяется съ сосудомъ *C* и служитъ для передачи ртути давленія сгущеннаго газа или пара.

Для проведенія дѣленій на этихъ манометрахъ означаютъ сперва 1, т. е. одну атмосферу у самаго уровня ртути въ сосудѣ *C*; послѣ того на высотѣ 30 дюймовъ или 76 сантиметровъ означаютъ 2, т. е. двѣ атмосферы; точно также означаютъ 3, 4, 5 и т. д. атмосферы. При этомъ раздѣленіи не должно упускать изъ виду, что по мѣрѣ поднятія ртути въ трубкѣ, уровень ртути въ сосудѣ *C* опускается. Промежутки между числами 1 и 2, 2 и 3



3 и т. д. раздѣляются на 10 равныхъ частей, соответствующихъ десятиымъ долямъ атмосферы. На фиг. 582-й манометръ означаетъ давленіе 3 атмосферы, потому что уровень ртути въ трубкѣ поднялся на 2×30 дюймовъ выше уровня ртути въ сосудѣ С; ясно, что къ этому должно прибавить еще давленіе атмосферы, дѣйствующее на верхнюю часть поднимающагося ртутнаго столба.

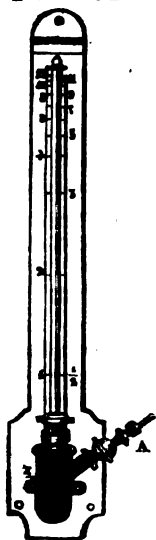
Манометры съ открытой трубкой употребляются только для давленій, непревосходящихъ 5 или 6 атмосферъ. Выше этого предѣла приходилось бы давать трубкамъ значительную высоту, при которой онѣ могли бы легко ломаться. Для болѣе значительныхъ давленій прибѣгаютъ къ закрытымъ манометрамъ.

Устройство *закрытаго манометра*, въ которомъ сгущается воздухъ, основано непосредственно на *маріотовомъ законѣ*. Онъ состоитъ изъ *Фиг. 583.* изогнутой трубки *ABC* (фиг. 583), одно колено которой открыто, а другое запаивно. Ртуть, налитая чрезъ открытое колено, собирается около изгиба трубки. Запавное колено *A* наполняется сухимъ воздухомъ; открытое колено *C* сообщается съ замкнутымъ сосудомъ, заключающимъ газъ или паръ, упругую силу котораго имѣютъ въ виду опредѣлить. Когда оба уровня ртути *n* и *n'* лежатъ на одной и той же горизонтальной плоскости, давленіе воздуха въ манометрѣ равно давленію атмосферы. Но если увеличивается давленіе газа, заключеннаго въ сосудѣ, сообщающемся съ трубкою *C*, то уровень *n'* опускается, а уровень *n* поднимается, сжимая сухой воздухъ, заключенный въ запаивномъ колѣнѣ *A*. Давленіе въ этомъ случаѣ имѣруется уменьшеніемъ объема воздуха въ манометрѣ и различіемъ обонхъ уровней ртути. Такимъ образомъ давленіе, означенное манометромъ, представленнымъ на фиг. 583-й, въ которомъ воздухъ, заключающійся въ колѣнѣ *A*, сжатъ на половину, равно 2 атмосферамъ, вмѣстѣ съ высотой ртутнаго столба, между уровнями *p* и *p'*. Легко понять, какимъ образомъ предварительно должно раздѣлить трубку *A*, такъ чтобы можно было опредѣлять съ точностію положеніе уровня *p* для 3, 4, 5, 6 атмосферъ и т. д. Для этого должно вычислить высоту уровня такимъ образомъ, чтобы упругая сила сжатого воздуха вмѣстѣ съ вѣсомъ столба ртути, взятаго между двумя уровнями, означала согласно *маріотову закону* означенныя давленія.

Точно также весьма часто употребляется манометръ представленный, на *фигурѣ 584-й*. Стеклянная, закрытая сверху, трубка погружается въ желѣзный сосудъ со ртутью, который посредствомъ боковой желѣзной трубки *A* сообщается съ сосудомъ, заключающимъ какой нибудь газъ.

Дѣленія этого манометра проводятся слѣдующимъ образомъ: количество воздуха, заключенное въ трубкѣ, таково, что если отверстіе *A* сообщается съ атмосферою, то уровень ртути стоитъ на одной высотѣ въ трубкѣ и въ желѣзномъ сосудѣ. Поэтому, противу этого уровня означаютъ 1 на дощечкѣ, къ которой прирѣжена манометрическая трубка.

Фиг. 584.



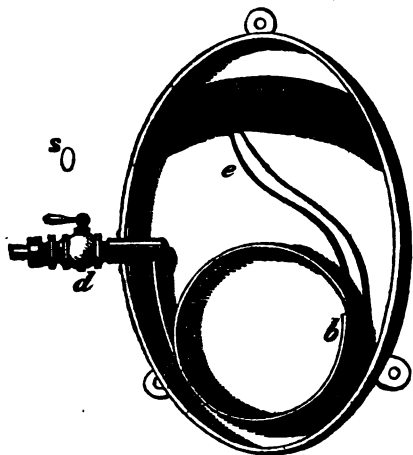
Для продолженія дѣленій должно замѣтить, что по мѣрѣ увеличенія давленія, передающагося чрезъ отверстіе *А*, ртуть поднимается въ трубкѣ до тѣхъ поръ, пока ея вѣсъ вмѣстѣ съ давленіемъ сжатого воздуха, не будетъ уравниваться вѣсннмъ давленію. Изъ этого слѣдуетъ, что ошибочно было бы означить 2 атмосферы посредннй трубки, начиная отъ 1, потому что, если объемъ воздуха, заключающагося въ трубкѣ, уменьшенъ на половину, то упругость его по маріотову закону равна 2 атмосферамъ; слѣдовательно, увеличенная вѣсомъ ртутнаго столба, поднявшагося въ трубкѣ, она представляетъ давленіе большее противу двухъ атмосферъ. Поэтому не посредннй трубки должно означить 2, но нѣсколько ниже, на той высотѣ, на которой упругая сила сжатого воздуха, вмѣстѣ съ вѣсомъ ртутнаго столба, заключающагося въ трубкѣ, равна двумъ атмосферамъ. Точное размѣщеніе чиселъ 2, 3, 4, ... на скалѣ манометра можетъ быть произведено только съ помощію вычисленій.

Изъ сдѣланнаго нами объясненія понятно, что сущность устройства этого манометра одинакова съ предъидущимъ.

Здѣсь должно замѣтить, что приборъ, представленный на фигурѣ 584-й, не даетъ точныхъ результатовъ для сильныхъ давленій, потому что при этихъ давленіяхъ объемы воздуха постоянно уменьшаются и дѣленія почти прикасаются между собою.

Перейдемъ теперь къ *металлическому манометру*, устроенному Бурдономъ. Основанія этого манометра одинаковы съ началами, которые служили поводомъ къ устройству описаннаго нами металлическаго барометра того же самаго механизма. Мы уже говорили, что всякое давленіе, произведенное на внутренніи упругіи стѣнки свернутой въ кругъ трубки, стремится развертывать послѣднюю.

Фиг. 585.



Манометръ Бурдона состоитъ изъ мѣдной трубки *b* (фиг. 585) около 70 сантиметровъ въ длину; стѣнки этой трубки тонки и упруги. Трубка свертывается спиралью и помѣщается въ эллипсоидальной оправѣ. Открытая оконечность трубки сообщается у *a* съ толстою трубкою *d*, снабженною краномъ. Послѣдняя трубка соединяется съ сосудомъ, въ которомъ заключается газъ, упругость котораго желаютъ опредѣлить. Другая оконечность свернутой трубки, закрытая у *b*, совершенно свободна, какъ и остальная часть трубки, заключающаяся между *a* и *b*; къ концу трубки у *b* придѣлана стрѣлка *e*, назначенная для означенія на масштабѣ опредѣляемой упругости газа или пара. Упругость эта, какъ и въ предъидущихъ приборахъ, выра-

жается въ атмосферахъ. Для раздѣленія масштаба подвергаютъ приборъ дѣйствію сжатого воздуха и потомъ послѣдовательно означаютъ положенія, принимаемыя стрѣлкою для 1, 2, 3, 4, 5, ... атмосферъ, измѣренныхъ открытымъ манометромъ. Манометръ Бурдона употребляется преимущественно для опредѣленія упругой силы пара въ локомотивахъ.

2. Кромѣ манометровъ на маріотовѣ законѣ основано устройство приборовъ, служащихъ для опредѣленія объема порошкообразныхъ тѣлъ и называемыхъ

стереометрами или объеметрами. Французскій физикъ Сая первый сдѣлалъ это остроумное примѣненіе закона Маріота; въ послѣдствіи были предложены Лесли, Копонъ и Реньо различные приборы, основанные на томъ же началѣ.

Приборъ Сая, называемый стереометромъ, имѣетъ слѣдующее устройство.

Фиг. 586.



Къ стеклянному сосуду А (фиг. 586) прикрѣпляется по возможности цилиндрическая стеклянная трубка. Верхніе края сосуда отшлифованы такъ, какъ матовое стекло, для того чтобы можно было, съ помощію стеклянной пластинки, плотно запирать внутреннее пространство трубки. Трубка снабжена по длинѣ своей дѣленіями, при чемъ съ точностію должно быть опредѣлено, какой объемъ трубки соотвѣтствуетъ пространству между двумя штрихами.

Передъ закрытіемъ сосуда А трубка погружается въ цилиндръ наполненный ртутью, такъ чтобы 0 дѣлений соотвѣтствовалъ уровню ртути. Если же края сосуда плотно закрыты пластинкою, то въ немъ будетъ находиться опредѣленный объемъ воздуха V, плотность котораго положимъ соотвѣтствовать состоянію барометра Н.

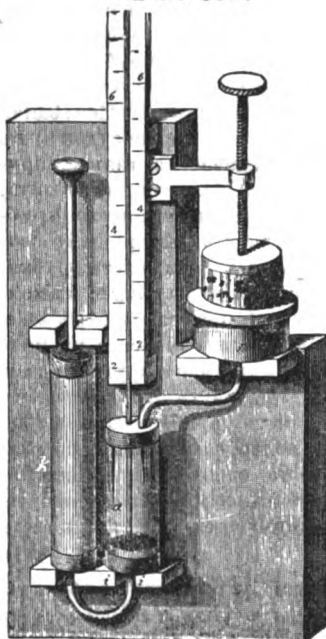
Но если при закрытомъ состояніи сосуда А поднять весь приборъ въ высоту, то часть воздуха переходитъ изъ А въ трубку, между тѣмъ какъ ртуть, входящая чрезъ нижнее отверстіе трубки, поднимается въ ней выше наружнаго уровня. Если v означаетъ отсчитанное на дѣленіяхъ трубки приращеніе объема воздуха, а h — высоту подымающагося ртутнаго столба, то мы будемъ имѣть на основаніи маріотова закона:

$$\frac{V+v}{V} = \frac{H}{H-h} \dots (1),$$

откуда легко вычислить V, если извѣстны Н, h и v.

Повторяя тотъ же опытъ надъ тѣломъ, котораго объемъ x мы желаемъ опредѣлить, кладутъ тѣло въ сосудъ А; если приборъ погружается въ ртуть до нуля, то объемъ воздуха, запечатого въ А, будетъ равенъ V — x. Поднимая трубку до тѣхъ поръ, пока объемъ спертата воздуха не прибавится на v, будемъ имѣть

Фиг. 587.



$\frac{V-x+v}{V-x} = \frac{H}{H-h'} \dots (2)$, если h' будетъ

въ этомъ случаѣ выражать соотвѣтственное поднятіе ртутнаго столба въ трубкѣ. Изъ 2-го уравненія можно вычислить x, потому что V уже опредѣлено посредствомъ 1-го уравненія.

Волунометръ Кона (фиг. 587) состоитъ изъ двухъ сообщающихся между собою цилиндрическихъ сосудовъ k и i (буква i прорѣзана въ штрихахъ фигуры близъ самой крышки означаемой ею части прибора). Оба эти сосуда наполнены ртутью. Изъ сосуда i идетъ загнутая трубка къ широкому стеклянному цилиндру r; трубка эта плотно входитъ въ отверстія сосудовъ i и r. Верхніе края цилиндра r должны быть тщательно отшлифованы, такъ чтобы при помощи незначительнаго смазыванія краевъ саломъ, можно бы было заперать плотно сверху сосудъ стеклянной дощечкой и.

Доска эта прикрѣпляется къ краямъ цилиндра посредствомъ винта; давленіе этого винта проходить при помощи пробки, лежащей между винтомъ и пластиною.

Когда стеклянная доска α плотно запираетъ верхнее отверстіе цилиндра, то въ этомъ случаѣ γ есть ни что иное какъ разширеніе i . Если производить давленіе поршнемъ въ k до тѣхъ поръ, пока нижній конецъ c восходящей трубки не прикоснется къ ртути, то въ i и въ γ будетъ заключено известное количество воздуха, если производить дальнѣйшее давленіе на ртуть такъ, чтобы она поднялась до оконечности проволоки a , то этотъ воздухъ, начнетъ сжиматься и согласно своему сжатію будетъ поднимать соотвѣтственный столбъ ртути въ восходящей трубкѣ.

Но если прежде закрытія верхнихъ краевъ сосуда v мы положимъ въ него порешкообразное, тѣло и повторимъ описанное нами сжатіе ртути, то при уровнѣ последней у c будетъ уже сжато меньшее количество воздуха противу предшествовавшаго случая, и если ртуть будетъ поднята до a , то это меньшее количество воздуха будетъ сжато на ту же самую абсолютную величину, именно въ пространствѣ между c и a . Слѣдовательно запертый воздухъ будетъ сжатъ теперь сильнѣе нежели въ прежнемъ опытѣ и поэтому ртуть должна подниматься въ восходящей трубкѣ выше противу прежняго.

Какъ высота ртутнаго столба, поднятаго въ восходящей трубкѣ, зависитъ отъ объема тѣла, находящагося въ цилиндрѣ γ , то по высотѣ поднятаго ртутнаго столба мы можемъ опредѣлять объемъ этого тѣла, если при этомъ взять въ расчетъ всѣ обстоятельства, имѣющія вліяніе на это опредѣленіе.

Порешкообразныя или жидкія тѣла, помѣщаемыя въ цилиндръ γ , должны заключаться въ какомъ нибудь другомъ сосудѣ, который бы можно было вносить и вынимать изъ γ . Для этого выбираютъ предпочтительно сосудъ изъ платины или другого какого нибудь неокисляющагося металла, который долженъ имѣть форму приблизительно подходящую къ цилиндру γ . Чтобы не вводить объемъ этого сосуда въ вычисленіе, смотрятъ на него какъ на составную часть прибора.

Для удобнѣйшаго опредѣленія объема тѣла, внесеннаго въ цилиндръ γ , должно знать объемъ запертаго воздуха въ томъ случаѣ, когда ртуть находится у c , а въ цилиндрѣ γ помѣщенъ платиновый сосудъ; положимъ, что этотъ объемъ напр. равенъ 15,07 кубическимъ сантиметрамъ. Послѣ того должно знать величину объема между c и a , на который сжимается воздухъ; положимъ онъ равенъ 2,5 кубическимъ сантиметрамъ.

Желая опредѣлить объемъ какого нибудь тѣла, кладутъ его въ платиновый сосудъ и вносятъ въ цилиндръ γ , послѣ чего надавливаютъ поршень книзу. Въ тотъ моментъ, когда отверстіе c закроется ртутью, положимъ, что будетъ сжато количество воздуха x ; при дальнѣйшемъ сдавливаніи, когда поверхность ртути подойдетъ къ a , объемъ x превратится очевидно въ $x - 2,5$ куб. сант. Положимъ, что соотвѣтствующая этому сжатію высота ртути въ восходящей трубкѣ равна 90 линіямъ, при высотѣ барометра въ 336''; ясно, что въ этомъ случаѣ сжатый воздухъ подверженъ давленію $336 + 90 = 426''$. Слѣдовательно, сжатіе его можетъ быть опредѣлено отношеніемъ 426 къ 336; основываясь на этомъ, мы получимъ пропорцію $426 : 336 = x : x - 2,5$, откуда $x = 11,72$.

Но мы знаемъ, что когда платиновый сосудъ былъ пустъ и когда поверхность ртути находилась у c , сжатый воздухъ имѣлъ 15,07 куб. сант.; слѣдовательно искомымъ объемъ тѣла равенъ $15,07 - 11,72$, т. е. 3,35 куб. сант.

Положимъ, что высота барометра равна B , наблюдаемая высота ртути въ восходящей трубкѣ равна h , объемъ между a и c равенъ v . Иставимъ эти общія величины вмѣсто соотвѣтственныхъ чиселъ выведенной нами пропорціи, получимъ $B + h : B = x : x - v$ (1), откуда легко опредѣлить x . Найдя же послѣднюю величину, легко вычислить объемъ R искомаго тѣла, потому что мы можемъ составить уравненіе $R = V - x$ (2), въ которомъ V означаетъ объемъ запертаго воздуха, въ томъ случаѣ, когда въ γ находится пустой платиновый сосудъ и когда ртуть запираетъ отверстіе c . Объемъ этотъ для взятаго нами частнаго случая былъ равенъ 15,07.

Величины V и v для одного и того же прибора постоянны, но естественно, что онѣ измѣняются для всякаго прибора и потому ихъ должно опредѣлять съ точностію въ каждомъ волюмометрѣ.

Для опредѣленія постоянныхъ величинъ V и v поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Сначала вставляютъ пустой платиновый сосудъ, доводятъ ртуть до a , замѣчаютъ высоту ртутнаго столба въ восходящей трубкѣ. Положимъ, что она простирается до 65,5''' , при высотѣ барометра равной 336''' ; при этихъ величинахъ очевидно мы будемъ имѣть $v : V = 65,5 : 401,5$. Потомъ наливаютъ въ платиновый сосудъ извѣстное количество воды, напр. 4 грамма, занимающіе ровно 4 куб. сантим., и повторяютъ тотъ же опытъ. Понятно, что въ настоящемъ случаѣ ртуть поднимется выше въ восходящей трубкѣ; если она приблизительно равна 95,5''' , то будемъ имѣть $v : V = 4 = 95,5 : 401,5$; изъ обѣихъ пропорцій легко уже получить v и V . Произведемъ вычисленіе, найдемъ для v и V точно такія величины, которыя были получены для нихъ изъ предъидущихъ вычисленій.

Вторая оконечность проволоки b служитъ для повѣрительныхъ опытовъ. Восходящая трубка сопровождается двумя скалами; нулевая точка одной лежитъ противу a , а другой противу b . Самая трубка должна имѣть около 16 дюймовъ высоты.

Понятно, что этотъ приборъ не можетъ быть употребленъ для тѣлъ, поглощающихъ при возвышенномъ давленіи значительное количество воздуха, какъ напр. уголь.

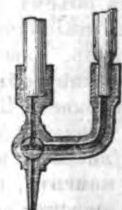
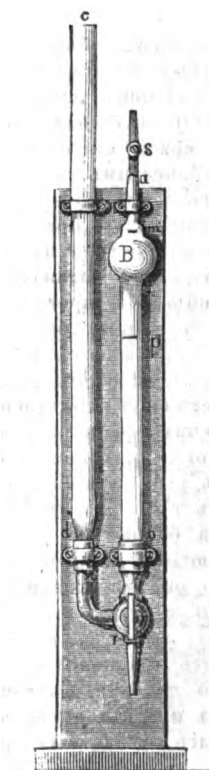
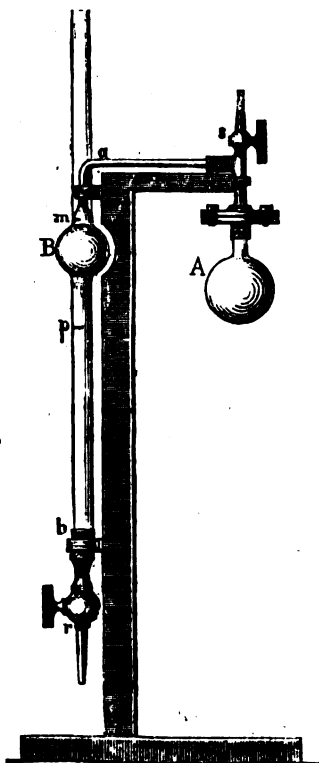
Если опредѣленъ, съ помощью волюмометра, объемъ какого нибудь тѣла, котораго относительный вѣсъ найденъ посредствомъ вѣсовъ, то легко уже вычислить его удѣльный вѣсъ.

Въ настоящее время въ большомъ употребленіи во Франціи *волюмометръ Реньо*, представленный на фигурахъ 588 и 589.

Фиг. 588.

Фиг. 589.

Фиг. 590.



Фиг. 591.



А есть стеклянный шаръ около 300 кубическихъ сантиметровъ вмѣстимости. Къ шейкѣ его придѣлана металлическая дощечка, которая позволяетъ плотно прикрѣплять къ манометрическому прибору шаръ, при помощи четырехъ винтовъ и небольшой кожаной пластинки, смазанной саломъ.

Отъ А идетъ вверхъ трубка, которая можетъ быть запираема краномъ *z*; другая горизонтальная трубка соединяетъ шаръ съ отвѣсной трубкой *ab*, имѣющей до 14 миллиметровъ длины и образующей близъ верхняго своего конца шаръ В. На послѣдней трубкѣ проведены двѣ марки: одна у *m*, а другая у *p*; нижняя часть трубки снабжена желѣзной оправой, въ которой находится кранъ *г*; посредствомъ этого крана трубка *ab* можетъ по произволу или отвориться книзу, или приводиться въ сообщеніе съ трубкою *cd*, какъ это явственнѣе можно видѣть изъ фиг. 590 и 591.

Объемъ *v* трубки *ab* между *m* и *p* опредѣляется слѣдующимъ образомъ: отворивъ кранъ *z*, вливаютъ въ трубку *cd* ртуть до тѣхъ поръ, пока послѣдняя не дойдетъ до *m*; послѣ того отворяютъ кранъ *г* и выпускаютъ ртуть, пока она не остановится у точки *p*. Тогда измѣряютъ выпущенное количество ртути.

Подобнымъ же образомъ опредѣляется объемъ *V* шара А и соединительной трубки между А и *m*; стоитъ только измѣрить для этого объемы ртути, наполнившіе эти пространства.

Если *V* и *v* и кромѣ того различіе высотъ *h* между *m* и *p* опредѣлены разъ на всегда, то легко уже съ помощію этого прибора находить объемы тѣлъ приведенныхъ въ порошокъ.

Для этого взвѣшиваютъ шаръ А, сперва пустой, а потомъ до половины наполненный опредѣляемымъ тѣломъ, и находятъ такимъ образомъ вѣсъ послѣдняго. Послѣ этого взвѣшиванія привинчиваютъ А, отворяютъ кранъ *z* и наливаютъ ртуть въ трубку *ab* до *m*; послѣ того запираютъ кранъ *z*.

Запертый воздухъ имѣетъ теперь объемъ *V — x*, въ томъ случаѣ, если *x* означаетъ объемъ опредѣляемаго тѣла; онъ находится подъ давленіемъ атмосферы, которое мы назовемъ чрезъ *H*.

Послѣ того запираютъ кранъ *z* и выпускаютъ ртуть чрезъ *г* до тѣхъ поръ, пока она не опустится до черты *p*. Въ такомъ случаѣ мы получимъ спертый воздухъ, котораго объемъ будетъ *V — x + v*; воздухъ этотъ будетъ находиться подъ давленіемъ *H — h*. Вслѣдствіе того мы получимъ $\frac{V - x + v}{V - x} = \frac{H}{H - h}$, откуда $x = V - \frac{v(H - h)}{h}$.

§ 178. Изъ самой теоріи барометра слѣдуетъ, что по мѣрѣ поднятія барометра должна уменьшаться высота ртутнаго столба. При этомъ невольно рождается вопросъ, нельзя ли по уменьшенію ртутнаго столба судить о высотѣ мѣста надъ уровнемъ моря? Если бы атмосфера повсюду имѣла одинаковую плотность, то вопросъ могъ бы быть разрѣшенъ весьма просто. Въ такомъ случаѣ давленіе атмосферы на ртуть, а слѣдовательно и высота барометрическаго столба, уменьшалась бы постепенно, по мѣрѣ возвышенія нашего чрезъ равные слои атмосферы. Если бы напримѣръ найдено было, что на берегу моря слой воздуха, толщиною въ 100 футовъ, равенъ по вѣсу одной линіи ртути, то барометръ долженъ бы всегда понижаться на одну линію при поднятіи на каждые 100 фут. Поэтому для 200 фут. барометрическій столбъ понизился бы на 2 линіи, для 300 — на 3 линіи и т. д. Слѣдовательно, если бы воздухъ былъ на всѣхъ высотахъ одинаковой плотности, то для опредѣленія высоты какой нибудь горы достаточно было бы замѣтить высоту барометра сначала

при поверхности моря, а потомъ на вершинѣ измѣряемой горы и въ разности между этими высотами каждую линію принять за 100 футовъ.

Но этотъ способъ не можетъ имѣть applicаціи въ практикѣ, потому что основывается на совершенно ложномъ предположеніи, что атмосфера имѣетъ во всѣхъ своихъ слояхъ одинаковую плотность. Мы уже видѣли, что плотность атмосферы не только не одинакова вездѣ, но напротивъ, по мѣрѣ удаленія отъ земли значительно уменьшается. Предположимъ напримѣръ, что съ поднятіемъ на 100 футовъ барометръ опускается на одну линію, значитъ пройденный слой атмосферы оказываетъ давленіе равное давленію одной линіи ртути. При поднятіи опять на 100 футовъ ртуть опустится менѣе, чѣмъ на одну линію, потому что этотъ второй слой атмосферы, находясь выше и слѣдовательно будучи менѣе плотенъ, имѣетъ и вѣсъ меньшій, а потому и давленіе имъ оказываемое будетъ меньше давленія перваго слоя. Такимъ же образомъ при повышеніи еще на 100 футовъ, вѣсъ пройденнаго слоя будетъ меньше вѣса втораго слоя и барометръ понизится еще на меньшую величину, и т. д.

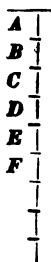
Изъ предъидущаго слѣдуетъ, что для вывода разности въ высотѣ двухъ слоевъ атмосферы, посредствомъ измѣненій въ высотѣ барометрическаго столба, необходимо знать отношеніе существующее между плотностями этихъ слоевъ и ихъ взаимную высоту, т. е. должно произвести этотъ выводъ на основаніи Мариоттова закона.

Для изслѣдованія, въ какомъ отношеніи уменьшается плотность атмосферы, по мѣрѣ постепеннаго возвышенія отъ уровня моря, прибѣгають къ помощи Мариоттова закона. Чтобы упростить полученіе вывода допустимъ, что атмосфера находится въ совершенномъ покоѣ и имѣетъ повсюду одинаковую температуру.

Представимъ себѣ, что атмосфера раздѣлена на безчисленное множество тонкихъ слоевъ, параллельныхъ къ земной поверхности. Понятно, что каждый вышележащій слой долженъ имѣть меньшую плотность противу слоя непосредственно подъ нимъ лежащаго, и поэтому, возвышаясь постепенно отъ поверхности земли, мы должны будемъ наконецъ достигнуть до слоя, котораго плотность такъ незначительна, что вѣсъ его можетъ быть вривать равнымъ нулю. Значитъ, барометръ, находящійся въ этомъ слой, будетъ показывать нуль.

Опускаясь съ барометромъ по отвѣсной линіи книзу, положимъ, что непосредственно нижележащій слой *A* (фиг. 592) въ состояніи удерживать въ равновѣсіи своею тяжестью столбъ ртути, котораго высота равна *a* линіямъ. Положимъ, что вслѣдствіе вѣса слоя *A*, лежащій подъ нимъ слой *B* приобретаетъ въ *n* разъ большую противу него плотность, т. е. что *B* въ *n* разъ тяжелѣе *A*. На этомъ основаніи ясно, что слой *B* самъ по себѣ въ состояніи держать въ равновѣсіи ртутный столбъ въ *n* линій. Но какъ барометръ, находящійся въ *B*, кромѣ давленія послѣдняго слоя выноситъ также давленіе и слоя *A*, то очевидно, что высота его будетъ равна *a* + *na* или $(1+n)a$ линіямъ.

Точно также третій слой *C* вслѣдствіе вѣса лежащихъ надъ нимъ слоевъ, въ состояніи поддерживать въ равновѣсіи ртутный столбъ въ $(1+m)a$ линій. Мы уже видѣли, что отъ давленія, соответствующаго *a* линіямъ, слой *B* сдѣлался такъ плотенъ, что вѣсъ его былъ доста-



точень для поддержанія въ равновѣсїи ртутнаго столба въ n линій высотыю. Но какъ слой C претерпѣваетъ въ $(1+n)$ разъ большее давленіе противу B , то очевидно, что C долженъ быть въ $(1+n)$ разъ плотнѣе противу послѣдняго. Слѣдовательно, уже своимъ собственнымъ вѣсомъ, слой этотъ въ состояніи поддерживать въ равновѣсїи ртутный столбъ въ $(1+n)$ разъ болѣе противу B , т. е. ртутный столбъ высотой въ $(1+n)na$ линій. А какъ этотъ слой выдерживаетъ давленіе вѣса слоевъ A и B , равное ртутному столбу въ $(1+n)a$ линій, то отъ вѣса всѣхъ трехъ слоевъ A , B и C , высота ртутнаго столба будетъ равна $(1+n)a + (1+n)na$, т. е. $(1+n)^2a$ линіямъ, и поэтому въ C барометръ будетъ показывать $(1+n)^2a$ линій.

Разсуждая такимъ образомъ, не трудно доказать, что въ слой D высота барометра будетъ равна $(1+n)^3a$, въ слой E она будетъ $(1+n)^4a$, и т. д.

Однимъ словомъ, мы получимъ плотности отдѣльныхъ слоевъ атмосферы и соотвѣтственныя имъ высоты барометра въ слѣдующемъ порядкѣ.

Слой воздуха.	Плотность слоевъ воздуха, выраженная высотой ртутнаго столба поддерживаемаго ими въ равновѣсїи.	Высоты барометровъ въ отдѣльныхъ слояхъ воздуха.
A	a	a
B	an	$(1+n)a$
C	$(1+n)na$	$(1+n)^2a$
D	$(1+n)^2na$	$(1+n)^3a$
E	$(1+n)^3na$	$(1+n)^4a$
F	$(1+n)^4na$	$(1+n)^5a$
G	$(1+n)^5na$	$(1+n)^6a$

Таблица эта показываетъ, что плотности слоевъ воздуха, равно какъ и соотвѣтственныя имъ высоты барометра, образуютъ геометрическій рядъ членовъ. А какъ во всякомъ геометрическомъ ряду члены, одинаково отстоящіе другъ отъ друга, какъ напр. 1, 4, 7, 10 и т. д., или 1, 6, 11 и т. д., образуютъ также геометрическій рядъ, то мы имѣемъ право вывести заключеніе, что для высотъ послѣдовательныхъ слоевъ атмосферы, увеличивающихся въ арифметической прогрессїи, плотности воздуха и состоянія барометра уменьшаются въ геометрической прогрессїи. — А извѣстно изъ математики, что логарифмы суть числа арифметической прогрессїи, соотвѣтствующія числамъ геометрической прогрессїи. Слѣдовательно высота данной точки въ атмосферѣ, надъ какимъ либо ея слоемъ, можетъ быть разсматриваема какъ логарифмъ его плотности. А какъ плотность всякаго слоя выражается высотой ртути въ барометрѣ, то очевидно, что высота атмосферы выше мѣста наблюденія, можетъ быть разсматриваема какъ логарифмъ высоты барометрическаго столба. Слѣдовательно, если бы была вычислена таблица этого рода логарифмовъ, то для опредѣленія разности между высотой двухъ слоевъ атмосферы, достаточно бы знать разность логарифмовъ ихъ плотностей, выраженныхъ высотами барометрическаго столба.

Въ справедливости сдѣланнаго нами вывода мы можемъ убѣдиться также въ слѣдующаго разсужденія.

Наблюденіе показываетъ намъ, что съ поднятіемъ на высоту 11,5 метровъ барометрическій столбъ опускаетъ на 1 миллиметръ, т. е. что высота воздушнаго столба въ 11,5 метровъ въ состояніи поддерживать въ равновѣсїи ртут-

ный столбъ въ 1 миллиметръ высоты. Слѣдовательно, если высота ртутнаго столба у поверхности моря *A* (фиг. 593), при известномъ состояніи температуры, равна 760 миллиметрамъ, то при поднятіи на 11,5 метра до *B* мы найдемъ, что барометрический столбъ опустится до

<i>F</i>	760 . $\left(\frac{759}{760}\right)^3$
11,5	
<i>E</i>	760 . $\left(\frac{759}{760}\right)^4$
11,5	
<i>D</i>	760 . $\left(\frac{759}{760}\right)^5$
11,5	
<i>C</i>	760 . $\left(\frac{759}{760}\right)^6$
11,5	
<i>B</i>	760 . $\frac{759}{760}$
11,5	метра
<i>A</i>	760 мм.

759 миллиметровъ или, что одно и то же, до $\frac{760 \cdot 759}{760}$, т. е. $760 \cdot \frac{759}{760}$. Значитъ, высота барометра въ *B* равна $\frac{759}{760}$ высоты барометра въ *A*. Представимъ себѣ теперь, что весь столбъ атмосферы, лежащій отвѣсно надъ *AB*, раздѣленъ на слои въ 11,5 метровъ высоты. Безъ чувствительной погрѣшности можно принять, что каждый изъ этихъ слоевъ въ 11,5 метровъ высоты, имѣетъ на всемъ своемъ протяженіи одинаковую плотность. Какъ плотности слоевъ воздуха пропорциональны давленіямъ, то слой *BC* будетъ менѣе плотенъ противу слоя *AB*, и мы можемъ сказать, что плотности этихъ слоевъ будутъ относиться какъ высоты барометровъ, находящихся въ точкахъ *A* и *B*, т. е. какъ 760 мм. къ $760 \cdot \frac{759}{760}$ мм.

Это значитъ, что плотность слоя *BC* будетъ $\frac{759}{760}$ плотности слоя *AB*. Поэтому при поднятіи на 11,5 метра отъ *B* къ *C*, высота барометра будетъ опускаться уже не на 1 миллиметръ, но на $\frac{759}{760}$ миллиметра. Значитъ, высота барометра, находящагося въ точкѣ *C*, будетъ равна $760 \cdot \frac{759}{760} - \frac{759}{760}$, или $\frac{759^2}{760}$, или $760 \left(\frac{759}{760}\right)^2$.

Разсуждая точно также, мы придемъ къ заключенію, что плотности слоевъ *BC* и *CD* относятся между собою какъ высоты барометровъ, находящихся въ точкахъ *B* и *C*; слѣдовательно, что слой *CD* въ $\frac{759}{760}$ разъ легче слоя *BC*. —

Поэтому, если слой *BC* въ состояніи поддерживать столбъ ртути въ $\frac{759}{760}$ миллиметра, то слой *CD* въ состояніи будетъ уравнивать только столбъ въ $\frac{759}{760} \times \frac{759}{760}$, или $\left(\frac{759}{760}\right)^2$ миллиметровъ, и если мы поднимемся къ точкѣ *C* къ *D*, то барометръ опустится на $\left(\frac{759}{760}\right)^2$ миллиметра. Слѣдовательно въ точкѣ *D* высота барометра будетъ $760 \left(\frac{759}{760}\right)^2 - \left(\frac{759}{760}\right)^2$, или $760 \left(\frac{759}{760}\right)^3$.

Приведеннаго нами уже достаточно для показанія закона, которому слѣдуютъ плотности воздуха и высоты барометра для всѣхъ послѣдующихъ слоевъ; такъ напр. въ *E* высота барометра будетъ $760 \left(\frac{759}{760}\right)^4$, въ *F* — $760 \left(\frac{759}{760}\right)^5$ и т. д.; слѣдовательно, если мы поднимемся надъ *A* въ *n* разъ 15 миллиметровъ, то высота барометра будетъ $760 \left(\frac{759}{760}\right)^n$.

Основываясь на этомъ, легко уже опредѣлить изъ разности барометрическихъ столбовъ, въ двухъ какихъ либо мѣстахъ, самую разность высотъ послѣднихъ.

Положимъ, что высота барометра въ какомъ либо мѣстѣ равна *B* и что высота барометра въ другомъ мѣстѣ (котораго отвѣсное разстояніе надъ первымъ есть какая нибудь мѣра длины, напр. метръ) равна *B'*. Изъ выведеннаго нами закона слѣдуетъ, что высота барометра *b*, въ какомъ нибудь мѣстѣ, лежащемъ

въ m разъ единицъ длины выше B , равна $B\left(\frac{B'}{B}\right)^m$; означивъ $\frac{B'}{B}$ чрезъ q , получимъ $b = Bq^m$. Зная B и b , которые опредѣляются наблюденіями, можно изъ этого уравненія опредѣлить m . И въ самомъ дѣлѣ, если $b = Bq^m$, то $\log b = \log B + m \log q$ и $m = \frac{\log b - \log B}{\log q}$. Желая m выразить въ метрахъ, поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Какъ $B' = 0,76 - \frac{1}{10464} = 0,7599044$ и $q = \frac{0,7599044}{0,76} = 0,9998743$; слѣдовательно $\log q = 0,9999454 - 1 = -0,0000546$ и $\frac{1}{\log q} = -18315$. Поэтому $m = -18315(\log b - \log B)$, или $= 18315(\log B - \log b)$.

Такова бы должна быть въ дѣйствительности разность высотъ двухъ мѣстъ, если бы степень плотности воздуха зависѣла единственно отъ давленія верхнихъ слоевъ атмосферы. Но есть много обстоятельствъ измѣняющихъ эту плотность.

Къ числу этихъ обстоятельствъ мы отнесемъ прежде всего температуру, которая оказываетъ вліяніе на состояніе воздуха. Какъ теплота расширяетъ воздухъ, то очевидно, что плотность или вѣсъ слоя воздуха, между мѣстами наблюденій, находится въ прямой зависимости отъ температуры, а именно при высокой температурѣ одни и тѣже слои, увеличиваясь въ объемѣ, бываютъ легче, а при низкой температурѣ, уменьшаясь въ объемѣ, бываютъ тяжелѣе нежели при температурѣ 0°.

Если напр. барометръ, при температурѣ 0°, опускается на одну линію во время поднятія его на 73 фута надъ уровнемъ моря, то при тѣхъ же условіяхъ, но при высшей температурѣ барометръ опустится менѣе чѣмъ на одну линію, а при низшей температурѣ болѣе одной линіи, т. е. при высшей температурѣ надобно подняться болѣе чѣмъ при низшей, для того чтобы барометръ опустился на одну линію. Поэтому, при наблюденіи высоты барометра, должно вводить поправку, зависящую отъ измѣненія температуры воздуха; поправку эту должно прикладывать при температурѣ выше нуля и отнимать при низшей температурѣ. Величина самой поправки можетъ быть опредѣлена изъ законовъ разширенія воздуха отъ теплоты, которые будутъ нами разсмотрѣны впоследствии. Здѣсь же мы ограничимся слѣдующимъ замѣчаніемъ. Какъ при измѣреніяхъ высотъ посредствомъ барометра, наблюдаютъ температуру только въ верхнемъ и нижнемъ пунктѣ, гдѣ собственно опредѣляются длины барометрическихъ столбовъ, оставляя безъ вниманія температуру промежуточныхъ слоевъ воздуха, то изъ обѣихъ наблюденныхъ температуръ берутъ средину, которую и принимаютъ за среднюю температуру всего слоя воздуха между двумя пунктами наблюденія. Выводъ этотъ конечно могъ бы быть только тогда совершенно справедливымъ, если бы температура воздуха въ дѣйствительности уменьшалась равномерно съ высотой, что не всегда бываетъ на самомъ дѣлѣ: потому что нерѣдко въ различныхъ высотахъ встрѣчаются попеременно то болѣе холодные, то болѣе теплые слои воздуха.

Мы приводимъ здѣсь это обстоятельство преимущественно для того, чтобы показать, почему измѣреніямъ высотъ посредствомъ барометра не должно приписывать безусловной точности.

Другое обстоятельство, имѣющее вліяніе на точность барометрическихъ измѣреній, есть затруднительность опредѣленія и введенія въ вычисленіе состоянія *влажности воздуха*, который, какъ мы увидимъ впоследствии, бываетъ наполненъ въ извѣстной степени водяными парами. Присутствіе послѣднихъ измѣняетъ плотность воздуха. Кромѣ того не трудно понять, что все сказанное нами можно примѣнить въ строгости собственно къ двумъ мѣстамъ, лежащимъ отвѣсно другъ надъ другомъ.

Какъ различными теченія воздуха, вѣтры, измѣняютъ высоту барометра даже на мѣстѣ, лежащихъ на одномъ уровнѣ въ томъ случаѣ, если эти мѣста зна-

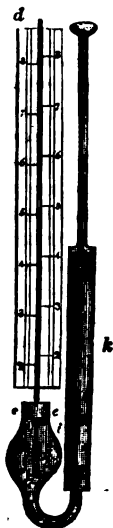
чительно удалены между собою, то очевидно, что тѣже обстоятельства могутъ имѣть вліяніе и на высоту барометра, наблюдаемую и въ точкахъ удаленныхъ между собою по вертикальной линіи. Наблюденія не должно производить въ дни вѣтренные и тогда, когда ртутный столбъ барометра обнаруживаетъ неправильныя поднія и опусканія. Полученные результаты бываютъ тѣмъ надежнѣе, чѣмъ болѣе наблюденій было произведено въ обоихъ мѣстахъ, такъ напр., если наблюденія были производимы въ теченіи нѣсколькихъ мѣсяцевъ или года, ежедневно въ одни и тѣже часы.

При самыхъ строгихъ наблюденіяхъ, должно принимать во вниманіе зависимость положенія наблюдателя отъ широты мѣста. Извѣстно, что на экваторѣ дѣйствіе тяжести слабѣе, нежели у полюсовъ и потому, при однихъ и тѣхъ же условіяхъ, высота барометра будетъ понижаться по мѣрѣ приближенія мѣста наблюденія къ экватору. Впрочемъ поправка эта весьма незначительна.

Кромѣ указанныхъ нами обстоятельствъ на полученные результаты имѣютъ вліянія и тѣ, которыя неразлучно сопряжены съ показаніями барометра: измѣненіе плотности ртути отъ температуры и капиллярность. Вліяніе ихъ было нами разсмотрѣно при описаніи барометра.

При измѣреніяхъ высотъ посредствомъ барометра, употребляютъ такъ называемый *дифференціальныи барометръ* Кона, въ томъ случаѣ, если отъ измѣреній не требуется слишкомъ большой точности. —

Фиг. 594.



Дифференціальныи барометръ Кона представляетъ на фигурѣ 594-й, въ $\frac{1}{4}$ часть натуральной его величины. Онъ имѣетъ большое сходство съ разсмотрѣннымъ нами объемномѣромъ того же самаго ученнаго. Прямая цилиндрическая трубка *k* соединена посредствомъ узкой стеклянной трубочки съ сосудомъ *i*. Этотъ стеклянный сосудъ закрытъ герметически сверху; чрезъ верхнюю оправу сосуда проходитъ насквозь тонкая трубка *ed*. Въ трубкѣ *k* находится обтянутый кожей поршень *f*, который можетъ быть поднимаемъ и опускаемъ; поршень этотъ, не препятствуя совершенно прохождению воздуха, не позволяетъ ртути пробираться чрезъ свои края. Приборъ наполняется ртутью такъ, чтобы при поднятій поршня *f* почти вся ртуть перешла изъ сосуда *i* въ цилиндръ *k*. Воздухъ, заключенный въ сосудѣ *i*, сообщается въ этомъ случаѣ чрезъ трубку съ наружнымъ воздухомъ. Весь приборъ укрѣпляется въ показанномъ на фигурѣ положеніи на досечкѣ.

Если опускать медленно поршень въ цилиндръ, то ртуть переходитъ въ сосудъ *i* и поднимается въ немъ, такъ что спустя немного времени, нижній конецъ трубки закрывается ртутью. Вслѣдствіе того запирается въ верхней части сосуда *i* извѣстное количество воздуха, плотность котораго соответствуетъ окружающей атмосферѣ. Продолжая опусканіе поршня *f* до тѣхъ поръ, пока поверхность ртути не достигнетъ окончанія шпильки *a*, который укрѣпленъ къ крышкѣ *ee* на подобіе шпильки «ортенева барометра, то очевидно, что запертый воздухъ достигнетъ сжатія, зависающаго отъ размѣра прибора и положенія шпильки.

Положимъ, что окончаніе шпильки расположена такимъ образомъ, что при положеніи ртути у *a*, запертый воздухъ сжимается на $\frac{1}{4}$ первоначальнаго своего объема. Примѣнявъ къ этому предположенію маріотовъ законъ, получимъ, что ртуть должна подняться въ трубкѣ *ed* на высоту равную $\frac{1}{4}$ высоты барометра.

Какое бы не взяли отношеніе для сжатія запертаго воздуха, при поднятій ртути до шпильки *a*, во всякомъ случаѣ очевидно, что ртутный столбъ, поднятый вслѣдствіе этого сжатія въ трубку *ed*, долженъ быть пропорціоналенъ

положенію ртути въ барометрѣ. Слѣдовательно можно легко найти действительную высоту ртути въ барометрѣ, если помножить высоту, наблюдаемую въ трубкѣ *cd*, на постоянное число, которое имѣетъ отдѣльную величину для каждаго прибора этого рода.

Допустимъ, что по установленіи прибора высота ртутнаго столба въ трубкѣ *cd* равна 72 линіямъ въ то время, когда высота ртути въ барометрѣ простирается до 335 линій. Въ этомъ случаѣ высоты ртутныхъ столбовъ, полученныхъ посредствомъ прибора, будутъ относиться къ соответствующимъ высотамъ барометра какъ 72 къ 325, и поэтому для опредѣленія высоты барометра должно помножить высоту ртутнаго столба, наблюдаемую въ дифференціальномъ барометрѣ, на $\frac{325}{72}$, или, что одно и тоже, на 4,5627.

Представляя этотъ частный случай общимъ выраженіемъ, получимъ $H = \alpha A$, гдѣ A есть наблюдаемая высота дифференціального барометра, α — постоянные коэффициенты, изъ которыхъ каждый соответствуетъ особенному прибору, и H — высота барометра.

Если въ сосудѣ *i* находится другая проволока, нижній конецъ которой *b* лежитъ нѣсколько выше *a*, то при положеніи уровня ртути у *b* запертый воздухъ сжимается сильнѣе, нежели въ предшествовавшемъ случаѣ. Поэтому, между ртутнымъ столбомъ, заключеннымъ въ *cd*, и ртутью въ барометрѣ будетъ существовать уже другое отношеніе. Слѣдовательно коэффициентъ, на который должно помножить высоту ртути надъ точкою *b* (положимъ B) для полученія высоты барометра H , будетъ уже имѣть другую величину β , противу прежняго случая, когда ртуть прикасалась къ оконечности проволоки *a*; мы будемъ имѣть $H = \beta B$.

Если коэффициенты опредѣлены правильно, то мы должны получить изъ наблюденій одинаковыя высоты барометра, какъ для одной, такъ и для другой оконечностей проволоки; поэтому два наблюденія, произведенныя сразу надъ проволокой *a* и надъ проволокой *b*, могутъ служить повѣркою другъ для друга. Трубка *cd* снабжена двумя масштабами, нулевая точка одного лежитъ у *a*, а другого у *b*; отсчитыванія производятся то на одной, то на другой скалѣ, смотря потому доводится ли ртуть до *a* или до *b*.

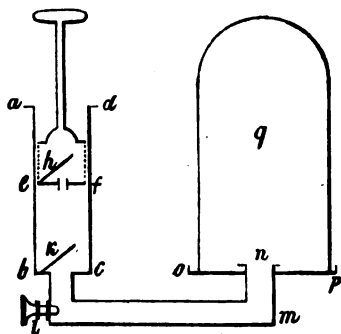
§ 179. Изъ маріотова закона слѣдуетъ, что если два пространства ^{воздуш-}наполненныя воздухомъ находятся между собою въ сообщеніи, то ^{ный на-}состъ. послѣдній можетъ придти только тогда въ равновѣсіе, когда плотность его сдѣлается одинаковою въ обоихъ пространствахъ. Представимъ себѣ, что въ одномъ изъ сообщающихся между собою сосудовъ воздухъ обладаетъ большею плотностію противу воздуха, заключающагося въ другомъ сосудѣ. На основаніи маріотова закона болѣе плотный воздухъ долженъ обладать и большею упругостію, а какъ воздухъ стремится къ разширенію согласно своей упругости, то понятно, что онъ будетъ переходить изъ перваго сосуда во второй до тѣхъ поръ, пока упругость его не будетъ одинакова въ обоихъ сосудахъ.

На этомъ примѣненіи маріотова закона основано устройство воздушныхъ массовъ, принадлежащихъ къ важнѣйшимъ физическимъ приборамъ.

Приборы эти, обязанные своимъ происхожденіемъ въ 1650 году магдебургскому бургомистру Ото-Герике, имѣютъ цѣлію *разрывать* воздухъ въ запертomъ пространствѣ до такой степени, чтобы можно было безъ чувствительной погрѣшности принимать это пространство за *безвоздушное*.

Главнѣйшія основанія этого прибора могутъ быть объяснены фиг. 595, представляющей вертикальный разрѣзъ самаго обыкновеннаго воздушнаго насоса.

Фиг. 595.



Пустой мѣдный цилиндр $abcd$, посредствомъ трубки, находится въ соединеніи со стекляннѣмъ колоколомъ q , который плотно прилегаетъ къ кругу op , называемому тарелкой воздушнаго насоса. Предположимъ, что колоколъ представляетъ собою пространство, изъ котораго должно извлечь воздухъ. Для этого служить плотно входящій въ цилиндръ поршень ef , имѣющій по срединѣ отверстіе, запирающееся клапаномъ h . Другой клапанъ k запираетъ нижнее отверстіе цилиндра. Оба эти клапана открываются

тогда только, когда давленіе дѣйствуетъ на нихъ снизу, и запираются въ противоположномъ случаѣ.

Для приведенія этого прибора въ дѣйствіе вдвигаютъ поршень сперва въ цилиндръ до bc ; сгущаемый воздухъ затворитъ клапанъ h и отворитъ клапанъ k , чрезъ который онъ выйдетъ весь наружу въ томъ случаѣ, когда основаніе поршня ef будетъ лежать плотно на клапанѣ k . Какъ при этомъ подъ клапаномъ h не будетъ заключаться воздуха, то очевидно, что давленіе атмосферы, дѣйствуя сверху, затворитъ его.

Поднимемъ теперь поршень кверху. При поднятіи его очевидно подъ поршнемъ должно образовываться пустое, безвоздушное пространство. Но какъ по другую сторону клапана k въ трубкѣ mt и подъ колоколомъ находится воздухъ, то ясно, что послѣдній вслѣдствіе своей упругости будетъ стремиться къ наполненію этого пространства: онъ отворитъ клапанъ k , взойдетъ въ пустую часть цилиндра $abcd$ и придетъ только тогда въ равновѣсіе, когда упругость его во всѣхъ точкахъ занимаемаго пространства будетъ одинакова.

А какъ занимаемое имъ пространство увеличилось, то упругость его должна уменьшиться противу той, которою онъ обладалъ прежде открытія клапана k и которая была одинакова съ упругостію окружающей атмосферы. Опустимъ теперь поршень. Какъ упругость воздуха подъ поршнемъ уже менѣе давленія атмосферы, то очевидно, что клапанъ h при началѣ опусканія будетъ удерживаться закрытымъ отъ давленія атмосферы. Вслѣдствіе того воздухъ подъ поршнемъ будетъ сжиматься, упругость его будетъ увеличиваться и онъ затворитъ клапанъ k . Когда же упругость его увеличится до такой степени, что онъ въ состояніи будетъ преодолевать давленіе атмосферы, то ясно, что клапанъ h откроется, при чемъ, по мѣрѣ дальнѣйшаго погруженія поршня, заключающійся подъ нимъ воздухъ будетъ выходить наружу. По выходѣ его клапанъ h снова затворится.

При вторичномъ поднятіи поршня повторятся тѣже явленія какъ и при первомъ поднятіи; вся разница заключается только въ томъ, что воздухъ, устремляющійся къ занятію пустоты, обладаетъ уже меньшею плотностію, а слѣдовательно и меньшею упругостію, нежели при первомъ своемъ устремленіи въ безвоздушное пространство. Понятно, что съ занятіемъ послѣдняго упругость воздуха должна еще болѣе уменьшиться. На этомъ основаніи чрезъ постоянное поднятіе и опусканіе поршня мы будемъ постоянно извлекать изъ подъ колокола извѣстное количество воздуха, соотвѣтствующее пустотѣ образующейся подъ поршнемъ. Вслѣдствіе того воздухъ, находящійся подъ колоколомъ, будетъ постепенно разрѣжаться. Но не должно увлекаться этимъ и полагать, что можно наконецъ получить подъ колоколомъ совершенную пустоту. Чтобы убѣдиться въ справедливости этого замѣчанія, положимъ, что объемъ колокола q и трубки lm равенъ одному кубическому футу и что тотъ же самый объемъ соотвѣтствуетъ пустотѣ, образующейся въ цилиндрѣ $abcd$ при поднятіи поршня. Если поршень поднять въ первый разъ, то объемъ воздуха подъ колоколомъ въ трубкѣ lm , соотвѣтствующій кубическому футу, распространяется на протяженіи удвоеннаго пространства. Слѣдовательно подъ колоколомъ и въ трубкѣ послѣ перваго поднятія будетъ только половина прежде заключавшагося въ немъ воздуха. Точно также послѣ вторичнаго поднятія поршня выдетъ изъ подъ колокола снова половина оставшагося воздуха; тоже самое произойдетъ при третьемъ, четвертомъ и дальнѣйшихъ поднятіяхъ поршня. Однимъ словомъ, нельзя будетъ произвести подъ колоколомъ совершенной пустоты, потому что при каждомъ поднятіи поршня извлекается изъ подъ колокола только половина того воздуха, который оставался послѣ предшествовавшаго поднятія.

Если бы объемъ цилиндра не равнялся бы объему колокола и трубки, то уменьшеніе плотности воздуха происходило бы въ другомъ отношеніи, которое бы обусловилося отношеніемъ объема цилиндра къ объему колокола и соединяющей трубки.

Но если и нельзя произвести совершенной пустоты подъ колоколомъ, то можно по крайней мѣрѣ разрѣдить въ немъ воздухъ до такой степени, что не въ состояніи уже будетъ поднимать клапана k . Чтобы доводить разрѣженіе какъ можно далѣе, стараются придавать клапанамъ наибольшую легкость: для этого устраиваютъ ихъ изъ тонкой непроницаемой для воздуха тафты. Кромѣ того, на основаніи предъидущаго разсужденія, принимая въ расчетъ объемы частей, составляющихъ насосъ и число поднятій поршня, по настоящему мы бы должны были получать по желанію извѣстную степень разрѣженія воздуха. На самомъ дѣлѣ, какъ бы совершенно не были устроены части воздушнаго насоса, мы не въ состояніи достигнуть степеней разрѣженія, указываемыхъ вычисленіемъ. Причиною этого служитъ слѣдующее обстоятельство. Никогда нельзя устроить поршень такъ, чтобы, при нахожденіи его, у самаго основанія цилиндра, не заключалось вовсе промежуточнаго пространства между двумя при-

касающимися плоскостями. Если бы даже плоскости эти и прикасались совершенно точно другъ ко другу, то нельзя никогда набѣгнуть пустого пространства непосредственно подъ самымъ клапаномъ поршня. Поэтому если при опусканіи поршня клапанъ его отворяется для пропуска сжатого подъ нимъ воздуха, то всегда остается непосредственно подъ клапаномъ часть воздуха, которая не успѣла удалиться наружу и которой плотность равна атмосферѣ. Это то пространство въ насосѣ, наполненное воздухомъ, называютъ *среднимъ пространствомъ*. Представимъ себѣ, что при поднятіи поршня клапанъ *k* оставляетъ закрытымъ отверстіе трубки, чего очевидно мы могли бы достигнуть, если бы вмѣсто клапана употребили въ этомъ мѣстѣ такой кранъ, посредствомъ котораго можно бы было восстанавливать и прерывать по произволу сообщеніе между цилиндромъ и трубкою. Если при этомъ условіи поднять поршень, то воздухъ, находящійся во вредномъ пространствѣ, распространится на весь протяженіи пустоты, образующейся подъ поршнемъ, и плотность его будетъ очевидно относиться къ плотности атмосфернаго воздуха, какъ объемъ вреднаго пространства къ объему полученной пустоты. Если бы воздухъ, оставшійся подъ колоколомъ, и былъ разрѣженъ до этой степени, то ясно, что воздухъ не можетъ уже болѣе переходить изъ подъ колокола въ цилиндръ, даже и въ случаѣ сообщенія между этими двумя частями. Въ этомъ случаѣ достигается *предѣлъ разрѣженія*, такъ что дальнѣйшее выкачиваніе воздуха становится уже бесполезнымъ. Чтобы убѣдиться въ справедливости послѣдняго обстоятельства, употребляютъ описанный нами выше укороченный барометръ.

Приборъ этотъ ставятъ на тарелку воздушнаго насоса. Если высота ртути въ укороченномъ барометрѣ равна 1 линіи, когда барометръ снаружѣ показываетъ 30 дюймовъ, то значитъ, что воздухъ разрѣженъ подъ колоколомъ въ 12×30 или въ 360 разъ противу обыкновеннаго своего состоянія. По достиженіи предѣла разрѣженія, сколько бы мы не выкачивали воздухъ, высота укороченнаго барометра будетъ оставаться неизмѣнною. На практикѣ при устройствѣ насосовъ даютъ имъ такое расположеніе частей, при которомъ по возможности уменьшается это пространство. Мы покажемъ впослѣдствіи средства, которыя употребляютъ съ этою цѣлю.

Перейдемъ теперь къ описанному нами выше насосу. Послѣ разрѣженія воздуха происходятъ слѣдующія явленія.

Внутри колокола *q* не заключается болѣе воздуха, котораго упругость могла бы противодействовать давленію внѣшняго воздуха. Вслѣдствіе того послѣдній прижимаетъ колоколъ съ такою силою къ тарелкѣ, что даже съ помощію значительной силы нельзя его отнять прочь. Только пропустивъ воздухъ, съ помощію винта *l*, подъ колоколъ, мы будемъ въ состояніи отдѣлить его отъ тарелки.

Кромѣ описаннаго нами воздушнаго насоса есть еще много другихъ, которыхъ устройство въ главнѣйшихъ частяхъ одно и то же.

Мы рассмотримъ предварительно устройство насосовъ, въ которыхъ вмѣсто клапановъ употребляются краны.

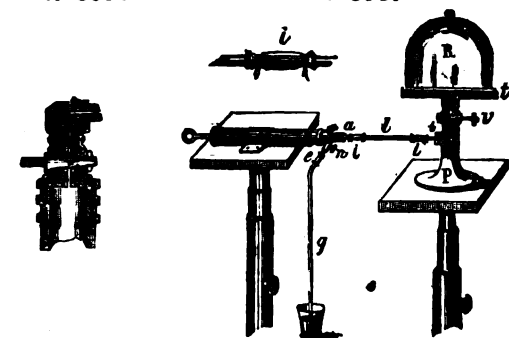
1) Ручной воздушный насосъ, изобрѣтенный

Фиг. 596.



Фиг. 597.

Фиг. 598.

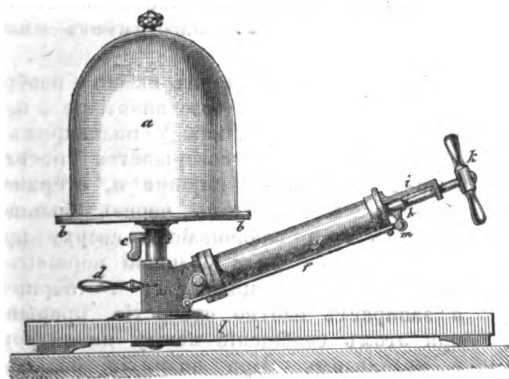


Гь-Люсакомъ, представленъ на 596-й фиг. въ $\frac{1}{4}$ ч. натуральной его величины. Отъ нижняго конца этого насоса идетъ узкая трубка *a*, сообщающаяся съ другою трубкою *c*. Обѣ эти трубки могутъ быть запираемы кранами *m* и *n*, послѣ оборота ихъ на 90 градусовъ, какъ видно изъ 597-й фиг. Для дѣйствія этимъ насосомъ, кладутъ его горизонтально на столъ (598-я фиг.) и къ концу *a* приставляютъ стеклянную трубку *l*, сообщающуюся съ колоколомъ насоса *R* и перевязанную у *i* каучукомъ, для воспрепятствованія прохождению воздуха. Потомъ запираютъ одинъ только винтъ *n* и подвигаютъ поршень *g* къ себѣ, отъ чего часть воздуха изъ стекляннаго колокола перейдетъ въ цилиндръ и выйдетъ изъ клапана *c* при обратномъ движеніи поршня *g*. О степени разрѣженія воздуха мы можемъ, въ этомъ случаѣ, судить посредствомъ 30-ти дюймовой, стеклянной трубки *eg*, опущенной однимъ концомъ въ стаканъ со ртутью, которая, по открытіи винта *n*, будетъ подниматься въ трубкѣ тѣмъ выше, чѣмъ болѣе воздухъ будетъ разрѣженъ подъ колоколомъ.

Такого устройства насосы употребляютъ преимущественно при опытахъ, въ особенности въ томъ случаѣ, когда разрѣживаемыя пространства бываютъ малы и не требуется при дѣйствіи большой поспѣшности.

Мы опишемъ здѣсь еще одинъ насосъ, изобрѣтенный весьма недавно механикомъ Аутенритомъ въ Ульмѣ. Насосъ этотъ, принадлежащій собственно къ такъ называемымъ ручнымъ насосамъ, замѣчательнъ какъ по удобству при употребленіи, такъ и по дешевизнѣ своей. Всѣ ручные насосы, въ родѣ разсмотрѣнныхъ нами, имѣютъ то неудобство, что послѣ каждаго движенія поршня должно отворять или запираеть кранъ и поэтому отъ одной неосмотрительности выкачиваніе воздуха можетъ сдѣлаться гораздо продолжительнѣе того, какъ бы слѣдовало; сверхъ того горизонтальное или вертикальное расположеніе цилиндра затрудняетъ движенія поршня. Недостатки эти устранены въ приборѣ Аутенрита, представленномъ на фиг. 599-й въ одну шестую часть натуральной своей величины.

Фиг. 599.



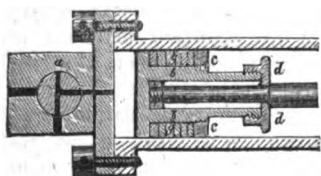
Часть I.

Колоколъ *a* ставится на мѣдную тарелку *b*; въ металлическомъ основаніи, на которомъ лежитъ тарелка, находится кранъ *c*, поворачивающійся при каждомъ

движеніи поршня посредствомъ стержня *f*. Кранъ этотъ устроенъ такимъ образомъ, что при вращеніи своемъ онъ можетъ *только* пропускать воздухъ изъ вытекаемый изъ подъ колокола. Собственно самый насосъ есть *g*, першень котораго прикасается своимъ стержнемъ плотно къ пропускающему его отверстию крышки; тотъ же самый стержень проходитъ съ незначительнымъ треніемъ чрезъ обхватывающую его обоймичу *h*, которая управляетъ поворотами крана слѣдующимъ образомъ. Къ обоймичѣ *h* прикрѣплена рукоятка, соединяющаяся у *m* посредствомъ винта со стержнемъ *f*; къ части рукоятки, прикасающейся къ обоймичѣ, приделанъ винтъ, посредствомъ котораго послѣдняя можетъ по произволу быть прижимаема къ стержню поршня. Взявши за ручку *h*, выдвигаютъ стержень вверхъ и увлекаютъ при этомъ движеніи обоймичу, которая задерживается загибомъ полоски *i* въ то время, когда соединенный съ нею кранъ *e* слѣзаетъ четверть поворота на окружности; самый же стержень продолжаетъ двигаться далѣе; при опусканіи стержня обоймича возвращается назадъ къ крышкѣ насоса и приводитъ кранъ *e* въ его первоначальное положеніе. Но чтобы при движеніи стержня внутри обоймичи не происходило бесполезнаго тренія, то приделываютъ утолщенія необходимыя для тренія только къ двумъ мѣстамъ стержня и именно къ тѣмъ, которыя должны увлечь обоймичу.

Для объясненія внутренняго устройства насоса представлена въ разрѣзѣ внутренняя часть его въ половину натуральной величины на фиг. 600. *a* озна-

Фиг. 600.



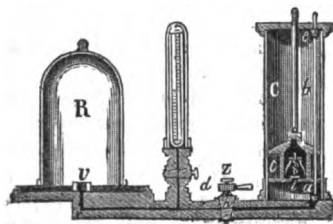
чаетъ кранъ, съ тонкими сквозными отверстиями для уменьшенія вреднаго пространства, *b* мѣдный поршень, *g* обвивающая его кожа, *a* с привинченное кольцо, прикрѣпляющее кожу къ дву поршня. Къ утолченному концу стержня *f* привинчиваются толстыя пластинки *e*, которыя могутъ двигаться въ пустотѣ поршня и задерживаются привинченной крышкой *d* поршня. Поэтому при поднятіи стержня вверхъ онъ

движется сперва одинъ въ пустотѣ поршня и увлекаетъ за собою послѣдній только тогда, когда кранъ окончитъ надлежащій поворотъ.

Когда запертъ кранъ *e* (фиг. 599), то колоколъ *a* прилегаетъ плотно къ тарелкѣ *b*. Для пропуска воздуха подъ колоколъ отвинчиваютъ кранъ *d* посредствомъ ручки. Насосъ этотъ съ принадлежностями стоитъ до 10 р. сер. Въ этихъ насосахъ пространство между краномъ и дномъ поршня во время опусканія послѣдняго находится въ сообщеніи съ атмосферой, а слѣдовательно наполняется воздухомъ одинаковой упругости съ послѣднею. При поднятіи поршня воздухъ этотъ проникаетъ подъ колоколъ насоса. Поэтому пространство, между краномъ *m* и дномъ поршня во время его опусканія есть собственно вредное пространство, о которомъ мы говорили выше. Чтобы уменьшить это пространство въ ручныхъ насосахъ даютъ имъ форму, представленную на фиг. 601 и 602, изъ которыхъ вторая объясняетъ собственно устройство поршня; коническая фигура основанія послѣдняго имѣетъ цѣлю уменьшеніе вреднаго пространства.

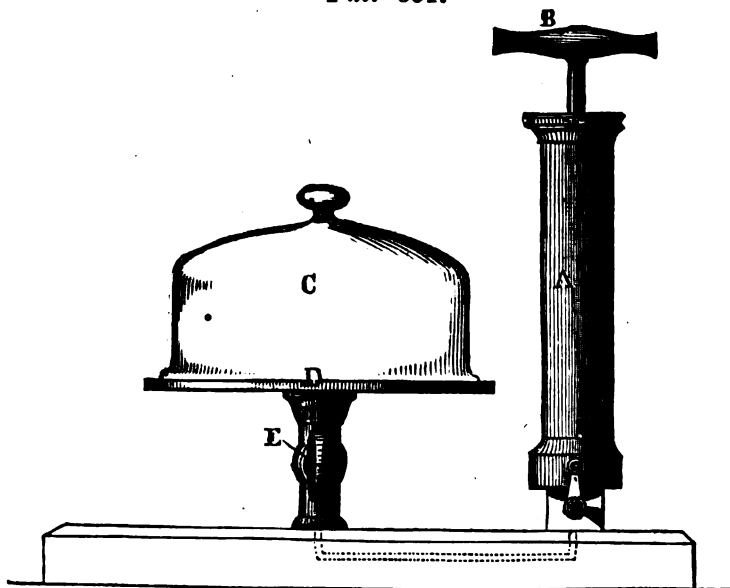
2) Изъ числа *большихъ* насосовъ наиболѣе примѣчателенъ насосъ, изображенный на фиг. 603 въ продольномъ разрѣзѣ. Въ немъ возобновленіе и прер-

Фиг. 603.



ращеніе сообщенія между цилиндромъ *C* и колоколомъ *R* совершается посредствомъ небольшого поршня *a*, стержень котораго *b* проходитъ черезъ большой поршень *c* и оканчивается сверху приставомъ *e*. — Если большой поршень *c* находится внизу цилиндра, то поршень *a* запираетъ плотно отверстіе, прерывая при этомъ сообщеніе между цилиндромъ и колоколомъ. При поднятіи большого

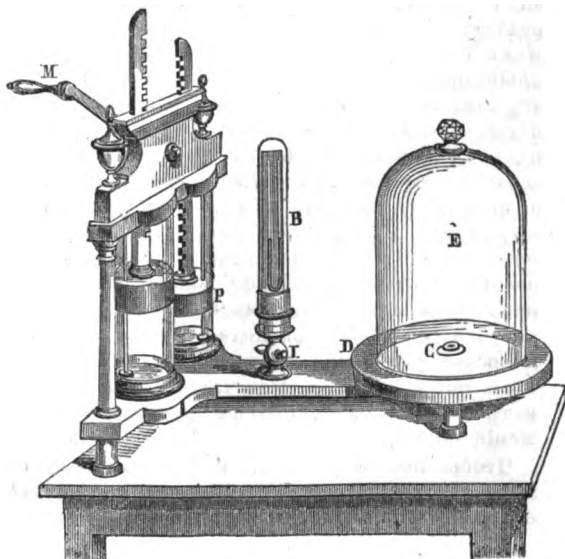
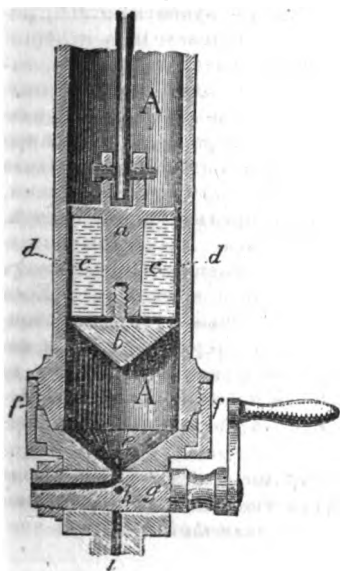
Фиг. 601.



поршня *c*, стержень *b* выдвигается на столько, сколько нужно для открытия нижняго отверстия, потому что приставъ *e* не позволяетъ ему двигаться далѣе. При этомъ воздухъ перейдетъ изъ колокола въ цилиндръ. При опусканіи поршня *c* опустится въ тоже время и поршень *a*, который запретъ при этомъ каналъ, сообщающій цилиндръ съ колоколомъ. Когда же упругость сжимаемаго воздуха въ состояніи будетъ преодолѣть давленіе атмосферы, то клапанъ *f* откроется и заключавшійся подъ нимъ воздухъ выйдетъ наружу. Съ помощію крана *z* можно пропускать подъ колоколъ воздухъ снаружи. Разрѣженіе воздуха здѣсь опредѣляется посредствомъ укороченнаго 7-ми дюйм. барометра, помѣщаемаго подъ особымъ колпакомъ (между *R* и *C*), который имѣетъ сообщеніе какъ съ большимъ колоколомъ, такъ и съ цилиндромъ *C*, чрезъ поворачиваніе особаго винта *d*.

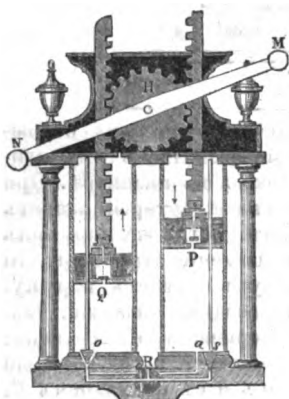
Фиг. 602.

Фиг. 604.

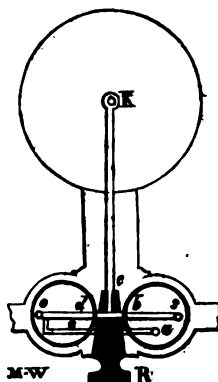


Но болѣе совершенное устройство представляетъ насосъ, изображенный на фиг. 604. Онъ состоитъ изъ двухъ стеклянныхъ или мѣдныхъ цилиндровъ; внутри каждаго изъ нихъ находится плотно входящій поршень *P*. Къ обоимъ поршнямъ придѣланы стержни, имѣющіе видъ зубчатыхъ полосъ; полосы эти захватываютъ съ обѣихъ сторонъ за зубцы колеса *H* (фиг. 605). Къ оси послѣдняго колеса прикрѣплена рукоятка *MN*. Поднимающа и опускающа послѣдовательно концы рукоятки, сообщаютъ колесу перемѣнные движенія то вправо, то влѣво; колесо же въ свою очередь, задѣвая за зубцы полосъ при движеніи влѣво, поднимаетъ лѣвую, а при движеніи вправо опускаетъ правую полосу, такъ что когда одна изъ нихъ опускается, то другая поднимается. Оба цилиндра утверждены герметически на подставахъ, которые придѣланы къ металлической доскѣ, оканчивающейся тарелкой *D* (фиг. 604). На эту тарелку кладутъ плотный стеклянный колоколъ *E*, подъ которымъ разрѣживаютъ воздухъ. Противу центра *C* тарелки находится отверстіе, которое сообщаетъ внутренность колокола съ цилиндрами посредствомъ канала, представленнаго въ планѣ на фиг. 606 *a*. Каналъ этотъ идетъ отъ *K* до *c* и потомъ поворачиваетъ вправо къ отверстію *z* и влѣво къ отверстію *o*.

Фиг. 605.



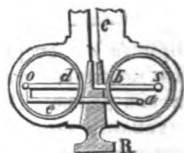
Фиг. 606а.



Фиг. 606b.



Фиг. 607.



Фиг. 608.



Фиг. 605 представляетъ отвѣсный разрѣзъ передней части насоса. На ней видно какимъ образомъ колесо *H*, приводимое во вращеніе рукояткою *MN*, передаетъ это движеніе двумъ зубчатымъ полосамъ, а слѣдовательно и поршнямъ *P* и *Q*. Внутри этихъ поршней находится цилиндрическая пустота, закрываемая въ нижней своей части небольшимъ клапаномъ, который поддерживается слабой пружиной. Пустота, въ которой расположены эти клапаны, сообщается съ верхнею частию цилиндра чрезъ отверстіе, придѣланное надъ клапаномъ. Отверстіе это постоянно открыто для доставленія прохода воздуху. Чрезъ внутренность поршней проходятъ цилиндрическіе стержни, нижнія части которыхъ *o* и *z*, подобно тому, какъ и въ предыдущемъ насосѣ, закрываютъ и отпираютъ соотвѣтственные имъ отверстія. Въ разсматриваемомъ нами насосѣ коническія утолщенія *o* и *z*, восстанавливаютъ и прерываютъ послѣдовательно сообщенія между обоими цилиндрами и колоколомъ. Если напр. опускается поршень *P*, то увлекаемый имъ желѣзный стержень запираетъ отверстіе *z*. При поднятій того же поршня, какъ стержень, такъ и коническое утолщеніе нижней части его приподнимаются немного кверху до тѣхъ поръ, пока верхняя часть стержня не коснется крышки цилиндра. Понятно, что стержень этотъ не принимаетъ болѣе участія въ дальнѣйшемъ движеніи поршня.

Чтобы понять дѣйствіе насоса съ двумя цилиндрами, стоитъ только припомнить дѣйствіе насоса съ однимъ цилиндромъ. Дѣйствіе это повторяется послѣдовательно каждымъ цилиндромъ. Въ этомъ то и заключается выгода упо-

требленія двухъ цилиндровъ, потому что при каждомъ движеніи рукоятки одинъ изъ поршней (поднимающійся) вытягиваетъ воздухъ изъ подъ колокола въ соотвѣтственный цилиндръ, между тѣмъ какъ другой (опускающійся) выпускаетъ наружу изъ своего цилиндра тотъ воздухъ, который былъ имъ вытянутъ при предшествовавшемъ движеніи рукоятки.

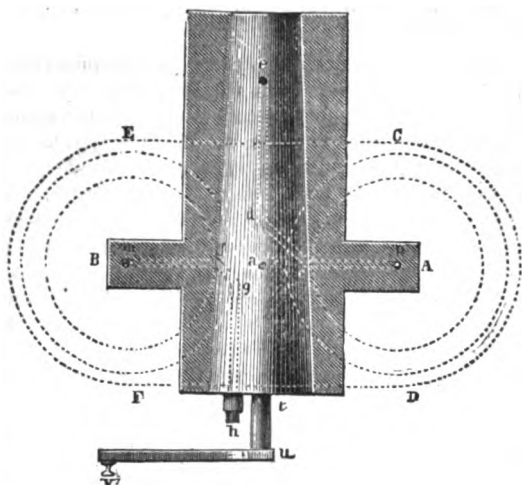
Для того, чтобы производить разрѣженіе воздуха за *предполож. разрѣженія*, Бабине придумалъ весьма остроумное устройство. Какъ воздухъ равнаго давленія съ атмосферой остается въ вредномъ пространствѣ послѣ выпуска воздуха изъ клапана наружу, и какъ этотъ воздухъ потомъ распространяется подъ колоколъ, то Бабине имѣлъ въ виду оставить въ соединеніи съ колоколомъ тотъ цилиндръ, который вытягиваетъ изъ него воздухъ и уединить отъ колокола другой, назначаемый собственно для выпуска воздуха, извлекаемаго первымъ цилиндромъ. Для этого онъ устроилъ особеннаго рода кранъ *R* (фиг. 606 *a* и *b*), помѣщаемый у самаго искривленія канала, идущаго отъ отверстія *K* къ отверстиямъ *z* и *o*. Внутри этого крана находятся два перпендикулярные другъ къ другу канала, которые, при различныхъ поворотахъ винта, даютъ попеременно сообщенія различнымъ частямъ насоса.

На фиг. 606 *a* представленъ горизонтальный разрѣзъ крана *R*, въ томъ положеніи, когда онъ сообщаетъ между собою отверстіе *K* колокола и оба отверстія *o* и *z* цилиндровъ, при посредствѣ центральнаго и двухъ боковыхъ отверстій. Въ такомъ случаѣ насосъ дѣйствуетъ такъ, какъ мы описали выше, т. е. даетъ указанный нами предѣлъ разрѣженія. Но если по достиженіи этого предѣла повернуть кранъ на своей оси на четверть оборота, то поперечный каналъ его *ab*, который былъ прежде въ горизонтальномъ положеніи (фиг. 606 *a*), приметъ теперь отвѣсное положеніе (фиг. 607) и отверстія его будутъ закрыты стѣнками, окружающими кранъ. Но за то второй каналъ крана, который былъ прежде въ бездѣйствіи и который заступилъ мѣсто перваго канала, соединяетъ теперь одинъ правый цилиндръ съ колоколомъ, посредствомъ отверстія *cd* (фиг. 607); кромѣ того, винтъ при этомъ же самомъ поворотѣ сообщаетъ правый цилиндръ съ лѣвымъ, посредствомъ отверстія *aeo* (фиг. 607) или *aio* (фиг. 605, представляющая тоже положеніе винта въ вертикальномъ разрѣзѣ). Этотъ второй каналъ начинается у центральнаго отверстія *a*, проходящаго въ основаніи праваго цилиндра, проходитъ чрезъ кранъ къ лѣвому цилиндру до отверстія *o*, замирающагося боковымъ стержнемъ поршня, движущагося въ лѣвомъ цилиндрѣ (фиг. 607 и 608). Но этотъ каналъ прерывается вправо въ томъ случаѣ, когда онъ, какъ показываютъ фиг. 605 и 606 *a*, принимаетъ первоначальное свое положеніе.

Положимъ теперь, что поднимающійся правый поршень вытянулъ известное количество воздуха изъ подъ колокола; при опусканіи того же поршня запирается каналъ, сообщающійся съ отверстіемъ *o*. Если бы не было теперь сообщенія между обоими цилиндрами, то вытянутый воздухъ постепенно бы сгустился подъ поршнемъ праваго цилиндра и наконецъ достигъ бы до такой упругости, которая бы позволила ему отворить клапанъ поршня; при чемъ, какъ мы знаемъ, подъ поршнемъ во вредномъ пространствѣ осталась часть воздуха одинаковой плотности съ атмосферой. Но если существуетъ сообщеніе между цилиндрами, достигаемое поворотомъ винта *R*, то при опусканіи праваго поршня, вытянутый имъ воздухъ вгоняется въ лѣвый цилиндръ чрезъ отверстіе *a*, каналъ *cd* и отверстіе *o* (фиг. 608), которое въ этомъ случаѣ открыто, чему очевидно способствуетъ самое поднятіе лѣваго поршня, который, какъ извѣстно, поднимается въ то время, когда опускается правый поршень. При этомъ способѣ клапанъ поршня праваго цилиндра будетъ закрытъ постоянно до самаго прикосновенія поршня съ двомъ цилиндра, такъ что надъ нимъ во вредномъ пространствѣ можетъ заключаться *только весьма разрѣженный воздухъ*. При поднятіи праваго поршня опускается лѣвый, но въ настоящемъ случаѣ воздухъ, находящійся подъ послѣднимъ, уже не въ состояніи проникнуть въ правый цилиндръ, потому что при этомъ отверстіе *o* запирается боковымъ стержнемъ поршня.

Одинаковой цѣли съ краномъ Бабинѣ достигаетъ и кранъ Грасмана, представленный на фиг. 609. *CDEF* есть основаніе, на которомъ лежатъ цилиндры.

Фиг. 609.



Отъ дна цилиндра *A* идетъ каналъ сперва отвѣсно книзу, потомъ по горизонтальному направленію отъ *p* къ *c*, гдѣ онъ примыкаетъ къ крану; тоже самое устройство и съ другой стороны; отъ дна цилиндра *B* идетъ каналъ сперва отвѣсно книзу, потомъ горизонтально отъ *m* къ *f*. Кранъ просверленъ по тремъ направленіямъ. Одинъ каналъ идетъ при положеніи крана, означенномъ на фигурѣ, отъ *e* вертикально книзу, потомъ горизонтально по направленію оси вращенія крана до *d* и потомъ отъ *d* до *c*; другой каналъ ведетъ отъ *f* къ *g* и отъ *g* къ *A*; третій каналъ видѣнъ на фигурѣ только сверху у *a*; онъ

идетъ внутри крана по срединѣ между *c* и *f* перпендикулярно къ плоскости каналовъ *ede* и *fgA*.

На фиг. представлено то положеніе, въ которомъ онъ долженъ находиться, когда поршень поднимается въ цилиндрѣ *A*. Воздухъ изъ подъ колокола проходитъ при этомъ чрезъ *e*, *d*, *c* и *p* въ цилиндръ *A*; съ другой же стороны опускающійся поршень цилиндра *B* вытѣсняетъ изъ послѣдняго воздухъ чрезъ каналъ *mfgh*.

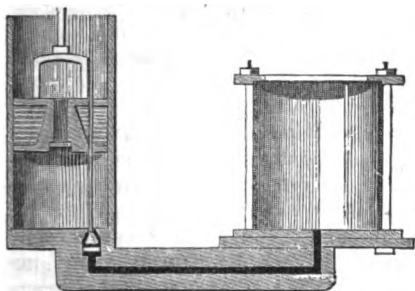
Представимъ себѣ теперь, что вовсе не существуетъ канала *a*. Если, послѣ совершеннаго поднятія поршня *A* и совершеннаго опусканія поршня *B*, повернуть кранъ, такимъ образомъ, чтобы конецъ рукоятки *e*, находящійся на фигурѣ вѣavo, перешелъ на правую сторону, то каналъ *Agf* крана займетъ такое положеніе, при которомъ онъ будетъ прикасаться къ *pc*, а каналъ *ede* примыкать къ *mf*, такъ что когда поршень въ *A* опускается, а въ *B* поднимается, воздухъ изъ подъ колокола переходитъ въ *B*, а воздухъ находящійся въ *A* вытѣсняется наружу.

Когда при положеніи крана, означенномъ на фигурѣ, поршень цилиндра *B* достигнетъ предѣла своего опусканія, то въ каналѣ *mf* и въ необходимомъ промежуточномъ пространствѣ подъ поршнемъ долженъ находиться воздухъ равный по упругости атмосферѣ. Если же послѣ того повернуть винтъ на 180° , то этотъ воздухъ перейдетъ подъ колоколъ и войдетъ въ сообщеніе съ имѣющимся тамъ разрѣженнымъ воздухомъ. Понятно, что при этомъ воздухъ, остающійся во вредномъ пространствѣ, препятствуетъ къ разрѣженію воздуха подъ колоколомъ по достиженіи предѣла разрѣженія.

Неудобство это устраняется присутствіемъ канала *a*. Если кранъ изъ положенія означеннаго на фигурѣ сдѣлаетъ $\frac{1}{4}$ оборота, то каналъ *a* расположится горизонтально и будетъ сообщать между собою отверстія *f* и *c*, такъ что въ этомъ случаѣ оба цилиндра будутъ находиться въ соединеніи между собою. Воздухъ запертый въ *mf* будетъ теперь распространяться чрезъ *a* до цилиндра *A*, заключающаго разрѣженный воздухъ; поэтому во вредномъ пространствѣ *mf* будетъ оставаться уже только разрѣженный воздухъ.

Что же касается до многочисленныхъ примѣненій насоса, то мы имѣли уже случай неоднократно видѣть, какую пользу онъ оказываетъ при изслѣдованіи различныхъ физическихъ явленій.

§ 180. Воздушный насосъ можетъ быть также приспособленъ къ сгущенію воздуха (Фиг. 610), если ^{на}насосъ.



сгущенію воздуха (Фиг. 610), если ^{на}насосъ. только клапаны его будутъ обращены въ противоположную сторону. И въ самомъ дѣлѣ, въ этомъ случаѣ, съ опусканіемъ поршня, воздухъ долженъ сгущаться и переходить подъ колоколъ; когда же поршень поднимается, то внѣшній воздухъ открываетъ клапанъ его и проходитъ въ цилиндръ, между тѣмъ какъ сгущенный воздухъ подъ колоколомъ закрываетъ нижнее от-

верстіе цилиндра. Вторичное опусканіе поршня открываетъ снова отверстіе основанія и запираетъ клапанъ поршня, такъ что при этомъ опусканіи вгоняетъ подъ поршень новое количество воздуха и т. д.

Укороченный барометръ, посредствомъ котораго опредѣляется мѣра сгущенія воздуха подъ колоколомъ состоитъ изъ наполненной воздухомъ прямой стеклянной трубки закрытой сверху. Открытый же конецъ нижней части трубки опускается въ чашечку, наполненную ртутью. Передъ началомъ сгущенія воздухъ въ трубкѣ претерпѣваетъ давленіе атмосферы, при чемъ какъ въ трубкѣ, такъ и въ чашечкѣ, воздухъ находится на одной высотѣ. Чѣмъ болѣе увеличивается сгущеніе, тѣмъ значительное поднимается ртуть въ трубкѣ. По высотѣ ртутнаго столба и по сжатію воздуха въ трубкѣ легко уже судить и о степени сгущенія воздуха подъ колоколомъ.

Въ сгущающемъ насосѣ колоколъ долженъ быть привинченъ къ тарелкѣ, потому что въ противномъ случаѣ сгущенный воздухъ можетъ поднимать его.

Но и въ этомъ насосѣ, какъ и въ обыкновенномъ, существуетъ подъ клапаномъ поршня при совершенномъ опусканіи его вредное пространство. Воздухъ, находящійся въ этомъ пространствѣ, сообщается съ воздухомъ сгущаемымъ въ колоколѣ; понятно, что оба эти количества воздуха, по сообщеніи своемъ, принимаютъ одинаковую упругость. Когда же плотность воздуха во вредномъ пространствѣ возрастаетъ до такой степени, что онъ при распространеніи своемъ въ цилиндръ, имѣетъ плотность равную наружному воздуху, то послѣдній не въ состояніи уже проникать въ цилиндръ и въ такомъ случаѣ сгущеніе достигаетъ предѣла.

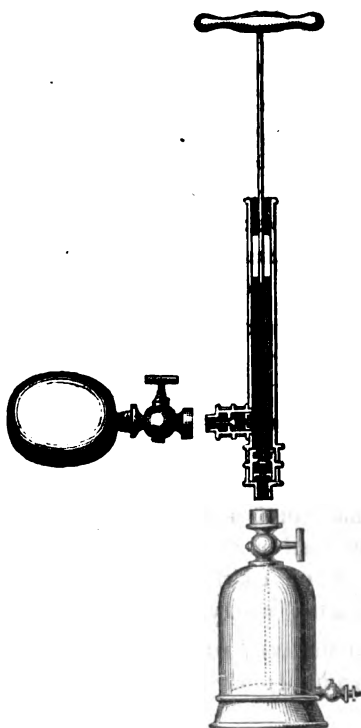
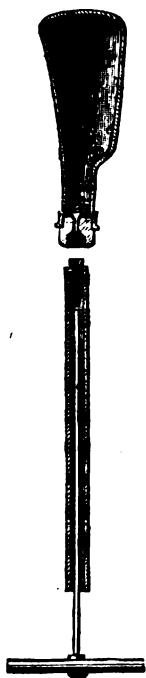
Кромѣ того, предѣлъ сгущенія зависитъ также и отъ отношенія, существующаго между двумя объемами воздуха, которые заключаются подъ поршнемъ въ то время, когда онъ находится въ верхней и въ нижней части цилиндра. Если второй объемъ составляетъ, напримѣръ 60-ю часть отъ перваго объема, то мы не въ состояніи будемъ сгустить воздухъ болѣе 60 атмосферъ, потому что за этимъ предѣломъ упругость воздуха въ колоколѣ будетъ болѣе противу

упругости воздуха въ цилиндрѣ, въ которомъ движется поршень, и тогда нижній клапанъ цилиндра не въ состояніи будетъ отворяться, для доставленія прохода новому количеству воздуха.

Сгущеніе воздуха можно производить также посредствомъ болѣе простыхъ приборовъ, представленныхъ на фиг. 611-й и 612-й.

Фиг. 611.

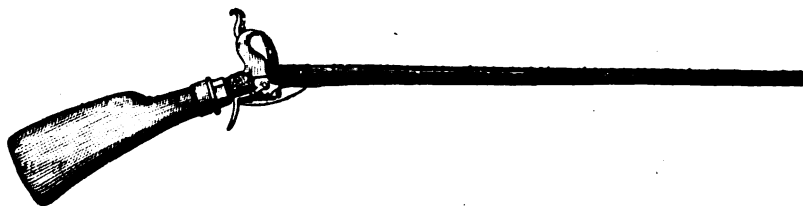
Фиг. 612.



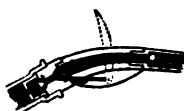
Въ этихъ приборахъ снарядъ, въ которомъ желаютъ сгустить воздухъ, привинчивается къ насосу. Самые насосы состоятъ изъ цилиндра и поршня безъ клапана. Къ одному концу цилиндра привинчивается резервуаръ, назначаемый для сгущенія воздуха; въ этомъ резервуарѣ находится клапанъ, позволяющій воздуху проникать во внутренность резервуара, но не позволяющій ему выходить обратно. Для втягиванія въ цилиндръ свѣжаго воздуха, въ замѣнъ того, который перешелъ изъ цилиндра въ резервуаръ, прицѣпляютъ къ цилиндру или боковое отверстие, или боковой клапанъ (фиг. 612). Последнее устройство наиболѣе употребительно въ томъ случаѣ, когда желаютъ сгустить извѣстный газъ, потому что тогда соединяютъ приборъ заключающій газъ съ боковымъ клапаномъ посредствомъ трубки.

Первый изъ этихъ сгущающихъ насосовъ употребляется преимущественно для заряженія такъ называемыхъ *воздушныхъ ружей*, устройство которыхъ основано на разширеніи сгущеннаго воздуха. Воздушное ружье, представленное на фиг. 613-й, состоитъ изъ пустаго приклада или воздушной камеры, привинчивающейся къ концу ствола, отъ котораго она отдѣляется клапаномъ.

Фиг. 613.



Фиг. 614.



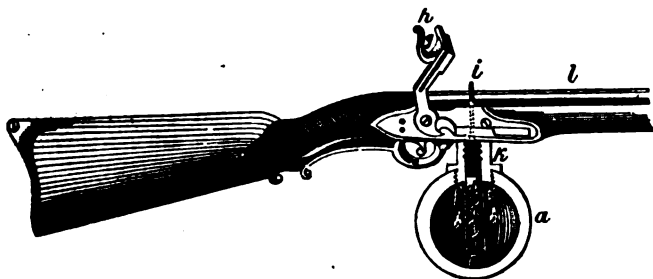
Фиг. 615.



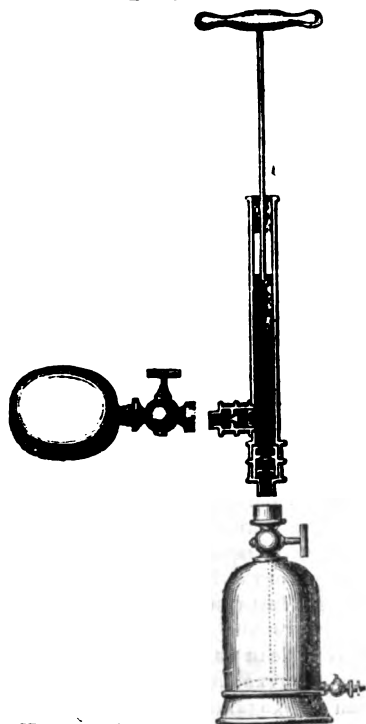
Клапанъ этотъ открывается въ томъ случаѣ, когда желаютъ выстрѣлить изъ ружья. Воздухъ сжимается въ камерѣ отъ 8 до 10 атмосферъ посредствомъ сгущающаго насоса. Послѣ того привинчиваютъ къ камерѣ дуло, дающее направленіе полету пули; когда, при помощи особеннаго шпинька, открываютъ клапанъ запирающій камеру, то заключающійся въ ней воздухъ сообщаетъ быстрый ударъ пулѣ. Самый шпинекъ приводится въ движеніе посредствомъ замка, устраиваемаго на подобіе обыкновенныхъ ружейныхъ замковъ. Устройство ихъ легко объяснить себѣ изъ фигуръ 614-й и 615-й. Къ клапану приделана пружина, которая по удаленіи шпинька приводитъ тотчасъ клапанъ въ первоначальное положеніе, т. е. заставляетъ его снова закрывать камеру. Какъ камера при каждомъ выстрѣлѣ остается открытою только на весьма незначительное время, то заключающійся въ ней воздухъ не успѣваетъ выходить весь за разъ; чрезъ что однимъ и тѣмъ же зарядомъ можно сдѣлать нѣсколько выстрѣловъ. Понятно впрочемъ, что сила, съ которою выбрасывается пуля, должна становиться слабѣе послѣ каждого выстрѣла.

Воздушнымъ ружьямъ даютъ также устройство, представленное на фиг. 616-й.

Фиг. 616.



Фиг. 617.



Часть I.

Заряженіе этихъ ружей состоитъ въ сгущеніи воздуха въ шарѣ *a*, который привинчивается у *k* къ стволу ружья *l*, дающему направленіе полету пули. Спущенный курокъ *k* ударяетъ на стержень *i* поршня *d*, запирающаго сгущенный

въ шарѣ воздухъ, посредствомъ нажимающей пружины *c*. По открытіи поршнемъ отверстія *a*, выходитъ изъ послѣдняго быстро часть сгущеннаго воздуха и составляетъ пулѣ полеть, одинаковый съ полетомъ пули, пущенной силою воспламененнаго порохового заряда.

Сгущающій насосъ употребляется также для насыщенія воды различными газами. Въ такомъ случаѣ употребляютъ насосъ, представленный на фиг. 617-й. Онъ состоитъ изъ плотнаго мѣднаго сосуда, имѣющаго на фигурѣ видъ колокола. Къ этому сосуду привинчивается цилиндръ, который на фигурѣ представленъ отдѣльно надъ колоколомъ. Цилиндръ этотъ снабженъ поршнемъ и двумя клапанами, устройство которыхъ объяснено нами выше.

Внутри сосуда проходитъ открытая съ обоихъ концовъ трубка, нижняя часть которой проходитъ до самаго дна сосуда. Трубка эта представлена на фиг. точками.

По наполненіи сосуда водою до нѣвѣстной высоты, открываютъ край въ верхней части сосуда и начинаютъ дѣйствовать поршнемъ въ цилиндрѣ, или въ томъ случаѣ, когда желаютъ вогнать въ сосудъ сгущенный воздухъ. —

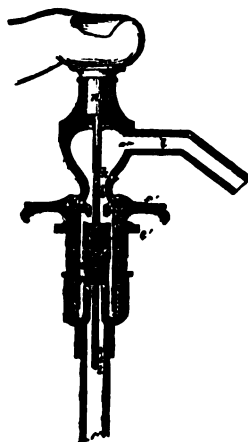
Если же хотѣть наполнить сосудъ газомъ, то сообщаютъ боковое отверстіе цилиндра посредствомъ трубки съ тѣмъ резервуаромъ, въ которомъ находится газъ. На фигурѣ 617-й представлень съ боку цилиндра особый сосудъ съ крапомъ: если газъ заключается въ этомъ сосудѣ, то привинчиваютъ шейку сосуда къ боковому отверстію цилиндра. Вгоняемый въ нижній сосудъ воздухъ или газъ проходитъ чрезъ трубку, означенную точками и собирается надъ поверхностію воды, производа на нее извѣстное давленіе. Послѣ того закрываютъ сосудъ поворотомъ верхняго крана, отвинчиваютъ цилиндръ и приставляютъ къ верхнему отверстію трубки, проведенной на фигурѣ точками, или изогнутую трубку, или кранъ, обыкновенно употребляемый для отона воды изъ сосудовъ. По открытіи крана, находящагося въ верхней части сосуда, вода, побуждаемая давленіемъ газа, выходитъ тотчасъ наружу.

На этихъ началахъ основано устройство приборовъ, посредствомъ которыхъ готовятъ зерцельскую и другія минеральныя воды. На фиг. 618-й представлень одинъ изъ такихъ приборовъ, устройство которыхъ, оставаясь неизмѣннымъ въ главныхъ основаніяхъ, весьма разнообразно относительно расположенія отдѣльных частей. Приборъ этотъ дѣлается изъ стекла или глины; онъ состоитъ собственно изъ двухъ частей: верхней и нижней, раздѣленныхъ между собою перегородкой *a*, въ которой продѣлано нѣсколько отверстій. Предварительно отвинчивается верхній кранъ и въ сосудъ наливается вода, такъ чтобы подъ горломъ его оставалось свободное пространство. Потомъ заворачиваютъ верхній и отвинчиваютъ нижній кранъ *b*, представленный отдѣльно на фиг. 620. Переворачиваютъ сосудъ и въ нижнюю часть его насыпаютъ

Фиг. 618.

Фиг. 619.

Фиг. 620.



чрезъ воронку истертый въ порошокъ тѣла, составъ которыхъ зависитъ отъ того газа, которымъ желаютъ насытить воду, послѣ того наливаетъ въ нижнюю часть сосуда около полустакана воды, быстро закрываютъ кранъ *b* и переворачиваютъ снова сосудъ. Образующійся газъ проникаетъ чрезъ отверстія перегородки *a* въ верхнюю часть сосуда и насыщаетъ тамъ воду. По насыщеніи воды отдѣлившимся газомъ, осталая часть послѣдняго собирается у самаго горла сосуда непосредственно подъ крапомъ. Какъ пространство, занимаемое имъ, весьма незначительно сравнительно съ количествомъ его, то очевидно, что вслѣдствіе того увеличивается его упругость. Внутреннее устройство верхняго крана представлено на фиг. 619-й. Внутри этого крана находится поршень *m*, который, при помощи непосредственно подъ нимъ лежащей пружины *c*, постоянно закрываетъ верхнее отверстіе. Если надавить на этотъ поршень пальцемъ, то отверстіе открывается тотчасъ. Противу поршня, въ среднемъ отверстіи крана, вѣдывается стеклянная трубка *t*, доходящая почти до перепо-

родки *a* (фиг. 618). Газъ, находящійся непосредственно подъ краномъ, производитъ постоянное давленіе на поверхность воды и если открыть отверстіе, приходящееся противу трубки *t*, то вслѣдствіе упругости, приобретенной газомъ отъ сгущенія, онъ получаетъ возможность преодолѣть давленіе атмосферы, дѣйствующее на воду чрезъ отверстіе крана, и потому заставляетъ воду подниматься по трубкѣ *t* и выливаться наружу изъ сосуда.

Перейдемъ теперь къ различнымъ измѣненіямъ, основаннымъ на упругости и на давленіи воздуха.

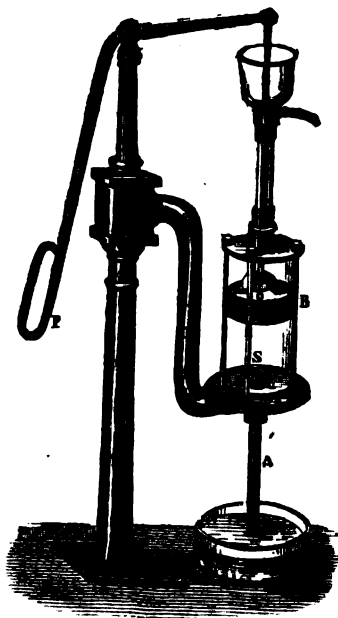
§ 181 На разширеніи воздуха и на образованіи безвоздушнаго пространства основаны нѣкоторые явленія; какъ наприм. *дыханіе*, *всасываніе*, и многіе весьма важные приборы: наприм. *всасывающій насосъ*, и др.

1) Когда мы ушिरѣемъ, при помощи особенныхъ мускуловъ, пространство, занимаемое грудною полостью, то находящійся въ ней воздухъ разрѣживается, и вслѣдствіе того атмосферный воздухъ входитъ въ грудь, производя *дыханіе*. Если же, напротивъ того, отъ сжатія грудной полости, находящійся въ ней воздухъ сдвливается, то онъ выходитъ прочь, производя *выдыханіе*.

Когда мы погрузимъ въ воду одинъ конецъ стеклянной трубки или соломенки и, съ помощію всасыванія съ другаго конца, разрѣдимъ въ ней воздухъ, то отъ давленія воздуха снаружи вода въ трубкѣ поднимется. Подобное жъ явленіе представляетъ и куреніе табаку.

2) Тотъ же самый процессъ всасыванія можно производить, вмѣсто рта, особеннымъ приборомъ, который называется *помпою* или *насосомъ*.

Фиг. 621.



Мы объяснимъ сперва устройство всасывающаго насоса на модели, представленной на фиг. 621. Насосъ этотъ состоитъ изъ трехъ главныхъ частей: 1) изъ цилиндра *B*, въ нижней части котораго находится клапанъ *S*, открывающійся снизу вверхъ; 2) изъ всасывающей трубки *A*, погружающей въ тотъ резервуаръ, изъ котораго желаютъ поднять воду; 3) изъ клапана, двигающагося въ цилиндрѣ вверхъ и книзу посредствомъ стержня и рукоятки *P*; поршень этотъ снабженъ отверстіемъ, которое закрывается клапаномъ *O*, открывающимся снизу вверхъ.

Если поднимать поршень отъ основанія цилиндра вверхъ, то незначительное количество воздуха, заключающееся подъ поршнемъ, будетъ распространяться въ пустотѣ, образуемой отъ поднятія

поршня; понятно, что при этомъ движеніи поршня клапанъ *O*, на который дѣйствуетъ сверху давленіе атмосферы, будетъ закрытъ. Что же происходитъ во всасывающей трубкѣ *r*? Какъ заключающійся въ ней воздухъ имѣетъ большую плотность противу разрѣженного воздуха, находящагося надъ клапаномъ *S*, то очевидно, что послѣдній будетъ открытъ упругостію воздуха трубки *A*. По открытіи клапана воздухъ этотъ устремится въ часть цилиндра между дномъ его и основаніемъ поднимающагося поршня. Поэтому во всасывающей трубкѣ происходитъ разрѣженіе воздуха, а слѣдовательно и уменьшеніе его упругости. Это разрѣженіе даетъ возможность давленію наружнаго воздуха, дѣйствующаго непосредственно на поверхность воды, приобретать перевѣсъ надъ упругостію воздуха въ трубкѣ *A*. Вслѣдствіе того наружный воздухъ вгоняетъ воду въ эту трубку и вода поднимается въ ней до тѣхъ поръ, пока давленіе поднятаго столба жидкости вмѣстѣ съ упругостію находящагося надъ нимъ разрѣженного воздуха въ трубкѣ *A* не придетъ въ равновѣсіе съ давленіемъ атмосферы, дѣйствующимъ непосредственно на поверхность воды въ резервуарѣ.

При опусканіи поршня воздухъ, перешедшій изъ всасывающей трубки въ цилиндръ, начинаетъ тотчасъ сгущаться и запираетъ клапанъ *S*; вслѣдствіе постоянно увеличивающейся упругости сжимаемаго воздуха отворяется клапанъ *o* и находившійся подъ поршнемъ воздухъ переходитъ въ верхнюю часть цилиндра, откуда посредствомъ особенной трубки выходитъ наружу. При второмъ поднятіи поршня повторяются тѣ же самыя явленія: вода поднимается выше во всасывающей трубкѣ и наконецъ послѣ нѣсколькихъ движеній поршня переходитъ въ цилиндръ. Начиная съ этого момента измѣняется дѣйствіе, производимое движеніями поршня. Давленіе, производимое на воду опускающимся поршнемъ, заставляетъ ее запираетъ клапанъ *S* и отворять клапанъ *O*, чрезъ который она устремляется въ верхнюю часть цилиндра надъ поршнемъ при дальнѣйшемъ движеніи послѣдняго книзу. При этомъ поднятіи воды кверху подъ поршнемъ не заключается уже воздуху и потому атмосферный воздухъ, дѣйствующій непосредственно на поверхность воды, заставляетъ ее постоянно подниматься кверху и собираться надъ поршнемъ въ верхней части цилиндра. При поднятіи поршня кверху, вода, собранная въ верхней части цилиндра, вгоняется имъ въ верхній резервуаръ. Резервуаръ этотъ пополняется постоянно водою при движеніяхъ поршня, вслѣдствіе давленія атмосфернаго воздуха на поверхность воды, находящейся въ резервуарѣ. Что же касается до высоты, на которую можетъ быть поднята вода посредствомъ всасывающаго насоса, то она не можетъ быть совершенно произвольна, отчасти уже и потому, что давленіе воздуха не позволяетъ поднимать воду выше 32 фута. Мы уже знаемъ, что давленіе это удерживаетъ въ равновѣсіи ртутный столбъ высотой въ 30 дюймовъ. Такъ какъ плотность воды почти въ 13 разъ менѣе плотности ртути, то очевидно, что водяной столбъ долженъ имѣть высоту 13×30 дюймовъ, для того чтобы

удерживать въ равновѣсіи давленіе 30 дюймового ртутнаго столба, соотвѣтствующаго давленію атмосферы въ 13×30 или 390 дюйм., что составляетъ 32 фута. Вотъ почему первый клапанъ не можетъ лежать выше 32 фут. надъ поверхностію воды въ нижнемъ резервуарѣ.

Кромѣ того должно замѣтить, что въ практикѣ поршень никогда не прикасается въ точности къ основанію цилиндра, такъ что при самомъ низкомъ положеніи поршня всегда находится подъ нимъ такъ называемое вредное пространство, наполненное воздухомъ, котораго упругость равна упругости атмосферы. Положимъ, что это вредное пространство равно $\frac{1}{10}$ объема цилиндра. Воздухъ, заключающійся во вредномъ пространствѣ, расширяется по мѣрѣ поднятія поршня и, если послѣдній достигнетъ высшей точки своего поднятія, упругость воздуха остающагося въ цилиндрѣ, вслѣдствіе маріотова закона, должна быть равна $\frac{1}{10}$ части давленія атмосферы. Поэтому воздухъ во всасывающей трубкѣ не можетъ быть разрѣженъ болѣе за этимъ предѣломъ и поэтому вода, въ разсматриваемомъ нами случаѣ, не можетъ быть поднята болѣе высоты равной $\frac{29}{10}$ частямъ 30 фут. т. е. 29 ф. Но и эта высота еще слишкомъ велика, потому что вода должна подняться немного выше клапана S. Слѣдовательно всасывающая трубка не должна быть собственно выше 28 фут.

На основаніи изложеннаго нами вода поднимается во всасывающую трубку дѣйствіемъ атмосфернаго давленія и полученная чрезъ то высота воды не можетъ, какъ мы видѣли, превосходить 28 или 29 фут. Но если вода поднялась надъ поршнемъ, то дальнѣйшее поднятіе ея, равно какъ и высота, на которую она можетъ быть поднята, зависятъ отъ силы поднимающей поршень.

Для опредѣленія того усилія, съ которымъ долженъ быть поднимается поршень, необходимо обратить вниманіе на давленіе, претерпѣваемое каждою единицею поверхности верхней и нижней частей поршня. Означивъ чрезъ B давленіе воздуха, чрезъ h — высоту водянаго столба отъ уровня воды въ резервуарѣ до поршня и чрезъ s — удѣльный вѣсъ воды, получимъ, что давленіе, поднимающее каждую единицу поверхности нижней части поршня, равно $B - h s$. На верхнюю часть поршня дѣйствуетъ книзу давленіе всего лежащаго надъ нимъ водянаго столба, котораго высота, положимъ, равна h' ; къ послѣднему давленію должно еще присовокупить давленіе вѣшней атмосферы, дѣйствующей на верхнюю часть водянаго столба, такъ что на каждую единицу поверхности верхней части поршня давить $B + h' s$. Если изъ этого давленія вычесть прежнее, т. е. давленіе, которое поднимаетъ поршень вверхъ, то остальное давленіе, дѣйствующее на каждую единицу поверхности верхней части поршня, будетъ $h s + h' s = (h + h') s$. Полученный результатъ, по умноженіи на величину поверхности поршня, дастъ намъ то давленіе, которое должно преодолѣвать при поднятіи поршня, независимо отъ тренія, обнаруживаемаго имъ объ стѣнкахъ цилиндра. *Давленіе это, какъ показываетъ полученный выводъ, равно вѣсу водянаго столба, имѣющаго основаніемъ поверхность поршня и высотой — отъясное разстояніе вершины поднятаго столба отъ уровня воды въ нижнемъ резервуарѣ.* При движеніи поршня книзу, должно только преодолѣвать сопротивленіе, представляемое треніемъ, потому что поршень погруженъ тогда въ воду, которая проходитъ безпрепятственно чрезъ открытый клапанъ его.

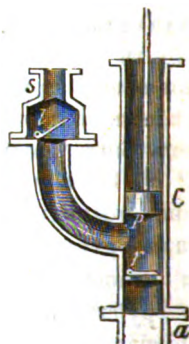
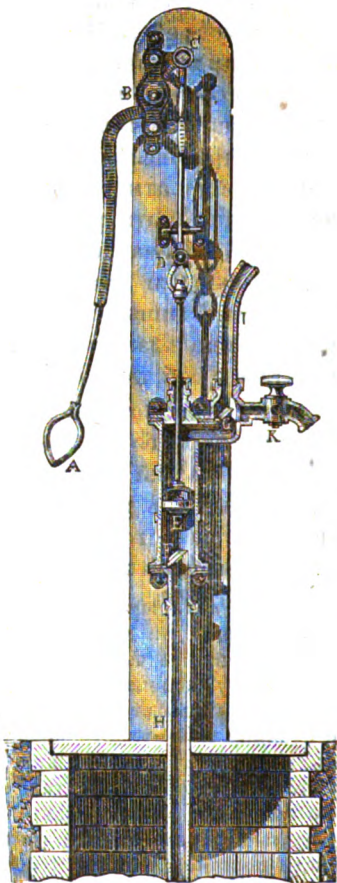
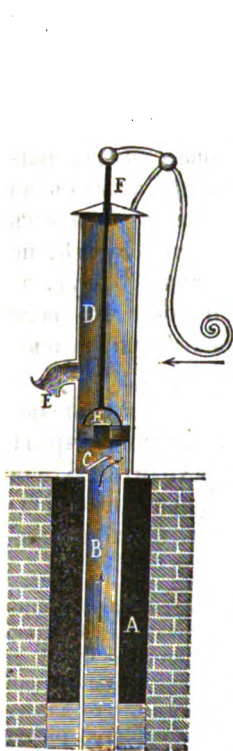
Мы разсмотрѣли основанія всасывающаго насоса на модели, которая въ сущности заключаетъ тѣ же части, какъ и насосы, устраниваемые на самомъ дѣлѣ.

На фигурахъ 622-й и 623-й представлены два всасывающіе насоса. Водохранилище *A* (фиг. 622), обыкновенно располагается въ землѣ въ видѣ системы, въ которой устраивается всасывающая труба *B*, запирающаяся сверху клапаномъ *c*. Надъ трубою находится цилиндръ *D*, вмѣстѣ съ боковою трубою *E* для стока воды поднятой надъ поршнемъ. Въ цилиндрѣ, посредствомъ стержня *F*, движется просверленный по срединѣ поршень съ клапаномъ *H*. Значеніе частей фигуры 623-й, можетъ быть легко объяснено изъ сравненія съ предшествовавшею фигурою.

Фиг. 622.

Фиг. 623.

Фиг. 624.



При разсмотрѣніи основаній всасывающаго насоса мы видѣли, что нижній клапанъ не можетъ лежать выше 28 или 29 фут. надъ поверхностію воды въ резервуарѣ.

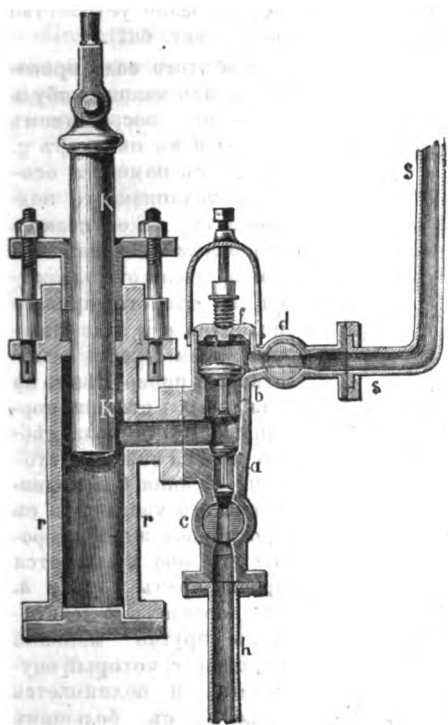
Поэтому, если требуется выкачивать воду изъ значительной глубины или поднимать ее на значительную высоту, то прибѣгаютъ къ помощи *нагнетательнаго насоса* (фиг. 624). Послѣдній отличается отъ обыкновенной помпы тѣмъ, что у самаго основанія своего онъ соединяется съ *восходящею трубою S*, идущею кверху и снабженною клапаномъ *l*, замѣняющимъ въ этомъ случаѣ клапанъ поршня *p*. При поднятіи поршня *p* вода входитъ чрезъ клапанъ *t* въ поршневою трубу *S*. Если послѣ того опустить поршень *p* книзу, то кла-

панъ r заперется, и находящаяся надъ нимъ вода, при дальнѣйшемъ опусканіи поршня, поднимется по восходящей трубѣ S и отворитъ клапанъ l , для восхожденія своего кверху.

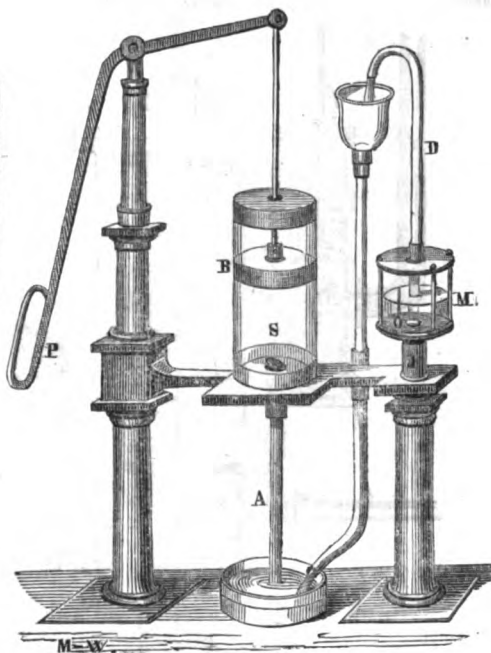
Значеніе частей фиг. 625-й, представляющей также нагнетательный насосъ, легко можетъ быть объяснено изъ сравненія соответственныхъ частей фиг. 624-й.

Разсмотримъ теперь, какую силу должно прилагать къ поршню для поднятія воды. Какъ надъ поршнемъ не находится воды, то при поднятіи его должно преодолѣть только давленіе воздуха B ; для предположенія послѣдняго силъ, дѣйствующей на поршень, помогаетъ сила $B-l_2$, точно также какъ и во всасывающемъ насосѣ. Поэтому должно только поднимать вѣсъ водяного столба, имѣющаго основаніемъ поверхность поршня, а высоту отвѣсное разстояніе вершины этого столба отъ уровня воды въ резервуарѣ. При опусканіи поршня потребна сила, необходимая для поднятія водяного столба по восходящей трубѣ.

Фиг. 625.



Фиг. 626.



Фиг. 626-я представляетъ намъ модель, въ которой соединены какъ всасывающій, такъ и нагнетательный насосы. Въ основаніи цилиндра, надъ вершиною всасывающей трубки, находится клапанъ s , отпирающійся снизу вверхъ. Другой клапанъ o , отпирающійся въ ту же сторону, закрываетъ отверстіе изогнутой трубки, которая идетъ отъ клапана s , подъ чугунной доскою a , и оканчивается въ сосудѣ M , называемомъ *резервуаромъ воздуха*.

Изъ этого резервуара выходитъ трубка D , назначаемая для поднятія воды на высоту болѣе или менѣе значительную.

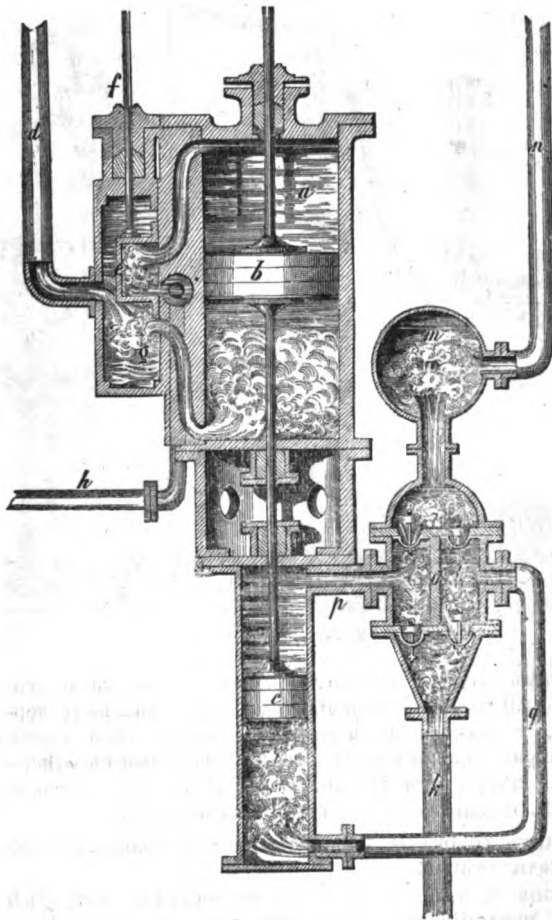
При каждомъ поднятіи поршня B , вода поднимается по восходящей трубкѣ A и проникаетъ наконецъ въ лежащій надъ нею цилиндръ. Съ опусканіемъ поршня притворяется клапанъ s и сдавливаемая вода проходитъ по изогнутой трубкѣ, лежащей подъ доскою a , до клапана o , отворяетъ послѣдній, на-

подняеть резервуаръ *M* и поднимается по трубкѣ *D*. Высота, до которой она можетъ достигнуть въ этой трубкѣ, зависитъ отъ силы, дѣйствующей на поршень.

Если бы трубка *D* составляла непосредственное продолженіе трубки *S*, то истеченіе воды изъ *D* не было бы постоянно; оно происходило бы только во время опусканія поршня и прерывалось бы при поднятіи послѣдняго. Непрерывность истеченія достигается при помощи воздуха, заключеннаго въ резервуаръ *M*. И въ самомъ дѣлѣ, вода, достигшая до резервуара *M*, раздѣляется здѣсь на двѣ части, изъ которыхъ одна, поднимающаяся по трубкѣ *D*, сдавливаетъ воду; остающуюся въ резервуарѣ. Послѣдняя, вслѣдствіе этого давления, поднимается въ резервуарѣ надъ нижнимъ отверстіемъ трубки *D*; понятно, что при этомъ поднятіи долженъ сжиматься воздухъ, находящійся надъ водою. Слѣдовательно при восхожденіи поршня, когда онъ не участвуетъ въ поднятіи воды, находящійся въ резервуарѣ сжатый воздухъ давитъ на воду и вгоняетъ ее въ трубку *D* до тѣхъ поръ, пока поршень не начнетъ опускаться книзу. Такимъ образомъ поддерживается постоянное истеченіе изъ трубки *D*.

На однихъ началахъ съ описанными нами приборами, основано устройство водостолбной машины, служащей также для поднятія воды (Фиг. 627).

Фиг. 627.



Для этого воду проводятъ изъ какого нибудь бассейна посредствомъ трубы *d* въ цилиндръ *g*. Здѣсь съ помощью особаго механизма то поднимаютъ, то опускаютъ золотникъ *e*, чрезъ что попеременно открываются оба отверстія праваго цилиндра *g* и вода имѣетъ возможность дѣйствовать попеременно на каждую изъ сторонъ поршня *b*. Когда вода дѣйствуетъ на нижнюю сторону поршня *b* и поднимаетъ его вверхъ, то съ противоположной стороны его она выливается прочь чрезъ трубку *h*. Съ поршнемъ *b* соединенъ другой меньшій поршень *c*, который опускается и поднимается вмѣстѣ съ большимъ поршнемъ *b*. Когда *c* поднимается, то въ *i* образуется безвоздушное пространство, вслѣдствіе чего открывается нижній клапанъ и вода поднимается въ *l* изъ помпы *k*. При дальнѣйшемъ поднятіи вода проходитъ въ лѣвый резервуаръ, отдѣленный отъ *l* сплошною

перегородкой *o*, запираетъ тамъ нижній клапанъ и открываетъ верхній, поднятіе котораго позволяетъ ей входить въ общій резервуаръ *m*. При опусканіи

Водо-
столб-
ная
машина.

поршня с закрываются клапаны, бывшіе открытыми, и на оборотъ, чрезъ что вода проходить въ *т* уже изъ резервуара *l*. Такимъ образомъ вода, собранная въ *т*, можетъ быть поднята по трубкѣ *n* на значительную высоту.

Въ Германіи пользуется большою извѣстностію водостолбная машина, устроенная въ Бергтестгаденѣ знаменитымъ механикомъ Рейхенбахомъ по слѣдующему поводу. Баварское правительство встрѣтило необходимость провести соляной разсолъ изъ Бергтестгадена на соловарни Рейхенгаля, въ окрестностяхъ котораго находится много гѣсу, необходимаго для выварки соли. Такъ какъ ближайшій путь изъ Бергтестгадена въ Рейхенгаль пролегаетъ чрезъ Саксонію, которая не позволяла безъ пошлины проводить по своимъ владѣніямъ разсолонепроводныя трубы, то баварское правительство, находя пошлины слишкомъ великими, рѣшилось провести разсолъ дальнѣйшимъ путемъ по своимъ владѣніямъ. Вслѣдствіе того было сдѣлано предложеніе Рейхенбаху построить водостолбную машину въ Бергтестгаденѣ, могущую поднимать соляной разсолъ на высоту 160 сажень, съ которой онъ проходилъ бы къ соловарнямъ по трубамъ въ нѣсколько десятковъ верстъ.

Посредствомъ сильнаго сжатія воздуха можно заставить воду устремляться кверху изъ сосуда въ видѣ фонтана; чтобы удостовѣриться въ этомъ явленіи наполняютъ (фиг. 628) водою до половины бутылку

Геро-
новъ
фон-
танъ.

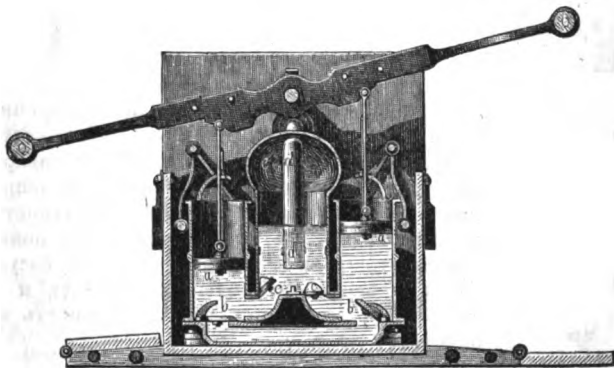
Фиг. 628. и закрываютъ ее пробкою, въ которую плотно вдѣлана стеклянная трубка, доходящая до самаго дна бутылки. Если дуть ртомъ въ трубку, то воздухъ до того сгущается въ бутылкѣ, что выгоняетъ изъ нея водяной лучъ тотчасъ по прекращеніи надуванія.



Подобный приборъ, называемый *героновымъ фонтаномъ*, былъ устроенъ впервые около 120 лѣтъ до Р. Хр. Герономъ въ египетскомъ городѣ Александріи.

На 629-й фигурѣ представлена *пожарная труба*, которая состав-
ляетъ соединеніе нагнетательнаго насоса съ героновымъ фонтаномъ. Пожар-
ная
труба.

Фиг. 629.



По срединѣ прибора находится сосудъ въ родѣ ванны; въ этомъ сосудѣ находятся два цилиндра съ поршнями *a* и *a* и обращенный дномъ кверху котелъ *e*; сосудъ наполненъ водою. Въмѣстѣ съ поднятіемъ поршней *a* и *a* открываются соотвѣтственные имъ клапаны *b* и *b* и вода проникаетъ въ цилиндры. При опусканіяхъ тѣхъ же самыхъ поршней запираются клапаны *b* и *b*, а открываются клапаны

Часть I.

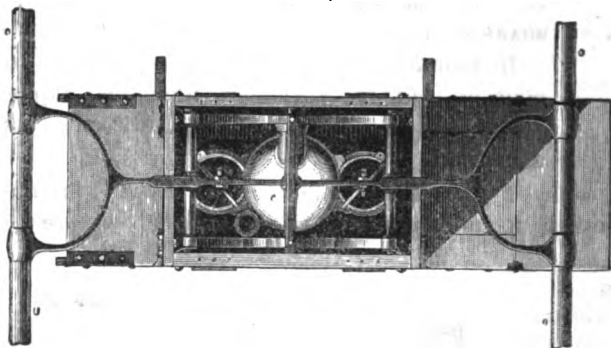
57

с и с, и вода вгоняется такимъ образомъ въ котелъ е. Котелъ этотъ есть ничто иное какъ большой героновъ шаръ; чѣмъ большее количество воды накачивается въ котелъ, тѣмъ сильнѣе сгущается воздухъ въ верхней части его. Труба d достигаетъ почти до самаго дна котла; къ этой трубкѣ привинчивается другая труба съ остро-конечнымъ отверстіемъ. Отъ постоянного давленія, производимаго сжатымъ воздухомъ на воду, заключающуюся въ котлѣ, выбрасывается изъ остроконечнаго отверстія сильный лучъ воды. Къ отверстию котла, которое сдѣлано въ боковой части его близъ дна, можетъ быть привинчена кожаная труба съ металлическимъ остроконечнымъ отверстіемъ въ наружной части; труба эта даетъ также лучъ воды, которымъ весьма легко управлять при подвижности трубы.

Поднятіе и опусканіе поршней производится посредствомъ двухъ плечаго рычага. Къ этому рычагу прикрѣплены стержни поршней такимъ образомъ, что во время опусканія одного поршня поднимается другой, такъ чтобы котелъ непрерывно пополнялся новымъ количествомъ воды.

Фиг. 630-я представляетъ пожарную трубу сверху.

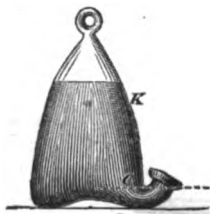
Фиг. 630.



Сосудъ
для
попленія
вѣщацъ.

На давленіи воздуха основано устройство сосуда, представленнаго на Фиг. 631-й. Воду, находящуюся въ этомъ сосудѣ, берутъ

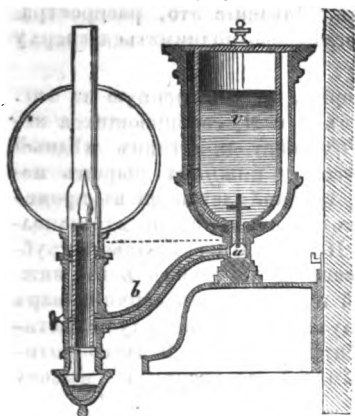
Фиг. 631.



не иначе, какъ каплю по каплѣ. Если поверхность воды опустится нѣсколько ниже сгиба с, то шарикъ воздуха проникаетъ въ сосудъ и оттого поверхность опять поднимается; потомъ, когда она опять понижается, то новый пузырекъ воздуха входитъ въ сосудъ и заставляетъ поверхность воды повышаться и это продолжается до тѣхъ поръ, пока поверхность жидкости ея опустится до с.

Ламп. На этомъ же началѣ основывается и устройство *кенкетомъ* (Фиг. 632) и болѣе части висячихъ лампъ. Масло находится въ резервуарѣ v, оканчивающемся внизу трубкою, снабженною выемкою a. Проводникъ b соединяетъ резервуаръ съ переднею частью лампы, верхній конецъ которой нѣсколько выше выемки резервуара. Дѣйствіемъ волости масло поднимается по свѣтильнѣ, по мѣрѣ старанія масла поверхность его опускается въ передней части лампы, а слѣдовательно и кругомъ выемки; тогда воздухъ можетъ проникнуть

Фиг. 632.



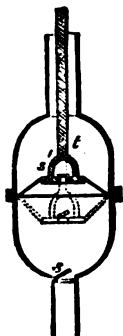
въ резервуаръ и произвести давленіе на масло, которое, выходя изъ резервуара, вновь поднимаетъ поверхность въ свѣтильнѣ и около трубки; когда сгоритъ это новое количество подобно предыдущему, то повторяется тоже явленіе. Трубка вновь освобождается отъ масла; новый пузырьекъ воздуха проходитъ въ резервуаръ и вытѣсняется оттуда равный объемъ масла. Такимъ образомъ все количество масла переходитъ по каплямъ къ свѣтильнѣ и какъ онѣ слѣдуютъ почти непрерывно другъ за другомъ, то послѣдовательно прибытіе ихъ не обнаруживается пламенемъ.

Это поднятіе пузырьковъ бываетъ видно въ лампахъ, имѣющихъ стеклянный резервуаръ.

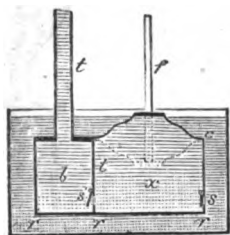
Для наполненія резервуара масломъ, вынимаютъ его и опрокидываютъ; но какъ трубка должна быть достаточно широка для пропуска воздуха, то къ ней придѣлываютъ клапанъ, снабженный стволомъ; этотъ клапанъ и закрываютъ, когда хотятъ перевернуть и поставить на мѣсто резервуаръ; но тогда онъ открывается отъ излишней длины ствола и остается постоянно открытымъ до тѣхъ поръ, пока резервуаръ не будетъ вынутъ снова наружу.

Такъ называемый насосъ священниковъ (фиг. 633) отличается отъ другихъ насосовъ тѣмъ, что въ немъ поршень замѣненъ гибкою тканью. Ткань эта, заключающая металлическій клапанъ z' , поднимается и опускается посредствомъ ствола t , похожаго на стволъ обыкновенныхъ поршней. Если съ помощію послѣдняго поднять ткань, то жидкость открываетъ клапанъ z и поднимается вверхъ. При опусканіи ствола t запирается клапанъ z , а открывается клапанъ z' , чрезъ что жидкость можетъ свободно проходить наружу.

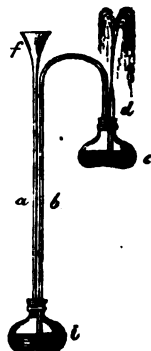
Фиг. 633.



Фиг. 634.



Фиг. 635.



Фигура 634-я представляетъ расположеніе, приданное этому насосу Готте-номъ, въ его механическихъ лампахъ. Ящикъ этихъ насосовъ погружается въ резервуаръ съ масломъ; когда дѣйствіемъ часоваго механизма ткань x поднимается при посредствѣ стержня f , то масло втягивается чрезъ отверстіе клапана z ; когда ткань опускается, то послѣдній клапанъ запирается и масло чрезъ отверстіе клапана z' входитъ въ сосудъ b и оттуда поднимается по восходящей трубкѣ t къ свѣтильнѣ. Три насоса такого устройства съ крестовиднымъ движеніемъ даютъ довольно правильное восхожденіе.

На героновомъ фонтанѣ основано устройство *героновыхъ колодцевъ* (фиг. 635), въ которыхъ давленіе сжатого воздуха заставляетъ воду подниматься вверхъ лучемъ. Для этого наполняютъ водою болѣе половины сосуда i и за-пираютъ горло его пробкою, сквозь которую пропускаютъ двѣ трубки b и a .

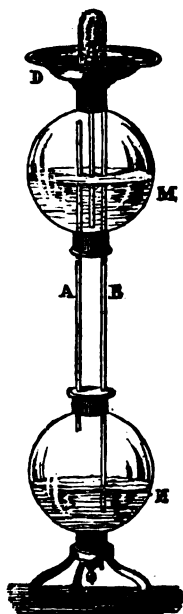
Послѣ того наливаютъ черезъ воронку *f* воду, которая производитъ давленіе на воздухъ, заключающійся въ нижнемъ сосудѣ. Давленіе это, распространяясь на поверхность воды въ *c*, заставляетъ послѣднюю подниматься кверху изъ трубки *d*.

Весьма часто героновыи колодцамъ даютъ форму, представленную на фиг. 636-й. Приборъ этотъ состоитъ изъ двухъ шаровъ *N* и *M*, сообщающихся между собою посредствомъ трубки *A*. Къ верхнему шару приделанъ мѣдный сосудъ въ видѣ чашки; сосудъ этотъ соединяется съ нижнимъ шаромъ посредствомъ трубки *B*, а съ верхнимъ короткой трубкой лежащей въ промежуткѣ между *A* и *B*. Короткую трубку вынимаютъ сперва прочь для наполненія водою сосуда *M* до половины его объема. Послѣ того вставляютъ трубку и наливаютъ воду съ чашку; жидкость опускается по трубкѣ *B* въ нижній шаръ и вытѣсняетъ оттуда воздухъ, который проходитъ въ верхній шаръ чрезъ трубку *A*. Сжимаясь въ этомъ шарѣ воздухъ давитъ на воду и заставляетъ ее выходить чрезъ среднюю трубку и бить ключемъ. Безъ сопротивленія воздуха и безъ тренія лучъ воды поднимался бы кверху на высоту равную уровню воды въ обоихъ шарахъ.

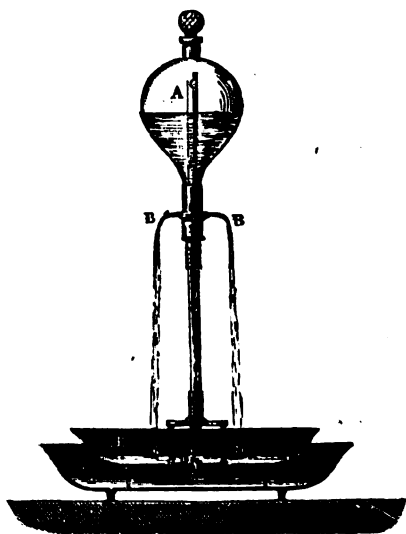
Подобное явленіе встрѣчаемъ мы весьма часто въ природѣ при образованіи естественныхъ фонтановъ, происходящихъ отъ сильнаго давленія воздуха, какъ напр. исландскіе фонтаны, пазываемые въ Исландіи *гейзерами*, изъ которыхъ вода поднимается столбомъ, выходящимъ иногда отъ 100 до 200 футовъ въ высоту и отъ 30 до 50 фут. въ діаметрѣ.

На однихъ началахъ съ героновыми колодцами основано устройство гидростатическихъ лампъ Жирара.

Фиг. 636.



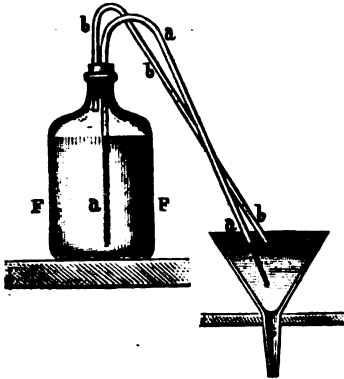
Фиг. 637.



Такъ называемый *перемежающійся колодецъ* образуется отъ перемежнаго сгущенія и разрѣженія воздуха. Колодецъ этотъ представленъ на фиг. 637-й. *A* есть сосудъ, заключающій воду, *BB* трубки для стока воды, а *C* трубка поднимающаяся надъ уровнемъ воды въ *A*. Нижний конецъ трубки находится въ сосудѣ *E* и снабженъ вырѣзомъ у точки *D*. Когда отверстіе этого вырѣза открыто, то воздухъ проникаетъ черезъ него въ сосудъ *A* и начинаетъ давить на воду, которая вслѣдствіе того выходитъ изъ боковыхъ трубокъ *BB*.

Вытекающая вода собирается въ чашкѣ *E*; небольшое отверстіе *O*, находящееся на днѣ этой чашки, не выпускаетъ *одну* всего количества воды, прибывшаго въ чашку *E*. Уровень воды мало по малу поднимается и запираетъ наконецъ отверстіе вырѣза у *D*. Воздухъ не имѣетъ тогда возможности проникать въ сосудъ *A*, вслѣдствіе чего вода перестаетъ течь изъ отверстій *BB*. А какъ въ это время въ сосудѣ *E* не прибываетъ болѣе воды, а изъ отверстія *o* происходитъ постоянное истеченіе, то наконецъ открывается отверстіе вырѣза у точки *D* и вода начнетъ снова течь изъ трубокъ *BB*.

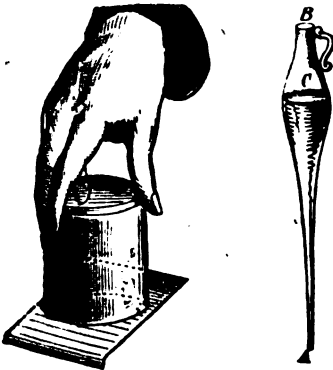
На устройствѣ перемежающихся колодцевъ основаны многія практическія примѣненія. Такъ напр. фиг. 638-я представляетъ способъ доставленія постоянного уровня водѣ, находящейся въ цѣдилкѣ.



Вода течетъ по сифону *a* изъ бутылки *F* въ цѣдилку (воронку). Сифонъ этотъ проходитъ черезъ пробку, затыкающую плотно горло бутылки. Черезъ пробку проходитъ также другая трубка *b*, оканчивающаяся съ одной стороны тотчасъ по выходѣ изъ трубки, а съ другой въ томъ мѣстѣ, въ которомъ хотятъ имѣть постоянный уровень. Если отверстіе трубки *b* подлѣ водою, то въ верхнюю часть *F* не можетъ проникать воздуха и вода перестаетъ течь изъ сифона *a*. По выходѣ воды изъ цѣдилки открывается отверстіе *b* и вода выходитъ снова изъ *a* до тѣхъ поръ, пока оконечность трубки *b* не погрузится опять въ воду.

Давленіемъ воздуха объясняются многія явленія, изъ которыхъ мы рассмотримъ только главнѣйшія.

- 1) Если наполненный водою стаканъ покрыть сверху кускомъ бумаги и опрокинуть его дномъ вверхъ (фиг. 639), то вода не вытечетъ изъ него, потому что этому будетъ препятствовать давленіе воздуха на нижнюю поверхность бумаги. — Бумага здѣсь препятствуетъ пробираться между стѣнками стакана воздуху, который, въ противномъ случаѣ, по легкости своей, поднялся бы вверхъ и вытѣснилъ оттуда количество воды, соотвѣтственное занятому имъ объему. Когда же нижнее отверстіе сосуда бываетъ незначительной величины, то жидкость не выльется изъ него при опрокинутіи даже и безъ бумаги, потому что тутъ волосность препятствуетъ воздуху проходить между стѣнками и жидкостью.



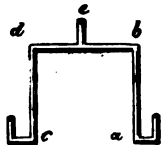
2) Если закрыть верхнее отверстіе бочки, наполненной водою, послѣдняя не польется изъ отверстія даже и тогда, когда мы отворимъ кранъ, потому что въ этомъ случаѣ воздухъ не дѣйствуетъ на верхнюю поверхность воды, между тѣмъ какъ снизу онъ препятствуетъ ей выливаться. Въ крышкахъ чайниковъ и кофейниковъ дѣлаютъ всегда небольшое отверстіе для того, чтобы доставить возможность воздуху дѣйствовать на жидкость сверху и тѣмъ способствовать выливанію ея.

3) На давленіи воздуха основано устройство *лиметра*. Послѣдній (фиг. 640), *лиметръ*, состоитъ изъ трубки, имѣющей на обоихъ своихъ концахъ суживающіеся

отверстія. Отъ погруженія его въ жидкость, онъ наполняется ею, чему помогаютъ всасываніемъ, и если только закрыть верхнее его отверстіе пальцемъ, то наполняющая его жидкость не выльется прочь даже и въ томъ случаѣ, когда мы поднимемъ лверъ на воздухъ, потому что палецъ не позволяетъ воздуху давить сверху.

Слѣств. Перейдемъ теперь къ устройству сифона.

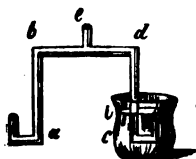
Чтобы объяснить себѣ устройство этого прибора, возьмемъ стеклянную трубку $abcd$, изогнутую въ направленіи показанномъ на 641-й фигурѣ. Въ верхней части ея вставляется трубочка e , чрезъ которую, по закрытіи пробками загнутыхъ оконечностей c и a , наливается вода.



По наполненіи изогнутой трубки водою, для избѣжанія давленія воздуха сверху, запирается e пробкою. Открывъ пробки у c и a , мы увидимъ, что вода не польется наружу изъ трубки, если высота отвѣсныхъ коленъ ея не будетъ болѣе

30 фут. Это потому, что давленіе атмосферы поддерживаетъ водной столбъ только этой высоты. Давленію воздуха на оба колѣна трубки dc и ba , очевидно противодѣйствуетъ гидростатическое давленіе воды, заключающейся въ этихъ колѣнахъ. Если оба послѣднія давленія равны, то очевидно, что они должны оказывать одинаково сильное противодѣйствіе одному и тому же давленію воздуха. Понятно, что равенство противодѣйствій, оказываемыхъ ими, будетъ зависѣть отъ равенства водяныхъ столбовъ, непосредственно подверженныхъ давленію атмосферы. Но если одно колѣно (фиг. 642) погрузить подъ

Фиг. 642.

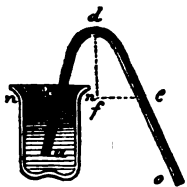


поверхность воды или другой жидкости, то вся изогнутая часть ic уравнивается давленіемъ жидкости въ сосудѣ, и на остальную часть воды колѣна cd , т. е. на столбъ id будетъ дѣйствовать давленіе воздуха, давящаго непосредственно на поверхность воды въ сосудѣ. Тоже самое давленіе воздуха дѣйствуетъ и на цѣлое колѣно ab . Вслѣдствіе того, въ своихъ колѣнахъ трубки

уже не можетъ быть равновѣсія. Какъ укороченное колѣно id противоставляетъ воздуху меньшее сопротивленіе противу длиннаго, то очевидно, что воздухъ долженъ давить сильнѣе на короткое колѣно, нежели на длинное, а потому изъ послѣдняго и польется вода. Выливаніе это будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ колѣно ab болѣе, и на оборотъ. На объясненномъ нами истеченіи воды изъ длиннаго колѣна изогнутой трубки, сновано устройство обыкновеннаго сифона, состоящаго изъ изогнутой трубки CB , одно колѣно которой длиннѣе другаго. Если погрузить короткое колѣно C въ воду и посредствомъ всасыванія ртомъ наполнить весь сифонъ водою, то послѣдній будетъ вытекать изъ длиннаго колѣна B до тѣхъ поръ, пока не опустѣетъ весь сосудъ.

Для болѣе точнаго объясненія дѣйствія сифона, представимъ себѣ, что

Фиг. 643.

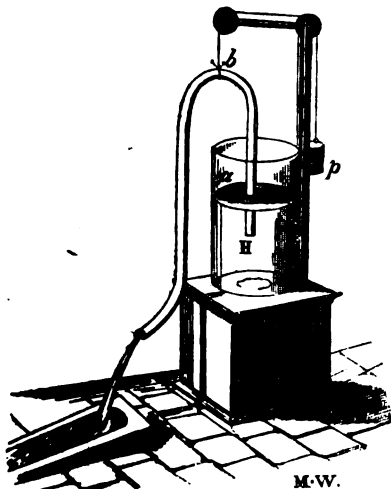


изогнутая трубка ado (фиг. 643), погружена въ воду, и что посредствомъ всасыванія мы наполнили всю трубку водою. У обѣихъ открытыхъ оконечностей трубки a и o , наружное давленіе воздуха стремится съ одинаковою силою поднимать воду кверху по колѣнамъ трубки; вся разниця заключается въ томъ, что въ точкѣ o давленіе это дѣйствуетъ непосредственно на отверстіе трубки, между тѣмъ какъ съ противоположной стороны оно дѣйствуетъ сперва

книзу на поверхность воды m и отъ послѣдней передается уже кверху, къ отверстію a чрезъ всю жидкостную массу сосуда. Давленію этому, которое въ состояніи уравнивать давленіе водяного столба въ 32 фута высоты, противодѣйствуетъ въ точкѣ a давленіе водяного столба cd (потому что часть ca поддерживается въ равновѣсіи остальною массою жидкости въ сосудѣ), а въ точкѣ o давленіе водяного столба do , имѣющаго болшую высоту противу cd . Поэтому давленіе воздуха на o болѣе уменьшается, нежели давленіе на a ; вслѣдствіе того послѣднее давленіе пріобрѣтаетъ перевѣсъ надъ первымъ и вода вытѣсняется этимъ избыткомъ давленія отъ a чрезъ d къ отверстію o , изъ котораго уже вытекаетъ наружу.

Что въ этомъ случаѣ истеченіе жидкости изъ длиннаго колѣна происходитъ вслѣдствіе давленія воздуха, можно убѣдиться, помѣстивъ погруженный въ воду сифонъ подъ колоколъ воздушнаго насоса: мы увидимъ, что жидкость не будетъ уже выливаться изъ нижняго конца.

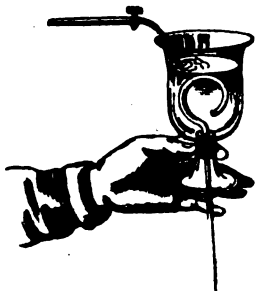
Фиг. 644.



Для полученія постояннаго истеченія воды изъ сифона необходимо, чтобы во все время истеченія было одинаковое различіе между высотами жидкости въ обѣихъ колѣнахъ. Для полученія этого придаютъ сифону устройство, показанное на фигурѣ 644-й. Сифонъ удерживается въ равновѣсіи поплавкомъ a и гирею p , такъ что по мѣрѣ опусканія уровня, въ сосудѣ H происходитъ соотвѣтственное опусканіе сифона, и слѣдовательно различіе между высотами ab и bc остается постояннымъ.

Для полученія перемежающагося истеченія посредствомъ сифона, даютъ ему форму, представленную на фиг. 645-й. Сифонъ этотъ располагается въ сосудѣ такимъ образомъ, чтобы отверстіе короткаго колѣна находилось близъ дна, между тѣмъ какъ длинное должно проходить чрезъ дно и выходить наружу. Сосудъ наполняютъ постоянно водою; уровень ея возвышается мало по малу: вслѣдствіе чего, короткое колѣно наполняется водою до самой вершины сифона и жидкость вытекаетъ наружу, какъ видно изъ фигуры. Если убыль воды изъ сифона значительна, противу прибавки воды, доставляемой трубкой, проведенной отъ

Фиг. 645.



ему форму, представленную на фиг. 645-й. Сифонъ этотъ располагается въ сосудѣ такимъ образомъ, чтобы отверстіе короткаго колѣна находилось близъ дна, между тѣмъ какъ длинное должно проходить чрезъ дно и выходить наружу. Сосудъ наполняютъ постоянно водою; уровень ея возвышается мало по малу: вслѣдствіе чего, короткое колѣно наполняется водою до самой вершины сифона и жидкость вытекаетъ наружу, какъ видно изъ фигуры. Если убыль воды изъ сифона значительна, противу прибавки воды, доставляемой трубкой, проведенной отъ

резервуара, чего можно легко достигнуть на основаніи законовъ истеченія жидкостей чрезъ трубки, то уровень воды въ сосудѣ будетъ мало по малу опускаться и отверстіе короткаго колѣна выйдетъ изъ воды. Тогда въ сифонѣ не будетъ жидкости и истечение прекратится. Но какъ сосудъ продолжаетъ наполняться водою, то уровень начнетъ снова подниматься и спустя извѣстное время возобновится описанное нами явленіе.

Въ городахъ при проводѣ воды по различнымъ частямъ города прибѣгаютъ часто къ перемежающемуся истеченію для открытія и запиранія въ опредѣленные часы тѣхъ крановъ, которыми запираются проводныя трубки. Для этого сосуды, наполняемые постоянно струею воды, опоражниваются по временамъ; вслѣдствіе чего они дѣлаются то тяжелѣе, то легче и дѣйствуютъ съ помощію противувѣсовъ то въ одну, то въ другую сторону на краны трубокъ. Сифонъ, доставляющій перемежающееся теченіе, называютъ *перемежающимся*. Весьма часто называютъ его *волшебнымъ бокаломъ* или *бокаломъ Тантала*.

Посредствомъ сифона удаляютъ изъ сосуда жидкость, надъ поверхностію которой находится другая жидкость легчайшаго удѣльнаго вѣса. Чтобы произвести это удаленіе, не смѣшивая нижней жидкости съ верхнею, достаточно только погрузить въ нижнюю жидкость короткое колѣно сифона.

Сифонъ имѣетъ большое примѣненіе въ обществѣ, при переливаніи жидкостей изъ одного сосуда въ другой. Съ помощію сифона можно проводить воду только чрезъ возвышеніе, а не черезъ гору: потому что высота, на которую давленіе воздуха можетъ поднять воду, простирается до 30 съ небольшимъ футовъ. Если въ высшей точкѣ сифона отстояла отъ поверхности воды, по отвѣсной линіи, болѣе этого разстоянія, то вода, по наполненіи сифона, полилась бы изъ обоихъ колѣнъ его.

Фиг. 646.



Какъ при всасываніи жидкости, описаннымъ нами способомъ, въ сифонъ, часть ея можетъ попасть въ ротъ, — что при нѣкоторыхъ жидкостяхъ даже вредно, — то для избѣжанія этого неудобства при дѣлаютъ къ колѣну *b* (фиг. 646) всасывающую трубку *d*. Для наполненія сифона, въ этомъ случаѣ, затыкаютъ отверстіе *b* пальцемъ и потомъ безопасно всасываютъ чрезъ отверстіе *d* жидкость, которая только тогда начинаетъ вытекать наружу, когда мы отнимемъ палецъ отъ *b*.

Извѣстно, что въ нѣкихъ мѣстахъ находятся ключи, изъ которыхъ вода вытекаетъ періодически, т. е. по временамъ прекращается истеченіе воды. Явленіе это относятъ также къ дѣйствию перемежающихся сифоновъ и объясняютъ его слѣдующимъ образомъ.

Фиг. 647.



Положимъ, что внутри какой нибудь горы (фиг. 647), находится пустое пространство, въ которое собирается вода, стекающая съ земной поверхности. Если это пространство сообщается съ наружною частію горы посредствомъ отверстія, имѣющаго видъ сифона, короткое колѣно котораго сообщается съ водою, а длинное выходитъ наружу и оканчивается тамъ нѣсколькими рукавами, то понятно, что при наполненіи пустаго пространства водою, когда уровень ея поднимется выше поворота сифона, жидкость начнетъ вытекать изъ длиннаго колѣна и истеченіе ея будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока уровень ея не опустится ниже отверстія сифона, обращеннаго къ пустому пространству внутри горы. Въ горахъ, которыхъ вершины покрыты снѣгомъ, подобныя

углубленія во время таянія снѣга днемъ, могутъ наполняться водою, которая стекаетъ наружу во время ночи. Такіе ключи дѣйствительно попадаютъ въ Швейцарію. Точно также объясняютъ явленія, представляемыя Циркницкимъ озеромъ, изъ котораго, какъ извѣстно, по временамъ вода удаляется совершенно; на днѣ его замѣчены отверстія, которыя по всей вѣроятности принадлежатъ короткимъ колѣнамъ сифоновъ, удаляющихъ воду изъ озера. Для воспрепятствованія поднятію воды въ каналахъ послѣ сильныхъ дождей прибѣгаютъ къ помощи сифоновъ, короткія колѣна которыхъ сообщаются со стѣнками каналовъ, а длинныя проводятся въ боковые каналы. При поднятіи воды въ главныхъ каналахъ, сифонъ уводитъ воду въ боковыя до тѣхъ поръ, пока уровень воды въ главномъ каналѣ не опустится ниже отверстія короткаго плеча сифона. Подобнымъ устройствомъ снабженъ каналъ Лангедокъ во Франціи.

Фиг. 648.



Фиг. 649.



Фиг. 650.



Волшебная воронка состоитъ изъ двухъ соединяющихся воронокъ (фиг. 648), между которыми оставляется пустое мѣсто *аа*, соединяющееся со внѣшнимъ воздухомъ посредствомъ двухъ отверстій *о* и *с*. Если погрузить воронку въ воду, то по удаленіи воздуха изъ отверстія *о*, промежуточное пространство *аа* наполнится водою. Когда же послѣ того запереть отверстие *о* пальцемъ и вынуть воронку изъ воды, то часть послѣдней, находящаяся въ *А*, вытечетъ черезъ *с*, между тѣмъ какъ изъ *аа* вода польется только въ томъ случаѣ, когда откроется отверстие *о*.

Подобное же явленіе представляетъ намъ *волшебный кушинецъ* (фиг. 649), съ открытымъ отверстіемъ *а* и просверленнымъ дномъ *б*, изъ котораго вода не будетъ вытекать до тѣхъ поръ, пока мы не откроемъ верхняго отверстія у ручки, обыкновенно запираемаго пальцемъ.

Картезианскій водолазъ (фиг. 650) состоитъ изъ стеклянной фигуры произвольнаго вида, имѣющей внутри пустое пространство, которое сообщается съ наружнымъ воздухомъ посредствомъ небольшого отверстія. Фигура эта плаваетъ въ сосудѣ съ водою, который обтянуть сверху пузыремъ. Всякое давленіе на пузырь передается всей жидкости и заставляетъ часть ея входить черезъ отверстіе во внутренность стеклянной фигуры, которая, вслѣдствіе того, дѣлается тотчасъ тяжелѣе, относительно воды, и опускается на дно. Когда же давленіе на пузырь прекратится, то воздухъ сжатый внутри стеклянной фигуры, расширяется снова и вытѣсняетъ воду изъ фигуры. Возстановивъ, такимъ образомъ, свой прежній вѣсъ относительно воды, фигура снова поднимается къверху.

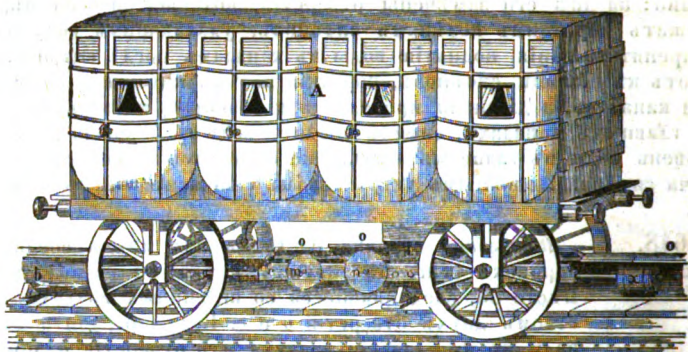
Атмосферная желѣзная дорога представляетъ одно изъ остроумнѣйшихъ Atmospheric applications of the pressure of air on the opposite side of the piston, which is freed from the pressure of the air by the rarefaction of the air.

По срединѣ между рельсами, идущими вдоль дороги по всей длинѣ ихъ, лежатъ чугунная труба. Въ этой трубѣ находится плотно входящій поршень. Если вытянуть воздухъ изъ пространства трубы, лежащаго по одну сторону поршня, то давленіе воздуха на противоположную сторону заставитъ поршень двигаться вдоль трубы.

Вытягиваніе воздуха изъ трубы производится посредствомъ паровой машины. Поршень, приводимый въ движеніе давленіемъ атмосфернаго воздуха, увлекаетъ за собою прикрѣпленные къ нему вагоны.

Для этого прикрѣпляютъ одинъ изъ вагоновъ къ соединительному рукаву поршня (фиг. 651). Чтобы доставить возможность этому рукаву двигаться по

Фиг. 651.



трубѣ, послѣднюю снабжаютъ въ верхней части прорѣзомъ и запираютъ этотъ прорѣзъ клапанами *o*. Клапаны эти открываются передъ поршнемъ, для пропуска соединительнаго рукава, и запираются снова по проходѣ его.

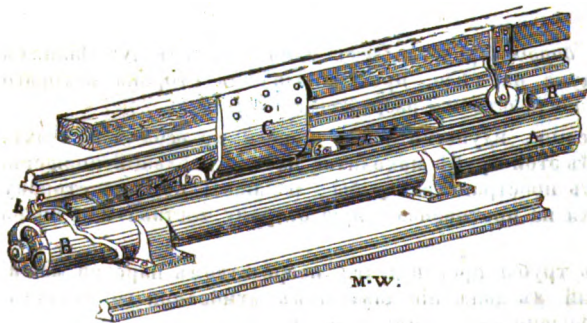
На фиг. 652а, 652b, 653 и 654 представлены подробности этого устройства.

Фиг. 652а представляетъ поперечный разрѣзъ дороги и трубы, лежащей по срединѣ между рельсами и открытой сверху. Кожаный клапанъ, которымъ закрываются прорѣзы, представленъ на фиг. 652а въ тотъ моментъ, когда онъ поднятъ для пропуска соединительнаго рукава *d*. Онъ обитъ сверху и снизу желѣзомъ, которое доставляетъ ему возможность опускаться въ то время, когда не поддерживаетъ его соединительное плечо.

Чугунная труба имѣетъ 1' 4" въ діаметрѣ; каждая часть ее простирается до 7-ми футовъ длины; она смазана внутри слоемъ воску или сала на $\frac{1}{4}$ линіи толщиною, для сглаживанія неровностей, происходящихъ при отливкѣ трубы, и для облегченія движенія поршня. Фиг. 652b показываетъ поперечный разрѣзъ трубы, когда она покрыта клапаномъ.

Устройство поршня видно изъ фиг. 653-й, представляющей продольный разрѣзъ трубы. Къ чугунному цилиндру *k* прикрѣплены два обруча изъ кожи, плотно прикасающіеся ко внутреннимъ стѣнкамъ трубки. Къ поршню прикрѣплены двѣ желѣзныя полосы, изъ которыхъ на фигурѣ видна только одна передняя. Между этими полосами прикрѣплены четыре колеса и соединительный рукавъ *d*. Діаметръ обоихъ наружныхъ колесъ, менѣе діаметра внутреннихъ. Первое колесо поднимаетъ клапанъ немного вверхъ, второе поднимаетъ его на столько, чтобы онъ свободно могъ проходить въ соединительный рукавъ.

Фиг. 654.



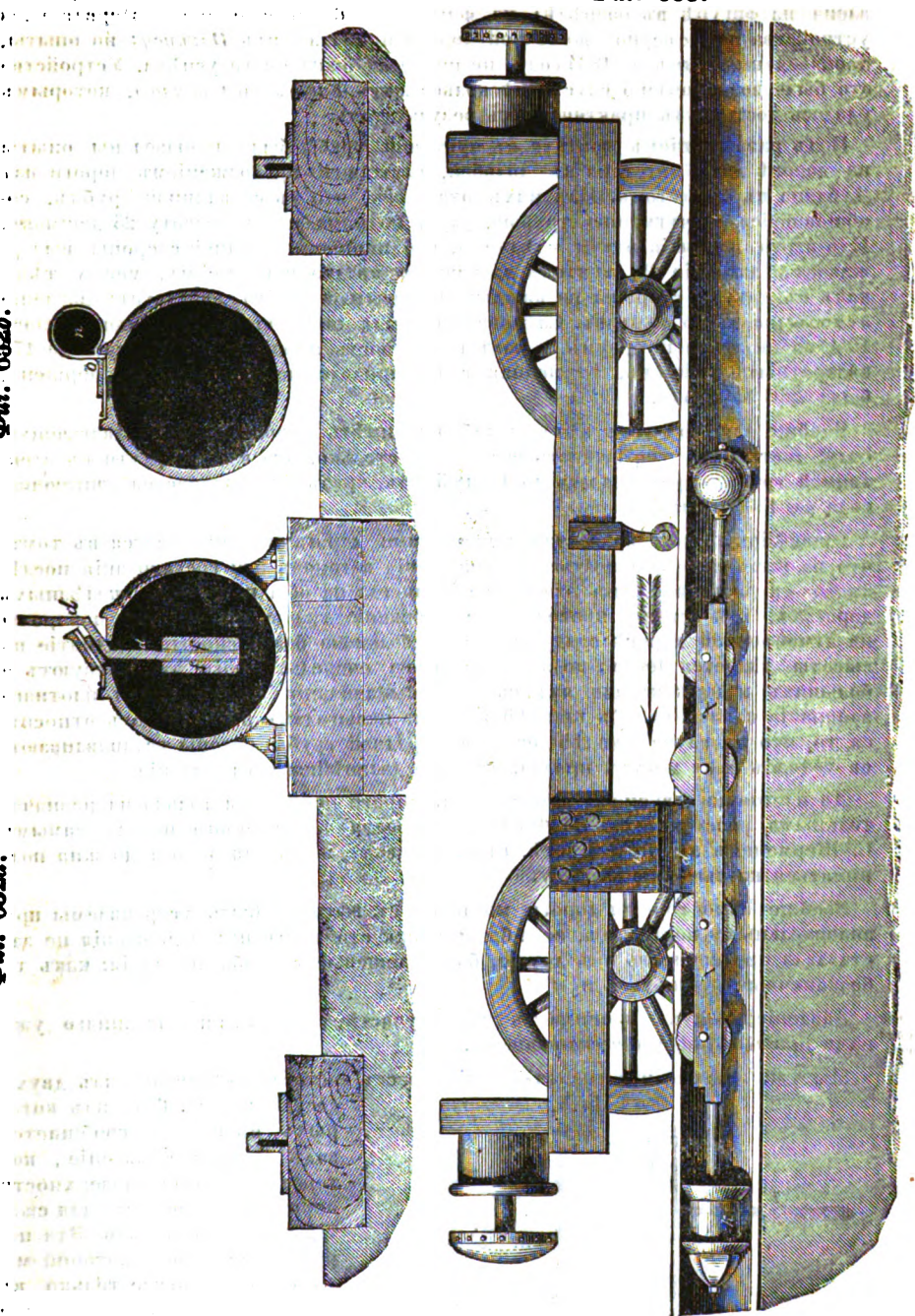
По проходѣ послѣдняго, клапанъ опускается на третье колесо, потомъ на четвертое и послѣ того прикрываетъ совершенно прорѣзъ. Колесо, лежащее за четвертымъ колесомъ трубы и прикрѣпленное къ вагону, направляетъ на клапанъ съ вѣншией стороны трубы.

Фигура 654-я показываетъ тоже самое въ перспективѣ.

Фиг. 653.

Фиг. 652b.

Фиг. 652a.



Когда клапанъ прикрываетъ щель, то на поверхности его при о (фиг. 652b) образуется углубленіе, наполняемое смѣсью воска и сала. Наполненіе это происходитъ посредствомъ трубки я, прикрѣпленной къ вагону позади колеса і. Черезъ это чугунная труба снова дѣлается непроницаемою для наружнаго

воздуха. Труба *а*, наполненная смѣсью, нагревается угольями; она представлена на фигурѣ въ разрѣзѣ; на фигурѣ же 653-й выпущена. Первая идея устройства атмосферной желѣзной дороги принадлежит *Пиккису*; но опыты, произведенные имъ въ 1834 году, не принесли ожидаемаго успѣха. Устройство это было возобновлено спустя нѣсколько лѣтъ *Клеюмъ* и *Самудю*, которымъ удалось достигнуть практическихъ результатовъ.

Надъ разрѣженіемъ воздуха въ чугунной трубѣ были произведены опыты на дорогѣ изъ Кингстона въ Дальбей, служащей продолженіемъ дороги изъ Дублина въ Кингстонъ. Изъ нихъ оказалось, что въ стеклянной трубкѣ, сообщавшейся съ чугунною трубою, ртуть поднималась на высоту 25 дюймовъ. Изъ этого поднятія ртути слѣдуетъ, что поршень съ одной стороны выдерживаетъ давленіе $2\frac{1}{4}$ фунтовъ на каждый квадратный дюймъ, между тѣмъ какъ съ другой стороны на каждый квадратный дюймъ дѣйствуетъ давленіе атмосферы въ 15 фунтовъ. Слѣдовательно для двигающейся силы приходилось $12\frac{1}{4}$ на квадратный дюймъ, а какъ поверхность поршня простиралась до 176 квадратныхъ дюймовъ, то полная сила, приводившая въ движеніе поршень, была 2200 фунтовъ.

Вообще для поѣздовъ нѣтъ надобности имѣть такой величины двигающую силу; достаточно разрѣживать воздухъ на столько, что высота ртути въ стеклянной трубкѣ простиралась до 15 дюймовъ, чрезъ что получается двигающая сила въ 1300 фунтовъ.

Главнѣйшая выгода, доставляемая этими дорогами, заключается въ томъ, что на нихъ нечего опасаться столкновенія вагоновъ или соскакиванія послѣднихъ съ рельсовъ, какъ это бываетъ иногда на обыкновенныхъ желѣзныхъ дорогахъ, гдѣ вагоны приводятся въ движеніе силою паровъ. Всѣ повороты на атмосферной дорогѣ совершаются съ большою безопасностію, поднятіе на высоты дѣлается легко; но за то, въ свою очередь, дороги эти требуютъ и большихъ издержекъ для надлежащаго выкачиванія воздуха и для плотнаго запиранія клапановъ. Къ главнѣйшимъ же невыгодамъ этихъ дорогъ относится то, что въ случаѣ малѣйшей порчи средней трубы, вагоны останавливаются тотчасъ и не могутъ продолжать уже дальнѣйшаго слѣдованія.

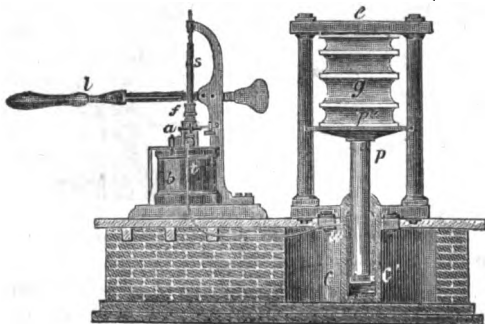
До настоящаго времени атмосферныя дороги проведены только на незначительныхъ разстояніяхъ. Во Франціи устроена такая дорога передъ самымъ С. Жерменемъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ парижская желѣзная дорога должна подниматься на высокую террасу.

Вообще атмосферныя дороги могли бы съ пользою быть устраниваемы при значительныхъ подъемахъ, если бы большая стоимость ихъ содержанія не заставляла предпочитать имъ другіе, болѣе дешевые способы поднятія: какъ то безконечные ремни и т. п.

Давленіе воздуха принимаетъ также участіе въ дѣйствіи описаннаго уже нами прибора гидравлическаго пресса.

Мы уже знаемъ, что гидравлическій прессъ состоитъ собственно изъ двухъ сосудовъ (фиг. 655), изъ кото-

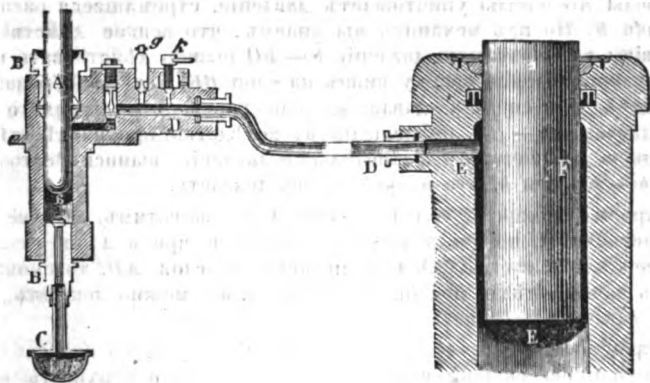
Фиг. 655.



рыхъ въ одномъ сообщается водѣ извѣстное давленіе, которое передается поверхности поршня, назначаемаго для сжатія различныхъ тѣлъ. Эта передача давленія, о которой мы упоминали прежде только въ общихъ чертахъ, производится на самомъ дѣлѣ посредствомъ механизма, заключающагося внутри гидравлическаго пресса и представленнаго особо

на фиг. 636. Съ помощію рычага поднимается поршень *z*, оставляя за собою безвоздушное пространство. Вслѣдствіе того вода въ резервуаръ *b*, подвер-

Фиг. 656.



женная давленію воздуха, проникаетъ въ это пространство чрезъ небольшія отверстія, продѣланныя въ сосудѣ *c*, поднимая для этого клапанъ *i*. Когда же поршень *l* опускается книзу, то вслѣдствіе давленія, сообщаемого имъ водѣ, запирается клапанъ *i* и вода, не имѣя другого выхода, принуждена переходить, посредствомъ трубки *ib*, въ цилиндръ *ce*, гдѣ, какъ мы уже знаемъ, она производитъ увеличенное давленіе на поршень.

Мариоттова стеклянка есть приборъ, представляющій многія замѣчательныя *Мариоттова* явленія атмосфернаго давленія и служащій средствомъ для полученія постояннаго истеченія жидкостей. Это ничто иное какъ стеклянка закрытая пробкою (фиг. 657), чрезъ которую проходитъ стеклянная трубка, открытая съ обоихъ концовъ. Сбоку стеклянки находятся три узкія отверстія, протянутыя въ трубочки *A*, *B*, *C*, каждое изъ нихъ закрывается небольшими деревянными пробками.

Фиг. 657.



Наполнивъ совершенно водою стеклянку и трубку, откроемъ послѣдовательно отверстія *A*, *B*, *C*, предполагая, что нижній конецъ трубки *g* находится между отверстіями *B* и *C*. Тогда:

1) Если откроемъ сначала отверстіе *B*, то произойдетъ истеченіе воды; поверхность ея въ трубкѣ *G* начнетъ опускаться и лишь только уровень ея достигнетъ одинаковой высоты съ поверхностью воды въ *B*, то истеченіе прекратится. Эти явленія объясняются избыткомъ давленія, происшедшаго у *B* со внутренней стороны ко внѣшней; избытокъ этотъ перестаетъ существовать въ то время, когда поверхность воды въ трубкѣ *G* достигнетъ одного уровня съ *B*. И въ самомъ дѣлѣ, прежде чѣмъ начнется истеченіе, давленіе на всѣ точки горизонтальнаго слоя *BE* неодинаково: въ *E* это давленіе состоитъ изъ атмосфернаго давленія и вѣса водянаго столба *GE*, тогда какъ въ *B* дѣйствуетъ одно атмосферное давленіе. Но лишь только поверхность воды будетъ въ *B* и *E* на одной высотѣ, то произойдетъ равновѣсіе, потому что какъ въ трубкѣ, такъ и въ стеклянкѣ давленіе на всѣ точки горизонтальнаго слоя *BE* будетъ одинаково. Въ дѣйствительности на точки *B* и *E* происходитъ въ этомъ случаѣ давленіе равное атмосферѣ; слѣдовательно легко доказать, что тоже самое давленіе претерпѣваетъ и всякая, произвольная точка *o*, лежащая на этомъ горизонтальномъ слой *BE*. Для этого обозначимъ атмосфер-

ное давленіе чрезъ A ; эта сила, дѣйствуя прямо на B и E , передается, по закону Паскаля, всѣмъ частицамъ воды въ стеклянкѣ и точка K , отъѣсно лежащая надъ O , выдерживается снизу вверхъ давленіе равное $\lambda - KO$, потому что вѣсъ столба воды KO частию уничтожаетъ давленіе, стремящееся распространиться до точки K . Но изъ механики мы знаемъ, что всякое дѣйствіе равно противоѣдѣствію; слѣдовательно давленіе $\lambda - KO$ должно дѣйствовать по противоположному направленію сверху внизъ на слой BE , такимъ образомъ, что частица O будетъ выносить два давленія, одно равное вѣсу водяного столба KO , а другое давленію $\lambda - KO$, происшедшему вслѣдствіе противоѣдѣствія оказываемаго точкою K ; значить дѣйствительное давленіе, выносимое точкою O , будетъ $KO + \lambda - KO$ или λ , что и требовалось доказать.

2) Если закроемъ отверстіе B и откроемъ A , то замѣтимъ, что не будетъ происходить истеченія; но когда воздухъ взойдетъ чрезъ A въ стеклянку и отъ того поверхность въ трубкѣ G поднимется до слоя AD , то произойдетъ равновѣсіе. Въ самомъ дѣлѣ, подобно предыдущему можно доказать, что въ этомъ случаѣ давленіе на всѣ точки слоя AD одинаково.

3) Если, закрывъ отверстія A и B , откроемъ C , то будетъ происходить истеченіе съ постоянною скоростью до тѣхъ поръ, пока поверхность воды въ стеклянкѣ не опустится ниже отверстія L трубки; воздухъ входитъ тогда пузырьками чрезъ это отверстіе въ верхнюю часть стеклянки и занимаетъ въ ней мѣсто вытекающей воды.

Для доказательства постоянного истеченія воды изъ отверстія C достаточно показать, что давленіе, выдерживаемое горизонтальнымъ слоемъ CH , совершенно равно суммѣ давленій атмосферы и столба воды NL . Предположимъ въ самомъ дѣлѣ, что въ стеклянкѣ поверхность воды понизилась до слоя AD . Тогда воздухъ, проникнувшій въ стеклянку, выдерживаетъ давленіе равное $\lambda - PN$. Вслѣдствіе своей упругости, она передаетъ это давленіе на слой CH ; а этотъ слой кромѣ того выноситъ вѣсъ столба воды PM . Слѣдовательно давленіе на M будетъ $PM + \lambda - PM$, или $\lambda + MN$, т. е. $\lambda + NL$. Точно также можно доказать, что это давленіе будетъ одно и тоже и въ томъ случаѣ, когда поверхность воды опустится до BE и такъ далѣе до тѣхъ поръ, пока она будетъ выше отверстія L . Но когда она опустится ниже послѣдняго, то уменьшится давленіе на слой CH , а слѣдовательно и скорость истеченія.

Такимъ образомъ, наполняя маріотovu стеклянку водою и открывъ отверстіе, находящееся ниже конца трубки L , получаютъ постоянное истеченіе. Скорость его пропорціональна тогда квадратному корню изъ высоты LH .

При-
ложеніе
Архим.
закона
къ га-
замъ.

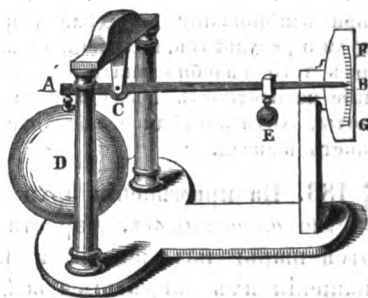
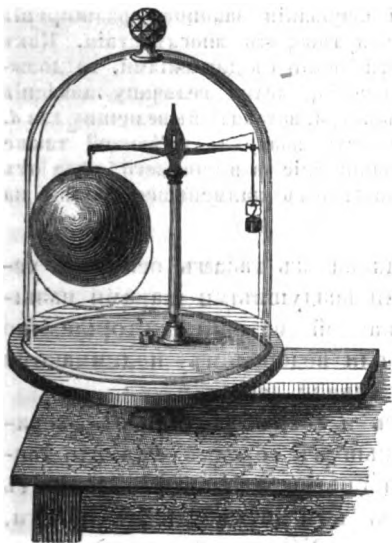
§ 182. Извѣстно, что давленія, производимыя газами, по причинѣ упругости и тяжести послѣднихъ, дѣйствуютъ одинаково во всѣ стороны; для воздуха это доказано уже посредствомъ магдебургскихъ полушарій. Отсюда слѣдуетъ, что къ тѣламъ, погруженнымъ въ атмосферу, можно примѣнить слово въ слово то, что было сказано о тѣлахъ, погруженныхъ въ жидкости, и заключить, что они теряютъ изъ своего вѣса вѣсъ вытѣсняемаго ими воздуха.

Эта потеря вѣса въ воздухѣ доказывается посредствомъ бароскопа—прибора, состоящаго изъ вѣсоваго коромысла, у котораго на одномъ концѣ привѣшена маленькая свинцовая гирька, а на другомъ пустой мѣдный шаръ. Въ воздухѣ оба эти тѣла находятся въ равновѣсіи; но если поставимъ приборъ надъ стеклянный колоколъ воздушнаго насоса, то увидимъ, что шаръ начинаетъ перетягивать гирю и опускаться, какъ это видно изъ фиг. 658. Это показываетъ, что шаръ дѣйствительно тяжелѣе гири, потому что здѣсь оба эти тѣла не подвержены никакому давленію и подчинены одной только тяжести.

Слѣдовательно въ воздухѣ шаръ теряетъ часть своего вѣса. Для удостовѣренія съ помощію этого же прибора въ томъ, что потеря вѣса въ воздухѣ совершенно равна вѣсу воздуха вытѣсненнаго шаромъ, измѣряютъ объемъ шара, потомъ кладутъ на гирьку небольшую пластинку, которой вѣсъ равенъ вѣсу этого объема воздуха; тогда равновѣсіе, которое прежде имѣло мѣсто въ воздухѣ, нарушится, напротивъ въ пустотѣ оно восстанавливается. Тотъ же самый опытъ можетъ быть произведенъ посредствомъ прибора, представленнаго на

Фиг. 658.

Фиг. 659.



фиг. 659-й. При этомъ устройствѣ прибора конецъ рычага *AB* двигающійся по дугѣ, раздѣленной на градусы, можетъ даже показывать величину самой потери.

Такъ какъ законъ архимедовъ справедливъ и для тѣлъ, погруженныхъ въ воздухъ, то къ нимъ можно примѣнить все, что было сказано о тѣлахъ, погруженныхъ въ жидкости. Такъ напр. если какое нибудь тѣло тяжелѣе воздуха, то оно падаетъ, вследствие избытка своей тяжести надъ взаимнымъ сцепленіемъ частицъ газа. Если тѣло имѣетъ плотность одинаковую съ воздухомъ, то вѣсъ его и давленіе снизу вверхъ будутъ въ равновѣсіи и тѣло будетъ плавать въ атмосферѣ. Наконецъ, если тѣло менѣе плотно, нежели воздухъ, то давленіе воздуха преодолеваетъ силу тяжести и тѣло поднимается въ воздухъ до тѣхъ поръ, пока не дойдетъ до воздушныхъ слоевъ, одинаково плотныхъ съ этимъ тѣломъ. Сила поднятія въ такомъ случаѣ равна избытку давленія надъ тяжестью тѣла. Вотъ причина, почему дымъ, пары, облака, аэростаты поднимаются сами собою въ атмосферѣ.

Изъ примѣненія архимедова закона къ газамъ слѣдуетъ, что при каждомъ точномъ взвѣшиваніи мы должны принимать во вниманіе ту потерю вѣса, которая равна вѣсу воздуха, вытѣсненнаго взвѣшиваемымъ тѣломъ. Поло-

жить, что вѣсъ какого нибудь тѣла въ воздухѣ равенъ V и что истинный его вѣсъ въ безвоздушномъ пространствѣ $= V'$. Если d есть плотность воздуха сравнительно съ плотностію взвѣшиваемаго тѣла, то сила, поддерживающая тѣло въ воздухѣ, будетъ dV' . Слѣдовательно $V = V' - dV'$, откуда $V' = \frac{V}{1-d}$. Если

тѣло имѣетъ одинаковую плотность съ водою во время плотнѣйшаго ея состоянія, то плотность воздуха при 0° и 0,76 метра высоты ртути $= 0,0012935$.

Последнюю величину должно вставить въ уравненіе $V' = \frac{V}{1-d}$ вмѣсто d . Какъ

воздухъ расширяется отъ теплоты, то въ найденную величину для d должно ввести поправку, соответствующую градусу теплоты во время взвѣшиванія. Поправка эта можетъ быть опредѣлена на основаніи законовъ расширенія воздуха отъ теплоты, о которыхъ мы будемъ говорить впоследствии. Какъ плотности газовъ находятся въ прямомъ отношеніи съ давленіями, то должно при взвѣшиваніи опредѣлить посредствомъ барометра величину давленія воздуха и результатъ, полученный въ частяхъ метра, вставить въ величину для d . Сверхъ того надобно знать состояніе влажности воздуха, имѣющей также влияніе на плотность послѣдняго и самое расширеніе взвѣшиваемаго тѣла отъ теплоты, хотя послѣднее обстоятельство оказываетъ наименьшее влияніе на точность вывода.

Аэростаты.

§ 183. На примѣненіи архимедова закона къ газамъ основано устройство *аэростатовъ*. Аэростатами или воздушными шарами называются шары изъ легкой и непромокаемой матеріи, которые, по наполненіи ихъ нагрѣтымъ воздухомъ или водородомъ, поднимаются въ атмосферѣ вслѣдствіе своей относительной легкости.

Они изобрѣтены братьями Стефаномъ и Іосифомъ Монгольфьерами, бумажными фабрикантами въ небольшомъ городкѣ Франціи Даннонѣ, гдѣ и былъ произведенъ первый опытъ 5 Іюня 1783 г. надъ шаромъ, стѣнки котораго были склеены изъ двухъ слоевъ бумаги, имѣвшихъ 36 метровъ въ окружности и 250 килограммовъ вѣсу. Черезъ отверстіе снизу этотъ шаръ наполнялся воздухомъ, нагрѣвавшимся снизу посредствомъ зажженной бумаги, шерсти и смоченной соломы.

Еще прежде Монгольфьеровъ въ 1767 г. Блэкъ (Black), профессоръ физики въ Эдинбургѣ, упоминалъ въ своихъ лекціяхъ, что животный пузырь, наполненный водородомъ, долженъ подниматься самъ собою въ атмосферѣ; но онъ никогда не производилъ этого опыта, считая его только забавою. Въ 1782 г. Кавалло сообщилъ Лондонскому Королевскому обществу свои опыты, касательно поднятія кверху мыльныхъ пузырей, наполненныхъ водороднымъ газомъ и приписывалъ это обстоятельство тому, что заключавшійся въ нихъ газъ легче воздуха.

Какъ бы то ни было, но братья Монгольфьеры не знали объ опытахъ Кавалло и Блэка до своего открытія. Какъ они употребляли для наполненія своихъ шаровъ исключительно нагрѣтый воздухъ, то шары съ нагрѣтымъ воздухомъ въ отличіе отъ шаровъ, наполняемыхъ водородомъ, принято называть *монгольфьерами*.

Первый, замѣтившій нагрѣтый воздухъ водородомъ, былъ парижскій профессоръ физики Шарль, умершій въ 1823 году. Вотъ почему наполняемые водородомъ аэростаты, въ отличіе отъ монгольфьеровъ,

называются *шарльерами*. 27 Августа 1783 г. шаръ, наполненный впервые водородомъ, былъ спущенъ на Марсовомъ полѣ. «Никогда еще», пишетъ Марсье, «не дана была лекція физики столь многочисленнымъ и внимательнымъ слушателямъ».

21 Ноября того же года Пилатръ де Розье, въ сопровожденіи кавалера Дарланда, предпринялъ первое воздушное путешествіе на шарѣ, наполненномъ нагрѣтымъ воздухомъ. Поднятіе происходило въ саду близъ Булонскаго лѣса. Воздухоплаватели жгли въ нижней части шара сырую солому для разширенія воздуха, заключавшагося внутри шара, отъ чего оболочка шара каждую минуту подвергалась опасности загорѣться. Десять дней спустя, въ Тюльерійскомъ саду, Шарль и Роберъ повторили тотъ же опытъ надъ шаромъ наполненнымъ водородомъ.

7-го Января 1785 г. Бланшаръ, вмѣстѣ съ докторомъ Жефри, первый переѣхалъ въ аэростатъ изъ Дувра въ Кале. Воздухоплаватели достигли береговъ Франціи съ большимъ трудомъ и принуждены были выбросить въ море для облегченія шара все до самой одежды, которая была на нихъ.

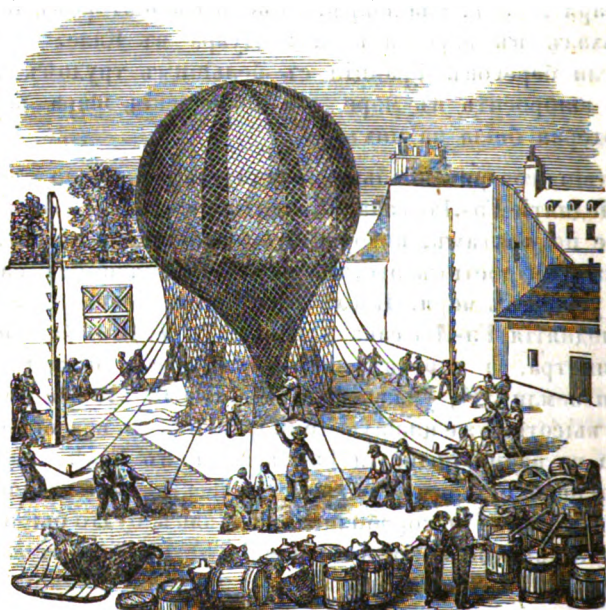
Впослѣдствіи совершенно было значительное число воздушныхъ поднятій. Поднятіе Гэ-Люссака 15 Сентября 1804 г. было самое замѣчательное по фактамъ, которыми оно обогатило науку, и по высотѣ, до которой достигъ этотъ ученый, поднявшійся на 7016 метровъ надъ уровнемъ моря. Послѣ того Гринъ поднимался еще выше. Во время поднятія Гэ-Люссака при высотѣ 7016^м барометръ упалъ на 32 сантиметра, а столбодушный термометръ, показывавшій при поверхности земли 31°, упалъ на 9°,5 ниже 0. Новое поднятіе дало для той же высоты уже низшую температуру. Въ возвышенныхъ слоевъ воздуха во время поднятія Гэ-Люссака въ Іюль, воздухъ былъ до такой степени сухъ, что гигрометрическія тѣла, каковы бумага, пергаментъ, изсохли и искоробились такъ, какъ будто бы ихъ держали надъ огнемъ. Дыханіе и кровообращеніе ускорились отъ малой плотности воздуха. Гэ-Люссакъ говоритъ, что его пульсъ былъ тогда 120 ударовъ въ минуту, вмѣсто обыкновенныхъ 66. Небо на этой высотѣ имѣло темный голубой оттѣнокъ на черномъ днѣ. Отправившись со двора Консерваторіи искусствъ и ремеселъ въ Парижѣ, Гэ-Люссакъ спустился чрезъ 6 часовъ близъ Руана, пролетѣвъ около 30 лье.

Оболочка аэростатовъ дѣлается изъ длинныхъ веретенообразныхъ кусковъ тафты, которые сшиваются между собою и обмазываютъ каучукомъ, дѣлающимъ ткань непроницаемою. На верхушкѣ шара находится клапанъ, который посредствомъ пружины содержится всегда закрытымъ и можетъ быть открываемъ по волѣ воздухоплавателя помощью веревки. Легкая лодочка изъ ивы, въ которой могутъ помѣститься нѣсколько человѣкъ, виситъ внизу шара и поддерживается веревочною сѣткою, покрывающею весь шаръ (фиг. 660 и 661).

Обыкновеннаго размѣра шаръ, могущій поднять трехъ человѣкъ, имѣетъ около 15м высоты, 11м въ діаметрѣ и 700 куб. метровъ въ объемѣ, если онъ совершенно наполненъ. Оболочка вѣситъ 100 килограммовъ, а прочія принадлежности, какова сѣтка, лодка — 50 кил.

Аэростаты наполняютъ или чистымъ водородомъ или углеродистымъ водородомъ, употребляемымъ на освѣщеніе. Хотя послѣдній газъ плотнѣе перваго, но онъ теперь употребляется часто для аэростатовъ, потому что его добываніе обходится легче и дешевле, нежели добываніе чистаго водорода; сверхъ того во многихъ городахъ устроено теперь газовое освѣщеніе и потому весьма легко наполнять аэростаты приготовляемымъ на газовомъ заводѣ газомъ, который проводится въ этомъ случаѣ къ мѣсту назначенія посредствомъ каучуковой трубы.

Фиг. 660,



Фигура 660-я представляетъ шаръ, наполненный чистымъ водородомъ. На право изображено нѣсколько боченковъ, въ которыхъ находятся желѣзныя опилки и сѣрная кислота — вещества необходимыя для приготовленія водорода. Изъ каждого боченка газъ переходитъ въ центральный боченокъ съ вынутымъ нижнимъ дномъ, плавающий въ чану наполненномъ водою. Газъ, очистившись въ этой водѣ, переходитъ въ аэростатъ посредствомъ длинной трубы, сдѣланной изъ плотной матеріи.

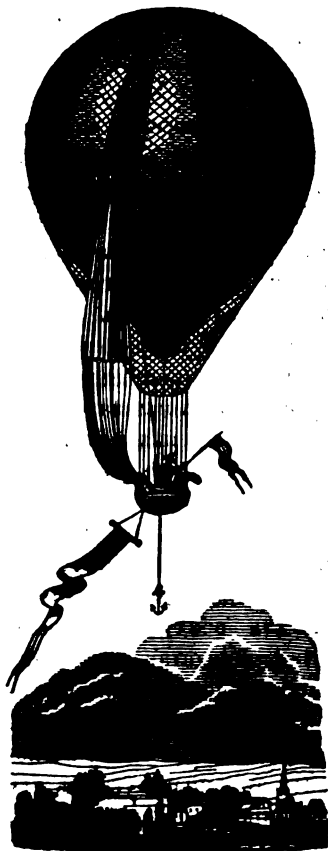
Чтобы облегчить входъ газу въ шаръ, вбиваютъ два шеста и на ихъ верхушкахъ укрѣпляютъ по блоку, чрезъ которые проходитъ веревка отъ неподвижнаго кольца на клапанѣ. При такомъ устройствѣ, поднявъ аэростатъ на одинъ метръ отъ земли, можно начать впускать газъ; потомъ, по мѣрѣ наполненія шара, его поднимаютъ нѣ-

сколько выше, помогая при этомъ нѣсколько въ началѣ его надуванію. Когда же шаръ надуется, то должно уже противостоять стремленію его къ поднятію вверхъ, для чего его удерживаютъ посредствомъ веревокъ, прикрѣпленныхъ къ сѣткѣ. Эти различныя приготовленія требуютъ по крайней мѣрѣ двухъ часовъ. Наконецъ воздухоплаватель садится въ лодочку; по данному знаку опускаютъ веревки и шаръ поднимается тѣмъ съ большею скоростью, чѣмъ легче онъ вытѣсненнаго имъ объема воздуха.

Не должно наполнять шаръ совершенно, потому что по мѣрѣ его возвышенія въ воздухѣ уменьшается атмосферное давленіе и газъ, находящійся въ шарѣ, начинаетъ сильнѣе расширяться и наконецъ можетъ разорвать оболочку шара.

Достаточно, чтобы сила поднятія, т. е. избытокъ вѣса вытѣсненнаго воздуха надъ вѣсомъ прибора былъ отъ 4 до 5 килограммовъ. Должно замѣтить, что эта сила остается постоянно до тѣхъ поръ, пока надуваніе шара не достигнетъ совершеннаго развитія вслѣдствіе расширенія внутренняго газа. Въ самомъ дѣлѣ, если атмосферное давленіе слѣжалось на примѣръ вдвое менѣе, то газъ въ аэростатѣ, по закону Маріота, долженъ удвоиться въ объемѣ; откуда слѣдуетъ,

Фиг. 661.



что объемъ вытѣсненнаго воздуха тоже увеличивается вдвое, за то его плотность вдвое уменьшается, а слѣдовательно вѣсъ его и сила давленія снимау вверхъ не измѣнятся. Если же шаръ совершенно надутъ и продолжаетъ подниматься, то сила поднятія уменьшается, потому что объемъ вытѣсненнаго воздуха остается тотъ же, но плотность его уменьшается. Значитъ наступитъ время, когда сила поднятія слѣдается равною нулю и тогда шаръ пойдетъ въ горизонтальномъ направленіи, слѣдуя воздушному теченію, господствующему въ атмосферѣ.

Только по показаніямъ барометра воздухоплаватель можетъ заключить о томъ, поднимается ли онъ, или опускается. Въ первомъ случаѣ ртуть понижается, во второмъ поднимается. Помощью этого же прибора онъ можетъ судить о высотѣ, на которой находится. Длинный флюгеръ, прикрѣпленный къ лодочкѣ, показываетъ также своимъ положеніемъ, относительно лодочки, поднимается ли шаръ, или опускается (Фиг. 661).

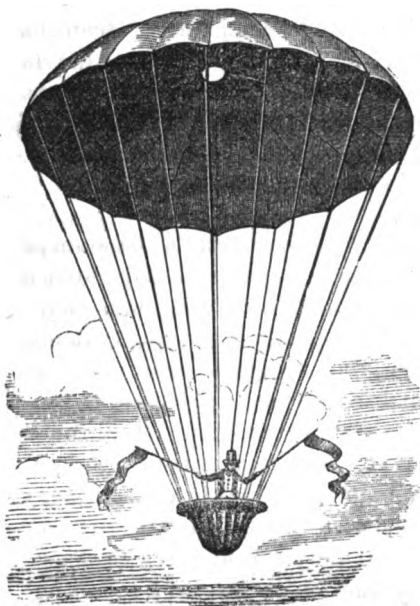
Когда воздухоплаватель хочетъ опуститься, то онъ тянетъ за веревку, которая открываетъ клапанъ вверху шара, тогда водородъ смѣшивается со вѣшнимъ воздухомъ и шаръ опускается. Напротивъ, чтобы ослабить опусканіе, если оно слишкомъ быстро, или чтобы вновь подняться, если шаръ опускается въ опасномъ мѣстѣ, воздухоплаватель опоражниваетъ мѣшки съ пескомъ, которыми онъ долженъ запастись въ достаточномъ количествѣ. Облегченный такимъ образомъ шаръ поднимается вновь, чтобы потомъ опуститься въ болѣе благопріятномъ мѣстѣ. Опусканіе шара облегчаютъ еще привѣшиваніемъ къ лодочкѣ на длинной веревкѣ якоря, когда якорь встрѣчаетъ препятствіе, то шаръ опускается медленно, натягивая веревку.

Аэростаты до сихъ поръ не имѣли важнаго приложенія. Въ сраженіи при Флерюсѣ 1794 г. употребленъ былъ шаръ, удерживаемый на веревкѣ; на немъ былъ поднять человекъ, дававшій посредствомъ сигналовъ вѣсти о движеніяхъ непріятеля. Много поднятій было совершенно съ цѣлю произведенія метеорологическихъ наблюденій въ верхнихъ слояхъ атмосферы. Но аэростаты могутъ принести истинную пользу тогда только, когда найдутъ средство управлять ими, а дѣлаемая до сихъ поръ съ этою цѣлю попытка совершенно не удалась. Въ настоящее время для этого существуетъ только одно средство: подниматься въ атмосферѣ до тѣхъ поръ, пока не встрѣтятся теченіе, болѣе или менѣе соотвѣтствующее тому направленію, которому хотятъ слѣдовать.

Пара-
шютъ.

§ 184. Парашютъ имѣетъ цѣлю доставить воздухоплавателю возможность, оставляя шаръ, ослабить силу паденія собственнаго. Онъ устроивается изъ большаго круглаго куска холста около 5 метровъ въ діаметрѣ, который отъ сопротивленія воздуха раздувается въ видѣ огромнаго зонтика и потому можетъ падать только медленно. Къ его краямъ прикрѣплены веревки, поддерживающія лодку съ воздухоплавателемъ; въ центрѣ парашюта находится отверстіе, сквозь которое выходитъ воздухъ, стѣсненный во время паденія подъ парашютомъ; въ противномъ случаѣ, могутъ происходить сотрясенія, сообщающіяся лодочкѣ и опасныя для воздухоплавателя. На фиг. 661-й представленъ сбоку шара парашютъ сложенный и привязанный къ сѣткѣ посредствомъ веревки, проходящей по блоку въ лодочку. Стоитъ только отпустить эту веревку и парашютъ оставитъ шаръ.

Фиг. 662.



Кажется Блانشаръ придумалъ первый парашютъ, по крайней мѣрѣ онъ первый употребилъ его въ Базелѣ, но употребилъ несчастливо, потому что при опусканіи переломилъ себѣ ногу. Впослѣдствіи многіе воздухоплаватели съ успѣхомъ употребляли парашютъ при опусканіи на землю.

§ 185. Чтобы опредѣлить силу, необходимую для поднятія шара, должно, на Основаніи сказаннаго нами выше, опредѣлить вѣсъ воздуха вытѣсняемаго имъ ^{силой для} ^{поднятія} шара. и вычесть изъ этого вѣса вѣсъ всѣхъ частей его составляющихъ, какъ-то: вѣсъ газа наполняющаго шаръ, вѣсъ оболочки, для которой обыкновенно берутъ тѣту пропитанную лакомъ. Для этого необходимо прежде всего знать объемъ занимаемый шаромъ. Если извѣстны размѣры шара, то для вычисления его объема, предполагая, что шаръ имѣетъ совершенно сферическую форму, прибѣгаютъ къ формулѣ $V = \frac{4\pi R^3}{3}$, которая, какъ извѣстно, представляетъ въ геометріи объемъ шара, у котораго радіусъ R , а π есть отношеніе окружности къ діаметру.

Положимъ, что шаръ, наполненный водородомъ, имѣетъ 11 метровъ. Если бы при самомъ началѣ поднятія газъ, находящійся внутри шара, былъ въ состояніи надуть его совершенно, то на основаніи приведенной формулы, объемъ его долженъ быть равенъ 696 кубическимъ метрамъ. Но какъ вообще при началѣ поднятія, разширеніе заключающагося въ немъ газа достигаетъ только половиннаго развитія, то мы можемъ взять для объема 348 кубическихъ метровъ. Число это показываетъ намъ объемъ воздуха, вытѣсненнаго шаромъ при самомъ началѣ поднятія. Какъ 1 кубическій метръ воздуха вѣситъ 1 кил. 300 гр., то 348 кубич. метровъ будутъ вѣсить 452 килограмма.

Для полученія силы, поднимающей шаръ, должно вычесть изъ этого вѣса вѣсъ заключающагося въ шарѣ водорода, вѣсъ оболочки и другихъ принадлежностей. Какъ вѣсъ водорода въ 14 разъ менѣе противу воздуха, то вѣсъ газа, заключающагося въ шарѣ, будетъ составлять $\frac{1}{14}$ отъ 452 или 32 кил. *. Прибавивъ къ послѣднему вѣсъ оболочки и принадлежностей до 150 кил., должно будетъ изъ 452 вычесть 182.

Значитъ для поднимающей силы остается 270 кил. А какъ для поднятія собственно достаточно 5 кил., то очевидно, что взятаго нами размѣра шаръ можетъ поднять съ собою до 256 кил.

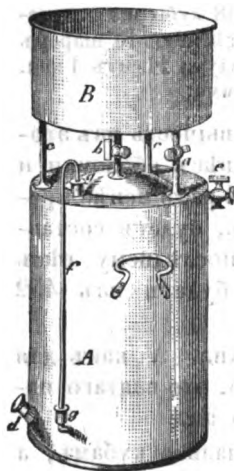
Какъ объемы шаровъ увеличиваются пропорціонально кубамъ, а поверхности пропорціонально квадратамъ ихъ радіусовъ, то очевидно, что поднимающая сила должна увеличиваться вмѣстѣ съ увеличеніемъ радіуса. Такъ напр. если удвоить радіусъ шара, то объемъ его, а слѣдовательно и вѣсъ вытѣсненнаго воздуха, увеличивается въ 8 разъ, между тѣмъ какъ поверхность, а слѣдовательно и вѣсъ оболочки, увеличивается только въ 4 раза.

* Мы предполагали здѣсь химически чистый водородъ; но газъ, которымъ наполняютъ аэростаты, собственно бываетъ около 7 разъ легче воздуха.

Движеніе газовъ,

§ 186. Если газъ запертъ въ сосудѣ, въ которомъ находится отверстіе, то онъ будетъ выходить чрезъ послѣднее въ томъ случаѣ, если давленіе, производимое на него въ сосудѣ, будетъ значительно противу атмосфернаго давленія. Законы истеченія газовъ чрезъ отверстія въ тонкой стѣнѣ, чрезъ короткія приставныя и чрезъ проводныя трубки совершенно подобны тѣмъ, о которыхъ мы говорили при разсмотрѣніи движенія капельножидкихъ тѣлъ. Приборы, устроенные для доставленія постоянного истеченія газовъ, называются *газометрами*.

Въ химическихъ лабораторіяхъ обыкновенно употребляются газометры, представленные на фиг. 663.



А есть цилиндръ изъ лакированной жести, имѣющій отъ 16 — 18 дюймовъ высоты и отъ 10 до 12 дюймовъ въ радиусѣ. На крышкѣ его лежатъ три подпорки, служащія ножками второму цилиндру *B*, открытому сверху и имѣющему только $\frac{1}{2}$ высоты перваго цилиндра. Верхній цилиндръ соединяется съ нижнимъ посредствомъ двухъ трубокъ, изъ которыхъ *b* приходитъ противу самой середины крышки; трубка эта не входитъ во внутренность нижняго цилиндра, но сообщается съ нимъ посредствомъ возвышенія крышки. Вторая соединительная трубка *a* проходитъ почти до самаго дна нижняго цилиндра, что нетрудно замѣтить по ряду точекъ, означающихъ на фигурѣ продолженіе этой трубки внутри цилиндра *A*. Каждая изъ этихъ трубокъ снабжена краномъ, посредствомъ которыхъ по произволу можетъ быть возобновлено и прервано сообщеніе между цилиндрами. У точки *e* находится короткая горизонтальная трубка, которая можетъ быть также запираема краномъ; въ передней части этой трубки сдѣланъ винтообразный наръзъ, позволяющій привинчивать къ ней различныя трубки. Близъ дна нижняго цилиндра находится обращенное кверху отверстіе *d*, которое запирается или винтомъ или просто пробкою.

Когда желаютъ наполнить нижній цилиндръ газомъ, то должно предварительно наполнить его водою. Для этого запирается отверстіе *d*, открываются три крана и послѣ того наливается уже вода въ верхній цилиндръ. Вода переходитъ въ нижній цилиндръ, и когда послѣдній наполнится ею до того, что вода начнетъ течь изъ отверстія *e*, то запираютъ кранъ *e*. Остатокъ воздуха, находящійся еще въ цилиндрѣ, удаляется чрезъ трубку *b*. По наполненіи нижняго цилиндра такимъ образомъ водою, запираютъ краны соединительныхъ трубокъ и въ тоже время удаляютъ прочь отъ отверстія *d* винтъ или пробку. Вода не можетъ вытекать чрезъ послѣднее, потому что въ верхнюю часть ея не могутъ уже проникать пузырьки воздуха. Но если вставить въ *d* газопроводную трубку, идущую отъ сосуда, въ которомъ отдѣляется газъ, то послѣдній, вслѣдствіе упругости и легкости своей, будетъ проникать чрезъ воду и собираться въ верхней части цилиндра *A*, вытѣсняя оттуда воду, ко-

торая принуждена будетъ вытекать изъ отверстія *d*. Этимъ способомъ нижній цилиндръ наполняется все болѣе и болѣе газомъ. До какого мѣста цилиндръ наполняется газомъ можно видѣть въ стеклянной трубкѣ *f*, соединяющейся съ верхнею и нижнею частію сосуда *A*, такъ что вода въ этой трубкѣ стоитъ на одномъ уровнѣ съ высотой воды въ цилиндрѣ.

По наполненіи всего нижняго резервуара водою, запирается отверстие *d* и открывается кранъ соединительной трубки *a*. Если потомъ отворить кранъ *e*, то газъ вытекаетъ изъ этого отверстія со скоростью соотвѣтствующею давленію водянаго столба въ трубкѣ *a*.

Не должно упускать изъ вида, что для этого вода должна находиться въ верхнемъ цилиндрѣ.

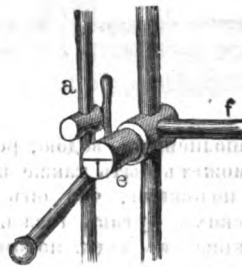
Въ настоящее время устраиваютъ стеклянные газометры, которые позволяютъ видѣть внутреннее устройство ихъ. Понятно, что въ этомъ случаѣ нѣтъ никакой надобности имѣть трубку *f* (фиг. 663). Фиг. 664-я представляетъ

Фиг. 664.



такой газометръ въ $\frac{1}{10}$ натуральной его величины. — Нижний стеклянный сосудъ *A* имѣетъ суженное горло, къ которому прикрѣпляется посредствомъ смазки мѣдный цилиндръ. По срединѣ нѣскольکو возвышенной крышки послѣдняго, на-

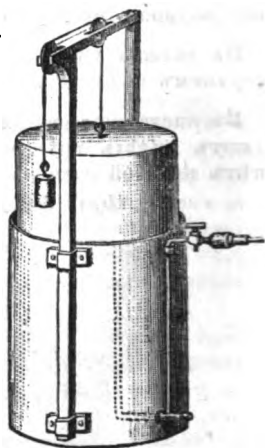
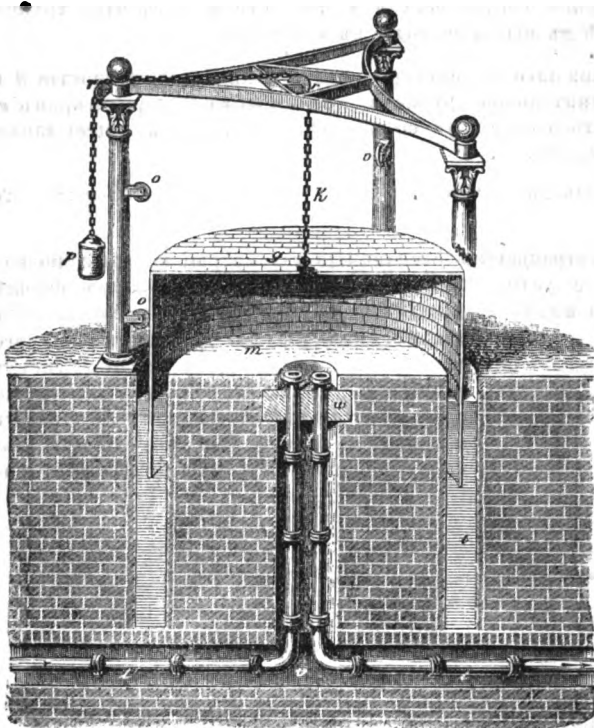
Фиг. 665.



ходится трубка, запирающаяся у *e* краномъ, по открытіи котораго газъ можетъ выходить чрезъ горизонтальную трубку *f*. Тоже самое устройство имѣетъ снизу и верхній цилиндръ, назначаемый для воды. Трубка *a* идетъ отъ дна верхняго цилиндра почти до дна цилиндра *A*; *e* служитъ подпоркою. Для наполненія *A* водою запирается отверстие *d*; отворяются кранъ *e* и кранъ трубки *a*, и выливается потомъ вода въ верхній сосудъ. По наполненіи нижняго сосуда водою, запираются оба крана, отворяется *d* и проводится газъ въ сосудъ *A*, какъ и въ прежнемъ газометрѣ. Когда газометръ наполнится газомъ, запирается *d* и отворяется кранъ *a*, такъ что газъ въ *A* подвергается давленію водянаго столба. Газъ вытекаетъ чрезъ *f* по открытіи крана *e*.

На фиг. 665-й представленъ кранъ *e* въ болѣе увеличенномъ видѣ. Кранъ этотъ просверленъ въ двухъ мѣстахъ, чрезъ что получается возможность, вѣсто выпуска газа по трубкѣ *f*, проводить его по отвѣсному продолженію трубки *e* въ верхній сосудъ, гдѣ этотъ газъ можетъ быть собранъ въ бутылки, въ надбы и въ другіе сосуды.

Большіе газометры, употребляемые при газовомъ освѣщеніи, устраниваются на другомъ началѣ. Закрытый сверху цилиндръ (фиг. 666) погружается въ
Фиг. 666. Фиг. 667.



большой, наполненный водою, резервуаръ, средняя часть котораго, подобно наружной, можетъ быть также выложена камнемъ. Цилиндръ этотъ состоитъ изъ жести: положимъ, что онъ имѣетъ 30 футовъ въ діаметрѣ, заключается 2700 кубическихъ футовъ газа и вѣситъ примѣрно 20,000 фунтовъ. Онъ не опускается книзу въ водѣ, потому что этому опусканію препятствуетъ упругая сила наполняющаго его газа, но взаимнѣе того онъ давитъ всѣмъ своимъ вѣсомъ на этотъ газъ и содержитъ его подъ давленіемъ большимъ противу давленія атмосферы. На основаніи принятаго нами предположенія, этотъ перевѣсъ давленія простирается до 20,000 фунтовъ на круговую поверхность, имѣющую въ радіусѣ 30 футовъ, что соответствуетъ давленію водянаго столба около 5 дюймовъ высоты; поэтому снаружи вода должна быть 5" выше, нежели внутри цилиндра.

Во внутренность этого цилиндра проходитъ снизу трубка, такъ чтобы верхнее открытое ея отверстіе находилось надъ уровнемъ воды; трубка эта раздѣляется на множество отдѣльныхъ трубокъ, ведущихъ къ горѣлкамъ, изъ которыхъ газъ долженъ постоянно устремляться со скоростью, соответствующею давленію въ газометрѣ. Скорость эта постоянна, потому что и при опусканіи газометра въ воду онъ будетъ мало терять въ вѣсѣ, погружаясь только своими боковыми стѣнками. Давленіе, производимое на газъ, измѣняется и уравнивается противовѣсомъ. Для наполненія газометра газомъ запирается краномъ трубка, проводящая газъ къ горѣлкамъ, и отпирается кранъ трубки, соединяющей внутренность газометра съ тѣмъ приборомъ, въ которомъ готовится газъ.

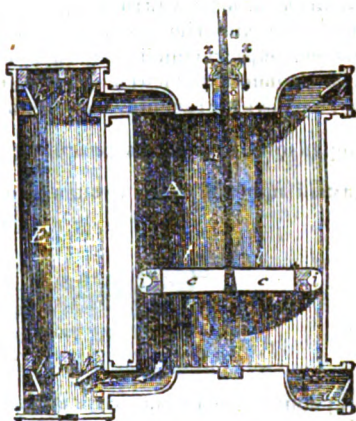
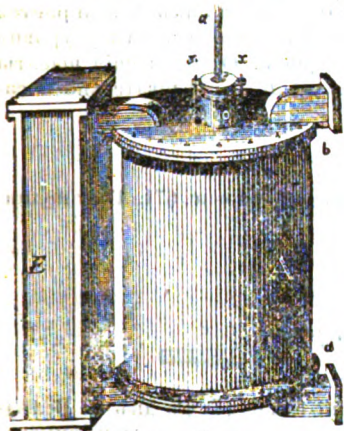
На тѣхъ же началахъ устраниваются и малые газометры, употребляемые въ лабораторіяхъ. На фиг. 667-й представленъ такой приборъ, устройство кото-

раго легко можетъ быть понято каждымъ, на основаніи всего сказаннаго нами о предшествовавшемъ газометрѣ.

§ 187. Для раздуванія огня въ печахъ, употребляемыхъ для плавленія металловъ и при обыкновенныхъ кузнечныхъ производствахъ, употребляются мѣла различныхъ устройствъ. Наиболѣе совершенный и наиболѣе распространенный въ настоящее время есть цилиндрической мѣла, представленный на Фиг. 668 и 669. Внутри чугуннаго цилиндра *A* находится плотно примы-

Фиг. 668.

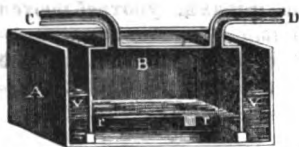
Фиг. 669.



кающій къ стѣнкамъ поршень *c*, который движется внутри цилиндра кверху и книзу, при помощи стержня плотно проходящаго чрезъ отверстіе крышки цилиндра. Чрезъ отверстія *b* и *d* сообщаются съ наружнымъ воздухомъ верхняя и нижняя части цилиндра; отверстія же *g* и *f* соединяютъ внутренность цилиндра съ четырехугольнымъ ящикомъ *E*. У *b* и *d* находятся клапаны, отворяющіеся ко внутренней, а у *g* и *f* ко внѣшней сторонѣ цилиндра. Когда опускается поршень, запирается клапанъ *d* и открывается клапанъ *f*, чрезъ что весь воздухъ, заключающійся въ цилиндрѣ, проходитъ въ ящикъ *E*. Въ слѣдствіе того запирается клапанъ *g* и наружный воздухъ, проникающій чрезъ клапанъ *b*, наполняетъ верхнюю часть цилиндра. При поднятіи поршня запирается клапанъ *b* и весь воздухъ, проникнувшій во время опусканія поршня въ верхнюю часть цилиндра, устремляется теперь оттуда чрезъ клапанъ *g* въ ящикъ *E*. При этомъ запирается клапанъ *f* и воздухъ снаружи устремляется въ нижнюю часть цилиндра чрезъ клапанъ *d*. Сгущенный въ ящикѣ *E* воздухъ проводится къ печи чрезъ трубку, соединяющуюся съ отверстіемъ *m*.

Скорость поршня бываетъ наибольшая въ то время, когда онъ проходитъ чрезъ средину цилиндра; она уменьшается тѣмъ болѣе, чѣмъ ближе подходитъ поршень къ верхнему и къ нижнему предѣлу своего пути. Чрезъ это струя воздуха, доставляемая такимъ цилиндромъ, не можетъ вытекать равномерно чрезъ отверстіе *m*. А какъ для многихъ печей, въ которыхъ производится плавленіе металловъ, необходимо имѣть струю воздуха равномерно вытекающую изъ ящика *E*, то и стараются уравнивать ея движеніе. Этого достигаютъ присоединеніемъ къ ящику *E* вмѣсто одного трехъ цилиндровъ, которыхъ поршни проходятъ разновременно чрезъ средину ихъ путей. Точно также уравниваютъ движеніе воздуха проводомъ его изъ *E* въ большой резервуаръ, котораго объемъ значительно превышаетъ объемъ цилиндра. Чѣмъ болѣе объемъ этого резервуара, называемаго регуляторомъ, тѣмъ меньшее вліяніе будетъ оказывать неправильность движенія поршня на равномерность воздуха, вытекающаго изъ регулятора.

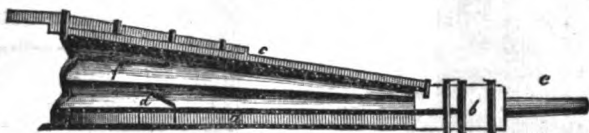
Для регуляторовъ употребляютъ или шары изъ листового желѣза, которыхъ объемъ отъ 40 — 50 разъ значительнѣе противу объема цилиндра, или представленный на фиг. 670-й *водяной регуляторъ*, который имѣетъ устройство подобное газометру, употребляемому для газового освѣщенія.



Въ ящикъ *B*, котораго стѣнки состоятъ изъ плотно приложенныхъ другъ ко другу листовъ желѣза и котораго объемъ значительно превышаетъ объемъ цилиндра, проникаетъ изъ послѣдняго воздухъ чрезъ трубку *D*; воздухъ этотъ выходитъ изъ регулятора чрезъ трубку *C*. Воздухъ въ ящикъ *B* запирается снизу поверхностію воды, которой уровень *rr* лежитъ ниже противу уровня воды *vv*, окружающей ящикъ *B* съ наружной стороны. Отъ различія высоты этихъ уровней зависитъ степень сжатія воздуха въ *B*, а слѣдовательно и самая скорость истеченія его чрезъ трубку *C*.

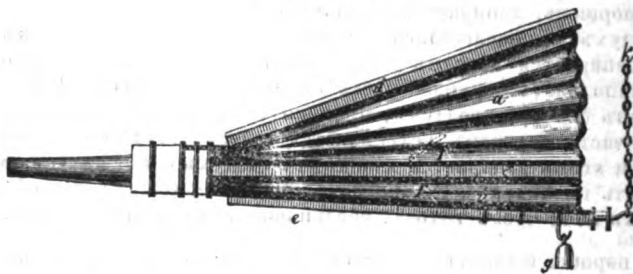
Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію *кузнечныхъ мѣховъ*.

Самый простой видъ кузнечнаго мѣха представленъ на фиг. 671. При подня-



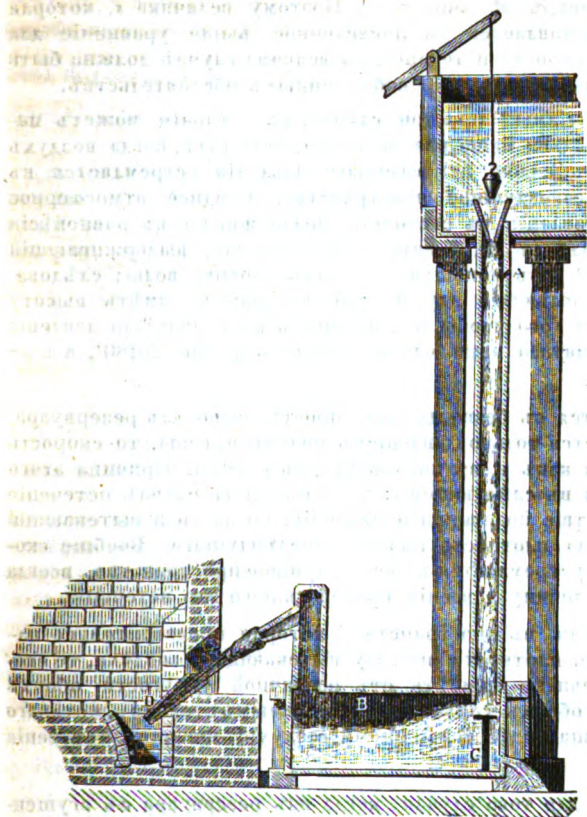
тіи крышки *c* поднимается клапанъ *d*, запирающій отверстіе въ днѣ *a*. Вслѣдствіе того во внутренность мѣха проникаетъ воздухъ, который при опусканіи крышки выходитъ чрезъ отверстіе *e*, потому что во время опусканія крышки затворяется клапанъ *d*. Но посредствомъ такого мѣха нельзя получить непрерывной струи воздуха, что бываетъ необходимо какъ при кузнечныхъ работахъ, такъ и въ лабораторіяхъ; для этой цѣли употребляютъ сложный мѣхъ, представленный на фиг. 672. Когда верхнее отдѣленіе *a* этого

Фиг. 672.



мѣха наполнится воздухомъ, то его выпускаютъ изъ суживающейся оконечности мѣха при помощи гирь, положенныхъ на крышку его и сжимающихъ верхнее отдѣленіе *a*. Воздухъ этотъ не можетъ проходить чрезъ отверстіе *f*, находящееся между *a* и *b*, въ томъ случаѣ, когда онъ въ верхней части *a* сжатъ сильнѣе, нежели въ нижней. Если приподнять нижнюю доску отдѣленія *b*, то воздухъ сожмется въ послѣднемъ, подниметъ клапанъ, запирающій отверстіе *f*, и проникнетъ въ верхнее отдѣленіе *a*. При опусканіи нижней доски запирается отверстіе *f*, а взамѣнъ того открывается отверстіе, сообщающее отдѣленіе *b* съ наружнымъ воздухомъ. Вслѣдствіе того *b* наполняется свѣжимъ воздухомъ, который потомъ снова переходитъ въ верхнее отдѣленіе. Понятно, что вытеканіе воздуха изъ остроконечнаго отверстія мѣха прерывается въ то время, когда *b* снова наполняется воздухомъ.

На фабрикахъ и заводахъ употребляютъ также мѣхъ, представленный на Фиг. 673.



мѣхъ, представленный на Фиг. 673-й. Устройство его основано на всасываніи воздуха частицами воды. Мы знаемъ уже, что если пропустить черезъ какое нибудь отверстіе отвѣсную струю книзу, то она вскорѣ разрывается, причемъ воздухъ естественно долженъ проникать между отдѣльными каплями. — Если струя эта падаетъ въ трубкѣ, то она будетъ вбирать въ себя воздухъ, проникающій черезъ отверстія продѣланные въ трубкѣ. Такимъ образомъ воздухъ будетъ опускаться книзу вмѣстѣ съ падающею струею.

Вода устремляется изъ резервуара по трубкѣ въ ящикъ *B*, закрытый сверху и имѣющій внизу отверстіе для стока воды. Падающая книзу вода всасываетъ воздухъ черезъ отверстія *A* и увлекаетъ его съ силою въ ящикъ *B*, изъ котораго онъ выходитъ черезъ отверстіе *D*.

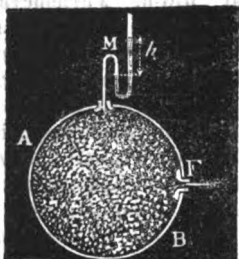
Вмѣсто мѣховъ употребляются также вентиляторы, о которыхъ мы уже говорили въ механическомъ отдѣлѣ нашей книги.

Ознакомившись съ приборами, употребляемыми для истечения газовъ, перейдемъ къ разсмотрѣнію самыхъ законовъ ихъ истеченія.

§ 188. Скорость истеченія газовъ совершается по тѣмъ же самымъ законамъ какъ и истеченіе жидкостей, т. е. что скорость истеченія $v = \sqrt{2gs}$, гдѣ s означаетъ высоту давленія. Последняя величина не можетъ быть опредѣлена здѣсь наблюденіемъ какъ для капельножидкихъ тѣлъ. Для жидкихъ тѣлъ s означаетъ высоту столба жидкости, давленіе котораго производитъ истеченіе и который одинаковаго состава и одинаковой плотности въ вытекающую жидкостію.

Газы же, заключающіеся въ сосудѣ, никогда не сдвигаются столбомъ воздуха равномѣрной плотности и опредѣленной высоты, потому что если бы газъ былъ сдвигаемъ только давленіемъ атмосферы, то и въ этомъ случаѣ мы не могли бы взять s прямо изъ наблюденій, потому что воздушный столбъ, производящій это давленіе не можетъ имѣть ни равномѣрной плотности, ни измѣримой высоты.

Фиг. 674.



столбъ воды въ 34 фута или въ 10, 4 метра. Воздухъ же, выдерживающій это давленіе, имѣетъ въ 770 разъ меньшую плотность противу воды; слѣдовательно воздушный столбъ, имѣющій эту плотность, долженъ имѣть высоту $770 \times 34 = 26180$ футовъ, для того чтобы поддерживать въ равновѣсіи давленіе атмосферы; поэтому для взятаго нами случая z будетъ равно 26180, а $v = \sqrt{2 \cdot 34 \cdot 2618}$.

Если воздухъ устремляется въ безвоздушное пространство изъ резервуара, въ которомъ онъ сдвигается только давленіемъ полуатмосферы, то скорость истеченія будетъ одинакова какъ и въ предыдущемъ случаѣ. Причина этого обстоятельства заключается въ слѣдующемъ: хотя въ этомъ случаѣ истеченіе происходитъ только вслѣдствіе половиннаго давленія, но за то и вытекающій воздухъ имѣетъ половинную плотность противу предыдущаго. Вообще скорость, съ которою воздухъ устремляется въ безвоздушное пространство, всегда одинакова, не взирая на величину давленія производящаго это истеченіе.

Если истеченіе происходитъ въ пространствѣ, которое предварительно наполнено воздухомъ меньшей плотности противу вытекающаго воздуха, то скорость истеченія будетъ очевидно зависѣть отъ различной упругости обоихъ газовъ. Назначимъ различіе обоихъ упругостей воздушнымъ столбомъ, котораго высота A , а плотность равна болѣе сгущенному воздуху; скорость истеченія будетъ $v = \sqrt{2gH}$.

Опредѣлимъ величину H для того случая, когда изъ резервуара съ сгущеннымъ воздухомъ послѣдній переходитъ въ пространство наполненное воздухомъ, сохраняющимъ обыкновенное атмосферное давленіе. Положимъ, что сгущеніе воздуха въ резервуарѣ измѣрено водянымъ столбомъ, котораго высота равна A . Эта высота A выражаетъ различіе упругостей внѣшняго и внутренняго воздуха, и надо только опредѣлить, какую высоту долженъ имѣть воздушный столбъ, одинаковой плотности съ воздухомъ въ резервуарѣ, для поддержанія въ равновѣсіи водянаго столба, имѣющаго высоту A . Если бы мы имѣли въ настоящемъ случаѣ воздухъ со среднимъ атмосфернымъ давленіемъ, то вмѣсто водянаго столба высоты A , мы могли бы взять воздушный столбъ высотой въ 770 A . Для удержанія въ равновѣсіи того же самаго водянаго столба болѣе плотнымъ воздухомъ, мы можемъ уже имѣть воздушный столбъ меньшей высоты и очевидно тѣмъ меньшей, чѣмъ болѣе плотность его.

Атмосферный воздухъ средняго давленія, будучи въ 770 разъ легче воды, сжимается водянымъ столбомъ въ 34 фута или 10,4 метра высоты, которую мы означимъ чрезъ b . Воздухъ же взятый нами резервуарѣ выдерживаетъ давленіе водянаго столба, имѣющаго высоту $b' + A$ въ томъ случаѣ, когда b' выражаетъ высоту водянаго столба, приспособленнаго состоянію барометра. Поэтому плотность воздуха средняго давленія относится къ плотности воздуха въ резервуарѣ какъ $b : b' + A$; слѣдовательно воздухъ въ резервуарѣ въ $\frac{b' + A}{b}$ разъ плотнѣе воздуха средняго атмосфернаго давленія; вмѣсто столба болѣе рѣдкаго воздуха, высотой въ 770 A , мы получимъ столбъ плот-

нѣйшаго воздуха высотой въ $\frac{770 \text{ л. в.}}{b' + \lambda}$. Эта-то послѣдняя величина и должна быть вставлена вмѣсто H въ уравненіе $v = \sqrt{2gH}$, потому что воздушный столбъ высотой въ $\frac{770 \text{ л. в.}}{b' + \lambda}$ и плотность воздуха въ резервуарѣ, будутъ одинаково поддерживать въ равновѣсіи водяной столбъ высоты λ . Значитъ, для взятаго нами случая, скорость истеченія будетъ $v = \sqrt{2g \frac{770 \text{ л. в.}}{b' + \lambda}}$.

Для полученія же количества вытекающаго воздуха, надобно помножить разрывъ отверстія f на величину v , предполагая при этомъ, что въ каждой точкѣ разрыва вытекающія части воздуха проходятъ съ этою скоростью. Поэтому въ t секундъ количество вытекающаго воздуха будетъ $M = f \cdot t \cdot \sqrt{2g \frac{770 \text{ л. в.}}{b' + \lambda}}$.

Но опытъ показываетъ, точно также какъ и у жидкихъ тѣлъ, что дѣйствительный расходъ истеченія воздуха бываетъ менѣе теоретическаго; такъ что для полученія дѣйствительнаго расхода должно помножить теоретическій расходъ на опредѣленный коэффициентъ μ .

Для воды этотъ коэффициентъ, равный 0,64, почти не зависитъ отъ высоты давленія, потому что онъ возрастаетъ весьма незначительно по мѣрѣ уменьшенія высоты давленія. Для газовъ же величина его весьма переменна. По изслѣдованіямъ Шмидта, который первый произвелъ точныя опредѣленія по этому предмету, μ при высотѣ воды въ 3 фута равно 0,52. По опытамъ же Обюссона величина μ между высотами давленій отъ 0,1 до 0,5 футовъ равна 0,65. Эти различія не должно приписывать ошибкамъ въ наблюденіяхъ, которыя были произведены со всевозможными точностями, а должно искать причину ихъ въ самой измѣняемости величины μ .

Коха произвелъ весьма тщательный рядъ опытовъ, изъ которыхъ оказалось, что когда высоты давленія уменьшаются отъ 6 футовъ до 0,15 футовъ, то величина μ возрастаетъ отъ 0,5 до 0,6. Буфъ же показалъ, что когда въ уравненіи $\mu = 0,626 (1 - 0,789 \sqrt{\lambda})$ подставить вмѣсто λ величину соответствующую высотѣ давленія, то величины, вычисленныя изъ этой формулы, подходятъ весьма близко къ наблюденіямъ Коха, такъ что эта формула можетъ быть принята за эмпирическій законъ для измѣненія коэффициента истеченія μ . Опыты, произведенные Буфомъ впоследствии при слабыхъ давленіяхъ, подтвердили справедливость этого заключенія.

Различіе между теоретическимъ и дѣйствительнымъ расходомъ по всей вѣроятности происходитъ отъ одной и той же причины какъ и у жидкихъ тѣлъ, и наводитъ на предположеніе, что при истеченіи газовъ должно быть также сжатіе струи, которое не можетъ быть наблюдаемо на самомъ дѣлѣ.

Цилиндрическія, точно такъ какъ и коническія приставныя трубки должны увеличивать количество вытекающаго воздуха.

Перейдемъ теперь къ рассмотрѣнію скорости истеченія различныхъ газовъ при разныхъ давленіяхъ.

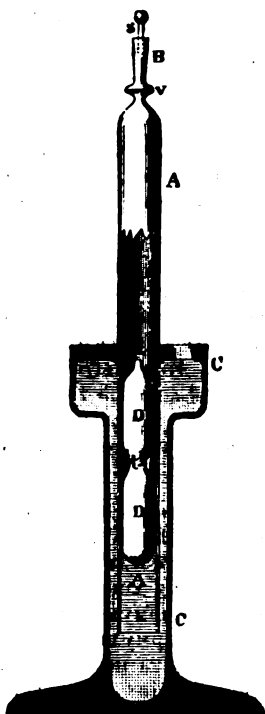
Если въ резервуарѣ вмѣсто воздуха находится другой газъ, то очевидно, что въ уравненіи $v = \sqrt{2gH}$ вмѣсто H должно подставить другую величину вмѣсто величины опредѣленной для атмосфернаго воздуха. Величина H для газовъ измѣняется въ обратномъ отношеніи съ плотностію ихъ; для газа, котораго плотность въ n разъ болѣе плотности атмосфернаго воздуха, величина H будетъ въ n разъ менѣе. Изъ этого слѣдуетъ, что при неизмѣнности прочихъ обстоятельствъ скорости истеченія газовъ находятся въ обратномъ отношеніи квадратныхъ корней изъ ихъ плотностей. Поэтому при равномъ дав-

леніи напр. углекислота будетъ вытекать въ $\sqrt{1,5} = 1,2$ раза медленнѣе противу атмосфернаго воздуха, потому что углекислота въ 1,5 раза плотнѣе послѣдняго.

На этомъ основаніи плотность газа обратно пропорціональна квадрату скорости истеченія и прямо пропорціональна квадрату времени, необходимому для истеченія опредѣленнаго объема газа.

Бунзенъ придумалъ на этомъ основаніи весьма остроумный способъ для опредѣленія плотности газовъ. Для принятія изслѣдуемаго газа служитъ стеклянная трубка *A* (фиг. 675), имѣющая въ длину около

Фиг. 675.



40 сантиметровъ. Въ верхней части своей она суживается и оканчивается трубочкою *B*. Въ утолщеніи *c*, соединяющемъ трубочку *B* съ трубкою *A*, припаяна тонкая платиновая пластинка, снабженная узкимъ отверстіемъ, чрезъ которое газъ можетъ выходить изъ *A* въ то время, когда трубочка *B* не закупорена плотно стеклянною пробкою *z*. Снизу газъ запирается ртутью, которая находится въ широкомъ цилиндрѣ, уширяющемся въ верхней своей части. По закрытіи горла *B* стеклянною трубкою *z*, стеклянная трубка *A* погружается въ ртуть до тѣхъ поръ, пока верхній конецъ *r* стекляннаго поплазка *D* не будетъ находиться на одномъ уровнѣ въ сосудѣ *C*. Уровень этотъ наблюдается посредствомъ зрительной трубки, расположенной въ нѣсколькихъ шагахъ отъ прибора. Трубка *A* по погруженіи своемъ въ ртуть до указаннаго нами предѣла, удерживается въ этомъ положеніи посредствомъ особеннаго устройства. Потомъ вынимается пробка *z*; газъ начинаетъ выходить и поплавокъ *D* поднимается вверхъ. Тогда опредѣляютъ время, которое употребляетъ поплавокъ на поднятіе свое до тѣхъ поръ, пока черта *t*, проведенная въ суженной части его, не совмѣстится съ уровнемъ ртути въ сосудѣ *C*. Если однимъ и тѣмъ же приборомъ произвести сразу два подобныя опредѣленія надъ двумя различными газами, то найдемъ, что удѣльные вѣсы ихъ будутъ относиться между собою какъ квадраты наблюдаемыхъ временъ истеченія. Для объясненія сказаннаго нами могутъ служить слѣдующія, произведенныя Бунзеномъ, измѣренія. Для поднятія поплавка *D* на высоту *rt* было необходимо:

для атмосфернаго воздуха

117,9 секундъ
117 "
117,9 "

117,6 секундъ

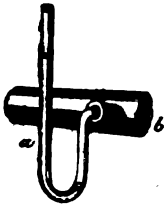
для ударнаго воздуха

75,4 секундъ
75,8 "
75,6 "

75,6 секундъ.

Для полученія точнѣйшихъ результатовъ были произведены многократные опыты надъ каждымъ газомъ. Изъ различныхъ результатовъ была взята средняя величина. Изъ этихъ измѣреній, при которыхъ за единицу былъ взятъ воздухъ, удѣльный вѣсъ ударнаго воздуха $\frac{75,6^2}{117,6^2} = 0,413$ соответствовалъ удѣльному вѣсу этого газа, вычисленному изъ удѣльныхъ вѣсовъ кислорода и водорода.

§ 189. На практикѣ опредѣленіе скорости истеченія воздуха изъ обыкновенныхъ кузнечныхъ мѣховъ производится

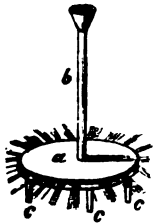


Фиг. 676. посредствомъ стеклянной трубки *a* (Фиг. 676), на поверхности которой проведенъ чернымъ лакомъ дѣленіе. Трубка эта вставляется посредствомъ пробки въ горло мѣха съ боку и наливается водою, по положенію которой, относительно дѣлений, можно судить о количествѣ выходящаго изъ мѣха воздуха. Если вода остается на одной высотѣ, то значитъ, что воздухъ устремляется равномерно изъ мѣха.

§ 190. Перейдемъ теперь къ рассмотрѣнію боковаго давленія, происходящаго при истеченіи газовъ.

Боковое давленіе.

Возьмемъ круглую пластинку *a* (Фиг. 677) съ просверленнымъ по Фиг. 677. срединѣ отверстіемъ, въ которомъ утверждается открытая съ обоихъ концовъ трубка *b*. Къ пластинкѣ прикрѣплены три подставки *c c c*, которыя просовываются черезъ три соответственныхъ отверстія другой пластинки, лежащей непосредственно подъ *a*. Последняя пластинка, предоставленная самой себѣ, упадетъ книзу; но если дуть въ трубку, то обѣ пластинки удерживаются въ близкомъ разстояніи между собою, пропуская воздухъ въ стороны, тогда какъ, по видимому, слѣдовало бы ожидать противнаго. Причина этого явленія заключается въ слѣдующемъ. Хотя воздухъ и сгущается въ трубкѣ *b*, но по удаленіи своемъ въ стороны, приходитъ тотчасъ же въ разрѣженное состояніе; вслѣдствіе чего атмосферный воздухъ оказываетъ давленіе снизу, большее противу давленія разрѣженнаго воздуха съ верхней стороны.



На основаніи этого опыта не трудно понять, почему послѣ истеченія воздуха чрезъ всякое отверстіе, *противуположная ему сторона молочаетъ толчокъ*. На этомъ основано устройство ракетъ. Последнія состоятъ изъ цилиндрическихъ трубокъ, закрытыхъ съ одного конца. Если зажечь составъ въ ракетѣ и опрокинуть открытый конецъ книзу, то образующіеся газы, вытекающіе изъ послѣдняго, поднимаютъ ракету вверхъ. При выстрѣлахъ изъ ружей и орудій, какъ напр. пушекъ, мортиръ и др., представляется тоже явленіе.

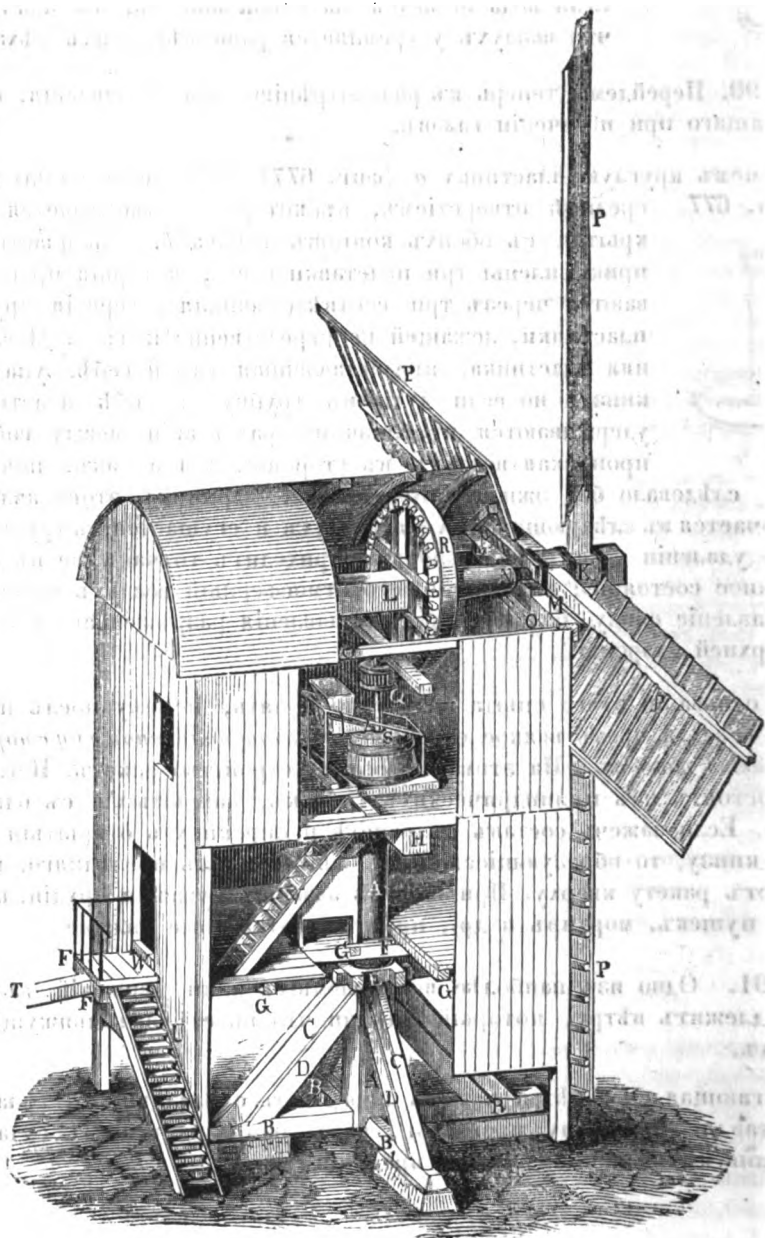
§ 191. Одно изъ наиболѣе встрѣчаемыхъ нами движеній газовъ принадлежитъ вѣтру, который есть ни что иное, какъ движущійся воздухъ.

Вѣтреница.

Двигающая сила вѣтра можетъ передаваться различнымъ тѣламъ, представляющимъ ему преграды, какъ напр. паруснымъ судамъ, вѣтреннымъ мельницамъ и др. предметамъ.

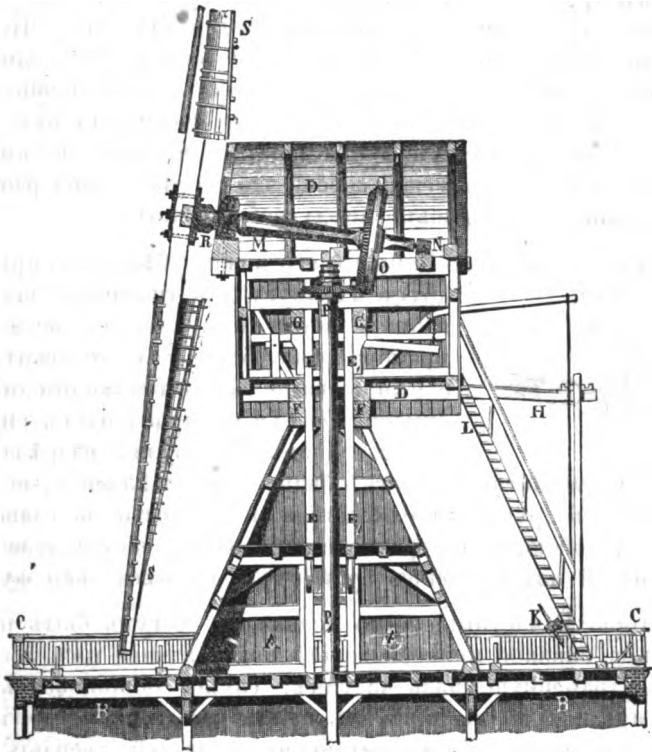
Главнѣйшее устройство частей вѣтренныхъ мельницъ представлено на фиг. 678, изображающей такъ называемую *клемскую мельницу*, горизонтальная ось *KL* обыкновенно располагается по направленію вѣтра; для этого поворачиваютъ всю мельницу посредствомъ рычага *T*. Къ оси прикрѣплены четыре крестообразно расположенные бруса *P, P, P, P*, составляющіе основу для крыльевъ. Если бы плоскость крыльевъ была перпендикулярна къ направленію оси *KL*, т. е. перпендикулярна къ направленію вѣтра, то очевидно, что дѣйствіе послѣдняго ограничивалось бы только однимъ давленіемъ; при параллельности плоскости крыльевъ къ оси *KL*, они получали бы весьма слабое дѣйствіе вѣтра

Фиг. 678.



и по прежнему не въ состояніи бы были производить вращенія вала. Последнее может происходить только въ томъ случаѣ, если крылья будутъ имѣть наклонное положеніе къ KL . Ось при своемъ вращеніи приводитъ въ движеніе соединенное съ нею колесо L , которое посредствомъ колеса Q производитъ вращеніе мельничнаго камня S . Дальнѣйшее дѣйствіе мельницы можетъ быть объяснено легко послѣ того, что мы сказали объ этомъ предметѣ при водяныхъ мельницахъ.

Фиг. 679.



Какъ изъ наблюденій извѣстно, что вѣтеръ дуетъ подлѣ извѣстнымъ угломъ къ поверхности земли, то и самой оси выгодноѣ давать наклонное положеніе, какъ это видно изъ фиг. 679, представляющей такъ называемую голландскую мельницу.

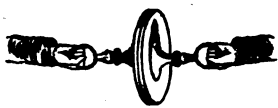
Притяженіе на бесконечно маломъ разстояніи.

§ 192. Желая отдѣлить частицы какого нибудь тѣла другъ отъ друга, мы встрѣчаемъ обыкновенно большее или меньшее сопротивленіе нашимъ усиліямъ. Это-то сопротивленіе и убѣждаетъ насъ въ существованіи между частицами тѣлъ особенной силы, удерживающей частицы во взаимной связи, и называемой, какъ мы уже говорили въ § 10, *сцепленіемъ*. Поманіе
о сцеп-
леніи.

Часть I.

По ближайшемъ разсмотрѣніи мы убѣдимся, что особенное свойство этой силы заключается въ дѣйствіи ея на самомъ *незначительномъ* или, лучше сказать, *безконечно маломъ* разстояніи, которое не можетъ быть намѣрено ни нашими чувствами, ни имѣющимися у насъ средствами. И въ самомъ дѣлѣ, разломивъ кусокъ дерева, металла или стекла и приложивъ потомъ со всею тщательностію наложимъ другъ къ другу, мы никогда не будемъ въ состояніи сблизить ихъ на такое разстояніе, которое необходимо для того, чтобы частицы могли притягиваться съ достаточною силою. Но если раздѣленные поверхности выровнять и отполировать, такъ чтобы онѣ въ точности приставали другъ къ другу, то по наложеніи ихъ одну на другую и по сдавливаніи ихъ, прикасающіяся частицы весьма часто сцѣпляются такъ крѣпко между собою, что скорѣе можно разломить, чѣмъ разъединить сближенные между собою части.

Въ справедливости этого лучше всего можно убѣдиться, приложивъ
 Фиг. 680.



другъ къ другу двѣ тщательно выполнированные доски изъ стекла, металла или мрамора (Фиг. 680). Если положить между этими досками самый тончайшій листочекъ бумаги, то уже не произойдетъ сцѣпленія досокъ. Свинцовая пуля, разрѣзанная на двѣ части, представляетъ также обнаруженіе сцѣпленія, если приложить другъ къ другу разъединенныя поверхности и сдавить ихъ крѣпко между собою, то для разъединенія этихъ частей должно приложить къ одной изъ половинъ пули грузъ въ нѣсколько фунтовъ.

Тѣла, которыхъ частицы легко подвижны, могутъ быть приведены въ весьма близкое прикосновеніе, позволяющее имъ легко возстановлять утраченную связь частицъ: самый обыкновенный примѣръ того представляютъ намъ двѣ капли воды. Свойствомъ этимъ пользуются для соединенія разъединенныхъ частей твердыхъ тѣлъ; для этого во многихъ случаяхъ приводятъ твердыя тѣла въ мягкое состояніе и потомъ подвергаютъ ихъ сильному давленію; такимъ образомъ сцѣпляются между собою кусочки воску, точно также куски желѣза или платины, приводятся нагрѣваніемъ въ мягкое состояніе и потомъ *свариваются* или ударами молотовъ, или пропусканіемъ чрезъ вальки. Тамъ же, гдѣ нельзя употреблять подобнаго способа, т. е. прибѣгать предварительно къ размягченію тѣлъ, помѣщаютъ между изломами слой какой нибудь жидкости, которая по удобовѣжливости своей занимаетъ пустые промежутки между частицами изломанныхъ тѣлъ и по отверденіи своемъ возстановляетъ связь въ изломахъ. На этомъ основано спаиваніе металловъ, склеиваніе дерева и т. п. производства. Для спаиванія изломовъ металла впускаютъ между разъединенными частями слой другого, легкоплавкаго металла, который по охлажденіи своемъ сцѣпляетъ ихъ снова. Такимъ образомъ латунь сцѣпляется оловомъ, а серебро — смѣсью изъ серебра и мѣди.

Мы сказали, что сила сцѣпленія дѣйствуетъ на безконечно маломъ равстояніи, но не должно подъ этимъ подразумѣвать непосредственнаго прикосновенія частицъ. Явленія упругости показываютъ намъ, что сила сцѣпленія сохраняется между частицами и на нѣкоторомъ равстояніи, имѣющемъ для каждаго тѣла свой предѣлъ, который бываетъ болѣе для такъ называемыхъ упругихъ и менѣе для такъ называемыхъ неупругихъ тѣлъ. Различныя явленія, представляемыя силою сцѣпленія, приводятъ къ предположенію, что сфера дѣйствія этой силы для каждой частицы должна быть гораздо болѣе размѣровъ послѣдней, такъ что дѣйствіе одной частицы простирается на цѣлую группу сосѣднихъ частицъ.

Что же касается до напряженія, съ которымъ дѣйствуетъ сила сцѣпленія въ каждой частицѣ, то мы можемъ сказать только, что оно не слѣдуетъ закону квадратовъ равстояній, потому что при самомъ ничтожномъ, нечувствительномъ равстояніи, дѣйствіе сцѣпленія становится вовсе незамѣтнымъ.

Говоря о силѣ сцѣпленія, мы не должны упускать изъ виду, что эта сила въ каждомъ тѣлѣ дѣйствуетъ вмѣстѣ съ отталкивающею силою, стремящейся къ разъединенію частицъ, и что отъ взаимнаго отношенія этихъ силъ — сцѣпленія и отталкиванія — зависитъ самое различіе состояній скопленія тѣлъ.

Какъ твердыя тѣла при обыкновенномъ состояніи не измѣняютъ ни формы, ни объема, то и заключаютъ, что въ твердыхъ тѣлахъ, при обыкновенномъ расположеніи частицъ, обѣ эти силы должны находиться въ равновѣсіи. Съ допущеніемъ же этого предположенія невольно возникаетъ вопросъ: почему же частицы, такъ называемыхъ, твердыхъ тѣлъ противятся разъединяющей ихъ внѣшней силѣ болѣе частицъ тѣлъ другихъ состояній скопленія. Для объясненія этого противорѣчія приписываютъ трудность разъединенія частицъ твердыхъ тѣлъ тому, что частицы ихъ притягиваются между собою по различнымъ направленіямъ съ различною силою, которая зависитъ по всей вѣроятности какъ отъ формы, такъ и отъ взаимнаго равстоянія частицъ. Въ пользу этого предположенія говорятъ явленія кристаллизаціи.

§ 193. Одно изъ важнѣйшихъ свойствъ силы сцѣпленія заклю- Кри-
сталли-
зація.
чается въ томъ, что она въ нѣкоторыхъ случаяхъ, при переходѣ тѣлъ изъ жидкаго состоянія въ твердое, стремится къ правильному размѣщенію другъ возлѣ друга малѣйшихъ частицъ матеріи, и вслѣдствіе того, получаютъ тѣла, ограниченныя правильными боками, ребрами и углами. Такая форма тѣлъ называется *кристаллами*, а самое явленіе *кристаллизаціею*.

Слово кристаллъ имѣетъ греческое начало (*κρυσ*) и было первоначально употреблено для означенія льда, а потомъ прозрачнаго окаменѣлаго тѣла (*κρυσταλλος*); этимъ словомъ называли также горный хрусталь; древніе принимали его за сильно замерзнувшій ледъ, который по ихъ мнѣнію не могъ уже растаять. Позже стали называть

кристаллами прозрачныя неорганическія тѣла, правильно образованная, отъ чего произошло даже извѣстное выраженіе *чистъ какъ кристаллъ*; въ настоящее время слово кристаллъ употребляется, какъ мы сказали выше, въ гораздо обширнѣйшемъ смыслѣ и равно принимается какъ для прозрачныхъ, такъ и непрозрачныхъ симметрическихъ тѣлъ, обладающихъ правильными формами.

Въ природѣ мы встрѣчаемъ множество готовыхъ кристалловъ, примѣромъ которыхъ могутъ служить наиболѣе встрѣчаемыя и употребительнѣйшія тѣла: поваренная соль, представляющаяся въ видѣ кубовъ, квасцы въ видѣ октаэдровъ и многія другія. Но тѣже самыя тѣла могутъ быть получены, посредствомъ различныхъ процессовъ, искусственнымъ образомъ. Изслѣдуя образованіе искусственныхъ кристалловъ, мы можемъ вывести общіе законы, по которымъ совершается кристаллизація, непосредственно происходящая вслѣдствіе силы сдѣвленія.

Опытъ показываетъ намъ, что сила сдѣвленія для каждаго тѣла при извѣстныхъ обстоятельствахъ, дѣйствуетъ одинаковымъ образомъ или, говоря другими словами, по неизмѣннымъ законамъ. — Понятно, что вслѣдствіе того частицы, покоряющіяся силѣ сдѣвленія, должны располагаться при извѣстныхъ условіяхъ одинаковымъ образомъ. Мы же знаемъ, что дѣйствіе частичныхъ силъ совершается на безконечно маломъ разстояніи, слѣдовательно, для того, чтобы частицы могли покоряться силѣ сдѣвленія, онѣ должны находиться въ возможно близкомъ прикосновеніи между собою. — Поэтому, чтобы разъединенныя частицы какого нибудь вещества могли безпрепятственно покоряться силѣ сдѣвленія, необходимы два слѣдующія условія :

- 1) онѣ должны быть легко подвижны, и
- 2) при слѣдованіи дѣйствию частичныхъ силъ не должны встрѣчать никакихъ препятствій.

Свободною подвижностію, какъ мы уже знаемъ, обладаютъ тѣла только въ жидкомъ состояніи. Поэтому частицы твердаго тѣла могутъ принимать кристаллическое состояніе удобнѣе всего въ томъ случаѣ, если какимъ нибудь образомъ можно привести ихъ въ жидкое состояніе. Приведеніе въ жидкое состояніе достигается или чрезъ раствореніе въ какой нибудь капельной жидкости, которую называютъ въ этомъ случаѣ *растворяющимъ средствомъ*, или чрезъ нагрѣваніе; въ послѣднемъ случаѣ бываетъ необходимо или расплавить тѣло, какъ напр. сѣру и металлы, или наконецъ привести тѣло въ газообразное состояніе, какъ напр. іодъ.

Кристаллизованіе изъ растворовъ извѣстно подъ названіемъ кристаллизованія *мокрымъ путемъ*, въ отличіе отъ кристаллизованія *сухимъ путемъ*, имѣющимъ мѣсто при переходѣ изъ расплавленнаго состоянія въ твердое. Если же для кристаллизованія тѣло превращается въ пары, какъ напр. іодъ, то этотъ способъ называется *кристаллизованіемъ возгонкою*.

Образованіе кристалловъ происходитъ при самомъ переходѣ изъ жидкаго въ твердое состояніе и только тогда именно, когда будетъ устранена причина противящаяся сдѣленію; при чемъ опытъ показываетъ слѣдующее замѣчательное свойство, что кристаллы *вообще* образуются въ томъ случаѣ, когда тѣла *прямо* переходятъ изъ жидкаго въ твердое состояніе не густѣя.

Устраненіе причины, противящейся сдѣленію, достигается различными образами.

При кристаллизаціи мокрымъ путемъ вещество, въ которомъ растворено тѣло, удаляется:

1) или чрезъ выпариваніе, или чрезъ испареніе на воздухѣ; такимъ образомъ получаютъ изъ растворовъ кристаллы поваренной соли и квасцовъ.

2) Растворенныя вещества переходятъ въ кристаллическое состояніе въ томъ случаѣ, если отнимать у нихъ медленно растворяющее вещество; для удовлетворенія этому условію, прибавляютъ къ раствору новаго вещества, образующаго съ растворяющимъ веществомъ такое соединеніе, въ которомъ не можетъ уже раствориться выдѣляемое тѣло; такъ напр. селитра кристаллизуется въ растворѣ воды, къ которому прилито спирту; камфора, растворенная въ винномъ спиртѣ, кристаллизуется, если прилить къ раствору воды.

3) Растворенное вещество можетъ кристаллизоваться въ томъ случаѣ, если удалять изъ раствора медленно растворяющее вещество посредствомъ гальваническаго тока, о которомъ мы будемъ говорить въ статьѣ о гальанизмѣ.

При кристаллизаціи сухимъ путемъ прибѣгаютъ къ помощи *охлажденія*, такъ напр. получаютъ кристаллы сѣры, если охлаждать сплавленную массу до тѣхъ поръ, пока не образуется на поверхности ея кора; если пробить эту кору и вылить прочь находящуюся подъ ней жидкость, то на нижней, обращенной къ сосуду, сторонѣ коры получается большое количество мелкихъ кристалловъ сѣры. Подобнымъ же образомъ поступаютъ при кристаллизованіи металловъ. Если не вылить жидкость, находящуюся подъ корою, то получаютъ только весьма малые кристаллы, потому что кристаллы, образовавшіеся въ этомъ случаѣ при самомъ началѣ застыванія, препятствуютъ свободному движенію частицъ; полученные такимъ образомъ мелкіе кристаллы осаждаются въ промежуткахъ между прежде образовавшимися кристаллами и дѣлаютъ незамѣтными ихъ кристаллическія формы.

Переходъ воды въ ледъ происходитъ, какъ извѣстно, отъ уменьшенія теплоты; при чемъ на поверхности воды показывается множество тонкихъ, правильно сложенныхъ иглъ, которыя располагаются другъ къ другу подъ углами въ 60° или 120°; это замѣчается на стеклѣ, покрытомъ паромъ и преимущественно на хлопьяхъ снѣга, которые падаютъ отдѣльно при тихой погодѣ на какое нибудь черное тѣло, котораго температура ниже 0° Р.

Вещества, растворяющіяся въ нагрѣтой жидкости въ большемъ количествѣ нежели въ холодной, кристаллизуются, когда дать охладить-

ся насыщенному ими теплomu раствору; такъ получаютъ кристаллы селитры, если растворить ее въ кипяткѣ въ такомъ количествѣ, которое можетъ въ немъ раствориться, и если потомъ охладить медленно растворъ.

Изложивъ главнѣйшія средства для образованія кристалловъ, перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію тѣхъ предосторожностей, которыя должны быть наблюдаемы при каждомъ изъ нихъ.

Какимъ бы образомъ не совершался переходъ частицъ въ твердое состояніе, для полученія большихъ кристалловъ необходимо, чтобы переходъ этотъ не совершался быстро, а какъ можно медленно. При быстромъ охлажденіи или выпариваніи образуется много твердыхъ частицъ за разъ; онѣ мѣшаютъ другъ другу слѣдовать влеченію силы частичнаго притяженія, почему и образуются только весьма малые или несовершенные кристаллы, такъ что симметрическій видъ мелкихъ частицъ можетъ быть обнаруженъ только при помощи сильно увеличеннаго стекла. Самые совершенные кристаллы получаютъ въ томъ случаѣ, если предоставленный самому себѣ растворъ испаряется медленно, въ продолженіи нѣсколькихъ недѣль, и притомъ въ совершенно спокойномъ состояніи.

Есть много тѣлъ, которыя при переходѣ въ твердый видъ, не кристаллизуются, но представляются въ безформенномъ (аморфномъ) видѣ; при чемъ получаютъ тѣло обладающее свойствомъ стекла, которое даетъ въ изломѣ кривыя, неправильныя поверхности; въ этомъ случаѣ говорятъ, что тѣла представляютъ *раковистый изломъ*. Къ числу такихъ тѣлъ относятъ стекло и многія смолы.

Средства, способствующія охлажденію или испаренію, ускоряютъ также и кристаллизованіе; какъ напр. мѣшаніе, движеніе воздуха и всякія другія движенія. Если жидкость близка къ образованію кристалловъ, то часто слабый толчокъ можетъ служить поводомъ къ началу образованія кристалловъ. Если въ растворъ, близкій къ кристаллизованію, положить готовые кристаллы или какія нибудь другія твердыя тѣла, то они образуютъ центръ притяженія для находящихся въ жидкости растворенныхъ частицъ и способствуютъ также образованію кристалловъ.

Если въ насыщенный растворъ поваренной соли положить готовый кристаллъ этой соли, то онъ тотчасъ начинаетъ увеличиваться, если бы даже до того не было замѣтно кристаллизованія; онъ можетъ даже значительно увеличиться, если будемъ держать растворъ соли постоянно насыщеннымъ.

Если растворить 2 части селитры и 3 части глауберовой соли въ 5 частяхъ горячей воды и наполнить растворомъ до верха двѣ сткланки, то по погруженіи въ одну сткланку кристалла селитры, а въ другую кристалла глауберовой соли и по охлажденіи обѣихъ сткланокъ въ водѣ со льдомъ, въ первой осадетъ только селитра, а во второй только глауберова соль.

Изъ сказаннаго очевидно, почему образованіе кристалловъ начинается сперва на поверхности, потомъ на стѣнкахъ и на днѣ, и потомъ уже по среднѣ массы.

Многія вещества, кристаллизующіеся изъ воднаго раствора, принимаютъ въ себя опредѣленное количество воды, которая соединяется съ ними химически. Вода эта, имѣющая большое вліяніе на форму кристалловъ и часто сообщающая имъ прозрачность, цвѣтъ и крѣпость, называется *кристаллизационною водою*. Нѣкоторые кристаллы содержатъ значительное количество такой воды, какъ напр. квасцы, глауберова соль; другія вовсе не имѣютъ ея, какъ напр. поваренная соль, селитра; у другихъ же содержаніе воды различно, смотря потому, образовались ли они скоро изъ горячей жидкости, или выдѣлялись изъ медленно охлаждавшейся.

Многіе кристаллы, какъ напр. глауберова соль, желѣзный купоросъ, теряютъ въ сухомъ воздухѣ, даже при обыкновенной температурѣ, кристаллизационную воду всю или частію; вслѣдствіе этой потери пропадаетъ ихъ правильный видъ и они распадаются въ мучнистую массу. Это явленіе называютъ *высытриваніемъ*. Отъ дѣйствія жара такіе кристаллы растворяются въ кристаллизационной водѣ и снова переходятъ въ твердый видъ при испареніи этой воды; послѣ чего могутъ быть сплавлены только въ весьма сильномъ жару. Изъ нѣкоторыхъ кристалловъ можетъ быть отдѣлена кристаллизационная вода только при высшей температурѣ; если потомъ привести ихъ въ прикосновеніе съ водою, то они быстро соединяются съ послѣднею и отвердѣваютъ.

Кристаллическій гипсъ попадаетъ часто въ природѣ различной твердости и чистоты, въ видѣ гипса, селенита, алебастра; чтобы обжечь гипсъ и селенитъ, т. е. чтобы отнять у нихъ кристаллизационную воду и чрезъ то доставить имъ бѣлый цвѣтъ и легкую растираемость, нужна по крайней мѣрѣ температура 96° Р. Если истолочь обожженный гипсъ, просѣять и потомъ смѣшать съ водою, то получимъ тѣсто, которое отвердѣваетъ въ короткое время. Поэтому его употребляютъ для обмазыванія потолковъ, для карнизовъ и замаски щелей; но въ сырыхъ мѣстахъ гипсовый цементъ теряетъ свою связывающую силу. Гипсовое тѣсто можно выливать въ формы и такимъ образомъ употреблять для приготовленія каменнodobныхъ массъ. При отвердѣніи гипса образуется безчисленное множество небольшихъ кристаллическихъ зеренъ и увеличивается объемъ его массы; вслѣдствіе чего онъ выполняетъ совершенно всѣ мельчайшія углубленія формы, въ которую вылить, и поэтому оказываетъ большую услугу при изготовленіи статуй, медалей и формъ для отливки металловъ. Гипсовый мраморъ (штукатурка) состоитъ изъ мелко просѣянаго гипса, смѣшаннаго съ водою, въ которой распущенъ клей и та краска, которую хотятъ придать мрамору.

Большія кристаллическія массы содержатъ иногда также механически примѣшанную воду, какъ это можно встрѣтить въ горномъ хрусталѣ, въ топазахъ и аметистахъ. Если быстро нагрѣть такіе кристаллы, то вода обращается въ пары, упругость которыхъ иногда разрываетъ кристаллы на куски.

Есть также кристаллы, которые оказываютъ такое сильное притяженіе къ находящимся въ воздухѣ парамъ, что сгущаютъ ихъ въ капельножидкую воду, поглощаютъ послѣднюю въ себя и расплываются. Кристаллы, которые хотятъ сохранить отъ расплыванія и высытриванія, должно сохранять въ терпентинномъ маслѣ.

Жидкість, оставшаяся по окончаніи образованія кристалловъ, называется *маточнымъ растворомъ* или *разсоломъ*. Послѣдній заключаетъ въ себѣ кристаллическое вещество въ такомъ количествѣ, сколько можетъ раствориться въ ней при существующей температурѣ; кромѣ того маточный растворъ содержитъ въ себѣ и некристаллизующіяся части, а часто также и другія вещества, которые растворяются въ ней легче противу кристаллизующагося тѣла. Часть маточнаго раствора пристаётъ механически къ кристалламъ и тѣмъ болѣе, чѣмъ кристаллы значительнѣе; отъ присоединенія маточнаго раствора кристаллы грязнятся и часто дѣлаются негодными для употребленія. Чтобы помѣшати этому приставанію маточнаго раствора, препятствуютъ образованію большихъ кристалловъ встряхиваніемъ и мѣшаніемъ жидкости. Для полученія чистыхъ кристалловъ повторяютъ кристаллизованіе (перекристаллизовываютъ): для этого кристаллы растворяютъ и потомъ даютъ имъ снова выкристаллизоваться.

Опытъ показываетъ, что вещества въ кристаллическомъ состояніи всегда тверже, нежели въ аморфномъ, такъ напр. глиноземъ въ сафирѣ; потому кристаллическія вещества всегда растворяются труднѣе, противу тѣхъ же веществъ въ аморфномъ состояніи, такъ кристаллическій сахаръ плавится при 128° Р., аморфный же между 72° и 80° Р.

Тѣла, кристаллизующіяся сухимъ путемъ, дѣлаются хрупкими, какъ напр. металлы, вслѣдствіе чего они легко раздробляются подъ ударами молота. Нѣкоторые вещества чрезъ кристаллизованіе дѣлаются прозрачными и нерѣдко претерпѣваютъ измѣненіе цвѣта.

Въ нѣкоторыхъ твердыхъ тѣлахъ, безъ измѣненія состоянія скопленія и безъ измѣненія состава, происходитъ постепенное измѣненіе въ расположеніи мельчайшихъ частицъ, такъ что онѣ переходятъ изъ аморфнаго состоянія въ кристаллическое или измѣняютъ свое кристаллическое сложеніе въ другое.

Если растворить сахаръ въ водѣ и выпарить до того, чтобы можно было вытягивать его въ нити, то при отверденіи онъ переходитъ въ аморфное состояніе и принимаетъ видъ стекла, какъ мы можемъ это видѣти въ леденцѣ; со временемъ сахаръ снова становится непрозрачнымъ и кристаллизуется внутри. Призматическій арагонитъ распадается при нагрѣваніи на множество ромбоэдрическихъ кристалловъ. Желѣзныя оси экипажныхъ колесъ, отъ частаго сотрясенія, со временемъ кристаллизуются внутри, а потому дѣлаются хрупкими и легко ломаются. Если обложить стекло гипсомъ и пескомъ и долго держать въ печи раскаленнымъ, не доводя впрочемъ его до сплавленія, то оно получаетъ кристаллическое сложеніе, дѣлается непрозрачнымъ и до того твердымъ, что даетъ покры объ сталь; такое стекло, по имени изобрѣтателя, называется *реомюровымъ фарфоромъ*. Его употребляютъ для ступокъ и т. п.

Правильное расположеніе частицъ при образованіи кристалловъ, имѣетъ слѣдствіемъ не только одинъ внѣшній правильный или симметрический видъ, но сопровождается также слѣдующимъ замѣчательнымъ свойствомъ. Каждый кристаллъ легко раздѣляется по извѣстнымъ плоскостямъ; полученныя чрезъ это дѣленія поверхности

бываютъ ровны, гладки и блестящи; ихъ называютъ *раздѣляющими поверхностями* или просто *листьями кристалла*, направленія же этихъ поверхностей — *листопророжденіями*. Въ каждой раздѣляющей поверхности находится безконечное множество параллельныхъ плоскостей. Въ нѣкоторыхъ кристаллахъ, какъ напр. въ слюдѣ, селенитѣ, можно получить пластинки только по одному направленію, вслѣдствіе чего кристаллъ раздѣляется на чрезвычайно тонкіе листы; другіе же кристаллы могутъ быть раздѣляемы по многимъ направленіямъ, такъ напр. кристаллъ поваренной соли раздѣляется на множество кубовъ.

Отдѣленіе листьевъ отъ кристалла можетъ быть удобно произведено острымъ ножомъ.

Откалывая ножомъ листы отъ кристалла, мы наконецъ дойдемъ до простой формы, называемой *ядромъ кристалла*.

Каждому веществу принадлежитъ особенная кристаллическая форма, такъ напр. кристаллическая форма горнаго хрустала отлична отъ кристаллической формы квасцовъ, а послѣдніе, въ свою очередь, имѣютъ другую форму противу купороса и т. д.

Изслѣдованіе законовъ симметріи существующей между отдѣльными кристаллическими поверхностями, равно какъ и описаніе кристаллическихъ формъ вообще составляетъ предметъ *кристаллографіи*, но какъ наружный видъ кристалловъ находится въ тѣсной зависимости съ физическими свойствами тѣлъ, то мы считаемъ необходимымъ дать здѣсь хотя краткія понятія о законахъ симметріи.

Изслѣдывая два кристалла одного и того же вещества, мы конечно не встрѣтимъ совершеннаго равенства или, говоря другими словами, геометрической точности въ ихъ наружномъ видѣ. Такъ наприм. кристаллы кварца попадаютъ въ совершенно правильномъ видѣ (фиг. 681), но весьма часто они встрѣ-

Фиг. 681.

Фиг. 682.

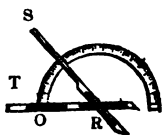
чаются въ формѣ, представленной на фиг. 682, а иногда даже еще болѣе уклоняются отъ нормальнаго типа (фиг. 681). Но какъ бы ни были разнообразны кристаллы кварца, всякій, даже мало опытный глазъ можетъ замѣтить въ каждомъ изъ нихъ слѣды основнаго типа, заключающагося въ 6-ти сторонней призмѣ, съ 6-ти стороннею пирамидою по концамъ; эти пирамиды не всегда бываютъ образованы совершенно одинаково, не всегда онѣ лежатъ въ равномъ удаленіи отъ геометрическаго центра кристалловъ. При взглядѣ на образцы углекислой извести, собранные въ различныхъ странахъ земнаго шара, незна-

комый съ законами кристаллографіи будетъ пораженъ разнообразіемъ формъ представляющихся его взгляду и конечно ему не придетъ въ голову, чтобы эти формы могли служить для отличія этого минерала отъ другихъ. Тѣмъ болѣе, что нѣкоторые кристаллы углекислой извести скорѣе схожи съ другими минералами, нежели между собою. Но для минералога всѣ эти разнообразныя формы суть ни что иное какъ разныя одежды, отличающіяся наружными формами, а не существеннымъ характеромъ, одежды, въ которыхъ облачается постоянно одинъ и тотъ же предметъ. И въ самомъ дѣлѣ, по внима-

тельномъ разсмотрѣніи, не взирая на всѣ эти неправильности, углы, соответствующіе опредѣленнымъ плоскостямъ, всегда бываютъ одинаковы для всѣхъ кристаллическихъ видоизмѣненій одного и того же тѣла: такъ напр. уголь, заключающійся между двумя сторонами призмы въ горномъ хрусталѣ, всегда равенъ 120° . Законъ этотъ открылъ еще въ прошломъ столѣтіи французскій ученый *Ромъ Делли*.

Основываясь на этомъ законѣ, справедливость котораго подтверждена многочисленными наблюденіями, для точнаго изученія формы кристалловъ необходимо измѣрять двугранные углы ихъ. Для этого измѣренія употребляютъ приборы называемые *юниометрами* или *углоизмѣрами*, изъ которыхъ самый простейшій и наиболѣе употребительный представленъ на фиг. 683.

Фиг. 683.



Онъ состоитъ изъ раздѣленного на градусы полукруга, около центра котораго движутся двѣ линейки — *RO*, имѣющая поступательное движеніе взадъ и впередъ и *RS*, вращающаяся на оси *R*. Линейки эти, снабженные по срединѣ вырѣзами, позволяющими по произволу укорачивать и удлинять ихъ относительно центра полукруга, нажимаются винтами.

Для измѣренія угла кристалла прикладываютъ послѣдній одною гранью къ линейкѣ (имѣющей поступательное движеніе) къ самому центру полукруга и вращаютъ вторую линейку до тѣхъ поръ, пока она не коснется до другой грани угла. Конецъ вращающейся линейки укажетъ на дугѣ величину опредѣляемаго угла.

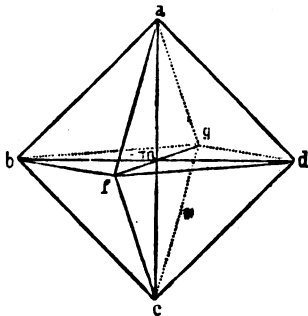
Когда описываютъ или изображаютъ на рисункѣ кристаллическую форму какого нибудь тѣла, то не обращаютъ вниманія на всѣ отклоненія и рассматриваютъ всѣ соответствующія плоскости въ равномъ удаленіи отъ центра кристалла. Такой видъ кристалла называютъ *идеальными кристаллами*; къ этимъ-то идеальнымъ формамъ и относятъ всѣ дѣйствительныя формы кристалловъ.

Во всякомъ кристаллѣ можно найти извѣстныя направленія, относительно которыхъ расположены симметрически отдѣльныя плоскости его; эти направленія суть *оси кристалла*. Въ кристаллѣ, представленномъ на фиг. 684-й, линія, соединяющая концы двухъ шестистороннихъ пирамидъ, очевидно составляетъ ось его. Плоскости призмы, означенныя буквою *g*, параллельны этой оси; всѣ плоскости пирамиды одинаково наклонены къ этой линіи.

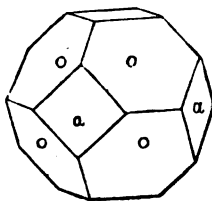
Взаимное положеніе и относительная величина этихъ осей не одинаковы для всѣхъ кристалловъ. Основываясь на этомъ различіи, раздѣляютъ всѣ кристаллы на 6 различныхъ кристаллическихъ системъ.

1) *Правильная система* съ тремя взаимно перпендикулярными и равными осями. Въ этой системѣ различаютъ нѣсколько простыхъ формъ, за основаніе которыхъ берутъ октаедръ (фиг. 684), потому что изъ него легко уже вывести другія формы. Октаедръ ограниченъ со всѣхъ сторонъ восемью треугольными равносторонними плоскостями, составляющими 6 угловъ и 12 реберъ, равныхъ между собою. Оси *ac*, *bd* и *fg* пересѣкаются подъ прямымъ угломъ по срединѣ октаедра въ точкѣ *m*.

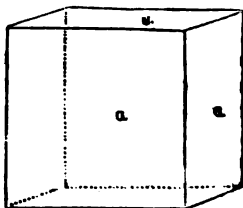
Фиг. 684.



Фиг. 685.



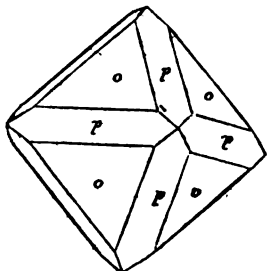
Фиг. 686.



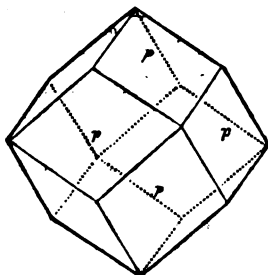
Если каждый уголъ октаэдра притупленъ плоскостію, перпендикулярною къ соответственной оси, то получается тѣло, представленное на фиг. 685-й; а по продолженіи притупляющихъ плоскостей до взаимнаго пересѣченія, получается кубъ (фиг. 686). Въ кубѣ всѣ ребра и углы равны между собою.

Представивъ себѣ ребра октаэдра притупленными плоскостями параллельными этимъ ребрамъ, мы получимъ тѣло, изображенное на фиг. 687-й; а по продолженіи притупленныхъ плоскостей, лежащихъ на ребрахъ октаэдра до взаимнаго ихъ пересѣченія, будемъ имѣть ромбододекаэдръ (фиг. 688).

Фиг. 687.



Фиг. 688.



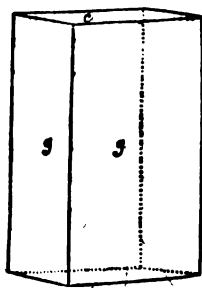
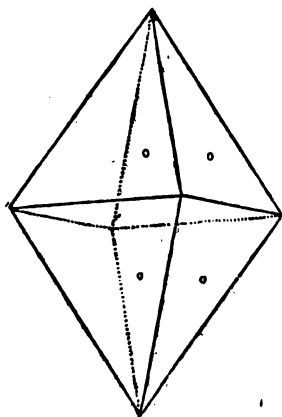
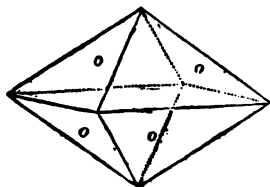
Точно такимъ же образомъ можно получить и прочія формы правильной системы; сказанное нами уже достаточно указываетъ на характеръ правильной системы, заключающейся собственно въ томъ, что всѣ формы ея совершенно симметрически относительно трехъ осей. Правильную систему кристалловъ получаютъ: квасцы, поваренная соль, плавленый шпатель и др.

2) *Квадратная система*, основною формою которой служитъ квадратный октаэдръ фиг. 689 и 690, т. е. октаэдръ, отличающийся отъ октаэдра правильной системы тѣмъ, что въ немъ только двѣ оси равны между собою. Остальная же ось, называемая *главною осью*, бываетъ то больше, то меньше двухъ другихъ; но всегда отношеніе осей для одного и того же тѣла одинаково. Обѣ равныя оси обыкновенно принимаютъ лежащими по горизонтальному, а послѣдняя по вертикальному направленію.

Фиг. 689.

Фиг. 690.

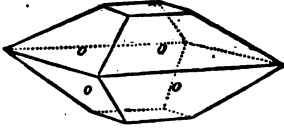
Фиг. 691.



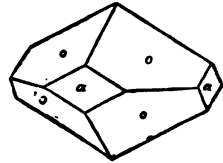
Четыре горизонтальныхъ ребра квадратнаго октаэдра хотя равны между собою, но различаются отъ предыдущихъ, которыя въ свою очередь равны другъ другу. Отъ притупленія четырехъ горизонтальныхъ ребръ получается квадратная призма, т. е. призма съ квадратнымъ основаніемъ, ограниченная, какъ показывается фиг. 691-я, двумя плоскостями параллельными горизонтальной оси.

Точно также въ квадратномъ октаедрѣ находится два рода угловъ: верхній и нижній углы отличны отъ четырехъ другихъ угловъ. На фиг. 692-й и 693-й представлены два видоизмѣненія этой формы, изъ которыхъ у первой притуплены верхній и нижній углы, между тѣмъ какъ у послѣдней притуплены углы, соотвѣтствующіе горизонтальнымъ осямъ.

Фиг. 692.



Фиг. 693.

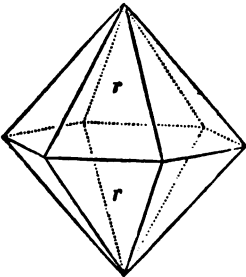


Изъ сказаннаго нами объ этой системѣ слѣдуетъ, что главное свойство ея заключается въ различіи вертикальной отъ двухъ другихъ однородныхъ осей.

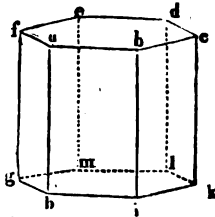
Къ квадратной системѣ между прочими принадлежатъ: везувіанъ, меллитъ, сѣрноокислая окись никеля и многія другія.

3) *Шестиугольная (три и одноосная) система* съ четырьмя осями, изъ которыхъ три равныя и пересѣкающіяся подъ угломъ въ 60 градусовъ, лежатъ въ одной плоскости, между тѣмъ какъ отдѣльная четвертая, такъ называемая главная ось, не равна тремъ другимъ осямъ и проходитъ отвѣсно къ плоскости ихъ. Этой системѣ принадлежатъ правильныя шестистороннія пирамиды и призмы (фиг. 694 и 695).

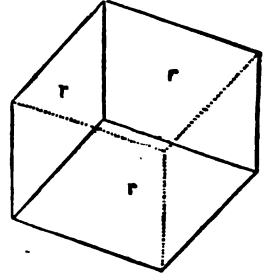
Фиг. 694.



Фиг. 695.



Фиг. 696.



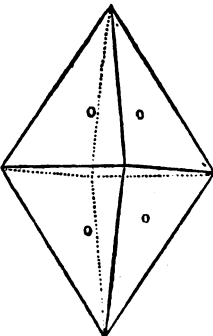
Известковый шпатъ, горный хрусталь и многіе другіе минералы принадлежатъ къ этой системѣ.

Если представить себѣ половины плоскостей двойной шестисторонней пирамиды продолженными до взаимнаго пересѣченія и до совершеннаго уничтоженія прочихъ, то получимъ *ромбоедръ* (фиг. 696), основную форму известкового шпата.

Тѣла, образующіяся способомъ приведеннымъ нами для ромбоедра, называются *полуиридными формами*.

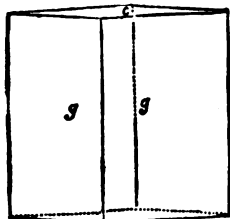
4) *Ромбическая система* съ тремя взаимно перпендикулярными, но неравными осями. Представивъ себѣ одну изъ осей въ вертикальномъ положеніи, двѣ другія должны находиться въ горизонтальной плоскости; но въ настоящемъ случаѣ обѣ горизонтальныя оси не равны, какъ это было въ квадратной системѣ. Въ ромбическомъ октаедрѣ (фигура 697) каждыя два діаметрально противоположные угла взаимно равны, слѣдовательно верхній и нижній, передній и задній, правый и лѣвый. Въ этомъ случаѣ представляются три различные рода угловъ. Точно также въ ромбоэдрическомъ октаедрѣ различается три рода ребръ: четыре горизонтальныхъ, четыре ребра лежащія въ плоскости вертикальной и одной изъ двухъ горизонтальныхъ осей, и наконецъ ребра, соединяющія вертикальную ось съ другими горизонтальными.

Фиг. 697.



Отъ притупленія четырехъ горизонтальныхъ ребръ получается *прямая ромбическая призма*, т. е. призма, которой основаніе есть ромбъ. Фигура этого послѣдняго тѣла зависитъ отъ отношенія между величиною двухъ горизонтальныхъ осей.

Фигура 698-я представляетъ прямую ромбическую призму, ограниченную сверху и снизу плоскостями, параллельными двумъ горизонтальнымъ осямъ. Всѣ восемь горизонтальныхъ ребръ этого тѣла однородны; напротивъ того, четыре вертикальныя ребра не однородны, потому что горизонтальный разрѣзъ призмы есть ромбъ и слѣдовательно должны быть два острия (на фиг. правое и лѣвое) и два тупыя ребра (на фиг. переднее и заднее).



Къ ромбической системѣ принадлежатъ: селитра, цинковый купоросъ, арагонитъ и многіе другіе.

б) *Дву и одночленная (клинометрическая) система*, къ которой между прочими принадлежатъ: гипсъ, глауберова соль, желѣзный купоросъ, сахаръ и др., отличается отъ ромбической системы тѣмъ, что двѣ оси не лежатъ между собою подъ прямымъ угломъ, а третья ось къ нимъ перпендикулярна и проходитъ въ косвенномъ направленіи къ плоскости двухъ другихъ осей.

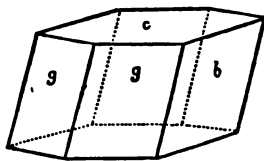
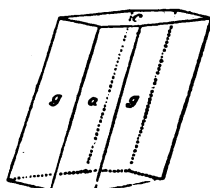
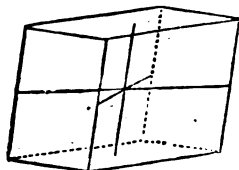
Характеристическую форму этой системы составляетъ *косая ромбическая призма* (фиг. 699), отличающаяся отъ прямой ромбической призмы предыдущей системы тѣмъ, что главная ось наклонна къ основанію.

И въ этой косой призмѣ мы встрѣчаемъ два острые и два тупые угла призмы. Плоскости, притупляющія переднее и заднее ребро призмы (плоскость *a* фиг. 700-й), перпендикулярны къ верхней плоскости *c*; между тѣмъ какъ плоскости, притупляющія *b*, правое и лѣвое ребро, наклонны къ *c* (фиг. 701).

Фиг. 699.

Фиг. 700.

Фиг. 701.

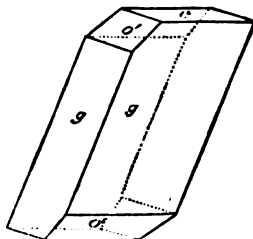
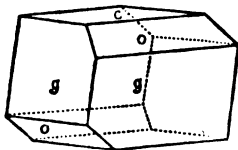


Горизонтальныя ребра, ограничивающія плоскость *c*, неодинаковы, какъ это было у прямой ромбической призмы на верхней поверхности (фиг. 699); оба правыя ребра суть острия ребра, а лѣвыя — тупыя.

Притупленныя острия горизонтальныя ребра представлены на фиг. 702-й, а притупленные тупыя на фиг. 703-й.

Фиг. 702.

Фиг. 703.



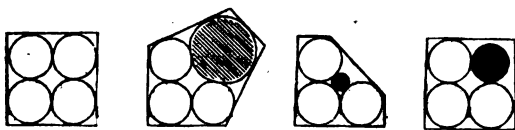
б) *Одно и одночленная (клиноромбоидальная) система* характеризуется тремя неравными осями, несоставляющими между собою прямыхъ угловъ. Кристаллы этой системы обладаютъ наименьшею симметриею. Здѣсь однородны только двѣ плоскости, два ребра и два угла, лежащіе другъ противу друга.

Къ одно и одночленной системѣ принадлежитъ между прочими мѣдный купоросъ.

Одно-
формен-
ность и
изомор-
ность.

§ 194. Тѣла одинаковаго матеріальнаго свойства кристаллизуются постоянно въ опредѣленные, хотя и принадлежащія къ различнымъ системамъ, формы. Однако же видъ кристалловъ не находится въ такой связи съ матеріальными свойствами тѣлъ, чтобы по послѣднимъ мы могли заключать о первомъ. — Есть много явленій, говорящихъ въ пользу того предположенія, что видъ кристалловъ зависитъ не столько отъ свойства тѣла, сколько отъ относительнаго объема атомовъ его (т. е. числа, полученнаго отъ раздѣленія вѣса атомовъ на удѣльный вѣсъ), и что известный видъ кристалловъ остается неизмѣннымъ, если одну изъ составныхъ частей тѣла замѣнить другою, атомы котораго имѣютъ приблизительно тотъ же объемъ. Такія тѣла, принимающія одинаковый видъ кристалловъ, называются *однородными* (*изоморфными*).

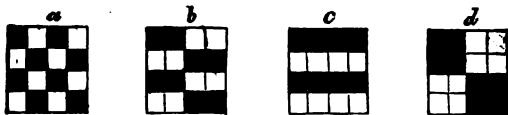
Возьмемъ напр. четыре горошинки (фиг. 704); положивъ ихъ попарно, плотно другъ возлѣ друга, мы получимъ правильный четвероугольникъ. Если изъ этого



то въ обоихъ этихъ случаяхъ измѣнится правильность фигуры четвероугольника. Если же мы вмѣсто вынутой горошинки положимъ совершенно одинаковый съ нею оловянный шарикъ (фиг. 707), то правильность четвероугольника не будетъ нарушена. Въ этомъ случаѣ утратится только единообразіе всѣхъ частей, составляющихъ четвероугольникъ. Подобное можно сказать и объ атомахъ.

Но есть тѣла, которыя при кристаллизационной своей въ различныхъ обстоятельствахъ, принимаютъ различныя формы. Послѣднія тѣла называютъ *изомерными*.

Возьмемъ простую шахматную доску (фиг. 708, 709, 710, 711) съ черными и бѣлыми квадратами, и станемъ соединять квадраты вмѣсто шахматнаго порядка попарно, такъ чтобы возлѣ чернаго



квадрата находился черный, а возлѣ бѣлаго бѣлый. Число квадратовъ во всей доскѣ останется попрежнему одно и тоже, но самое расположеніе ихъ измѣнится и доска уже будетъ имѣть другой видъ. Тоже самое происходитъ, по всей вѣроятности, и съ атомами при переставкѣ ихъ.

Отноше-
ніе кри-
сталловъ
къ част.
силамъ.

§ 195. Свойства кристалловъ приводятъ насъ къ нѣкоторымъ заключеніямъ на счетъ вида атомовъ тѣлъ и самаго образа дѣйствія частичныхъ силъ. Изъ полиэдрическаго (многограннаго) вида кристалловъ можно заключить, что частичныя силы, которыми одарены атомы, не дѣйствуютъ съ одинаковою силою по всѣмъ направленіямъ. Выводъ этотъ въ свою очередь ведетъ къ тому, что сами атомы должны обладать полиэдрической формой. Поэтому атомы, предоставленные самимъ себѣ и дѣйствующимъ въ нихъ силамъ, принимаютъ то положеніе равновѣсія, при которомъ они покоряются наибольшему притяженію, чѣмъ и опредѣляется самая форма кристалловъ.

Различ-
родн
твер-
дыхъ
тѣлъ.

§ 196. Судя по степени сцѣпленія и самая способность твердыхъ тѣлъ къ разьединенію ихъ частицъ бываетъ различна. Такъ напр. опытъ показываетъ намъ, что для разьединенія въ иныхъ тѣлахъ

потребна значительная сила; въ этомъ случаѣ говорятъ, что тѣло обладаетъ *твердостію*. Если же для разъединенія требуется незначительная сила, то тѣло, представляющее это свойство, называютъ *мягкимъ*. Послѣднія тѣла, какъ напр. воскъ, мягкая глина, легко принимаютъ оттиски тѣхъ предметовъ, которые къ нимъ прикасаются и могутъ сохранять различныя формы, даваемые имъ.

При разъединеніи частицъ твердыхъ тѣлъ, могутъ встрѣтиться два главные случая: спѣшеніе или уступаетъ разъединяющей силѣ или сохраняется въ тѣлѣ; тѣла, у которыхъ слабое разъединеніе частицъ уничтожаетъ дѣйствіе спѣшенія и производитъ раздѣленіе тѣла на части, называются *хрупкими*, какъ напр. стекло, висмутъ и другія; тѣже тѣла, которыхъ частицы позволяютъ произвести замѣтное измѣненіе формы, не подвергаясь раздѣленію на части, называются *мелкими*.

Тѣла, которыхъ частицы, отъ дѣйствія внѣшней силы, какъ напр. давленія, удара и т. п. могутъ растягиваться до извѣстной степени, не подвергаясь ни разрыву, ни разлому, бываютъ двухъ родовъ:

1) у однихъ раздвинутыя частицы, по прекращеніи разъединяющей силы, снова возвращаются въ прежнее положеніе и поэтому принимаютъ какъ первобытный свой видъ, такъ и объемъ; такія тѣла называются *упругими*;

2) у другихъ же тѣлъ частицы не возвращаются на прежнее свое мѣсто, а заставляютъ тѣло сохранять тотъ насильственный видъ, который дала ему внѣшняя причина; такія тѣла называются *мелкими*.

Разсмотримъ ближе эти различные роды твердыхъ тѣлъ.

§ 197. Изъ двухъ тѣлъ болѣе твердымъ считается то, которое Твердость. даетъ по другому черту, а какъ алмазъ можетъ чертить всякое тѣло, не будучи самъ чертимъ ни однимъ изъ нихъ, то и принимаютъ его за самое твердое тѣло. Степень твердости бываетъ весьма разнообразна не только для различныхъ тѣлъ, но даже и для одного и того же тѣла при различныхъ обстоятельствахъ; такъ напр. высушенная на воздухѣ и обожженная мокрая глина превращается въ твердое тѣло; такъ сталь принимаетъ твердость во всей массѣ, если ее накалишь сильно и потомъ тотчасъ погрузить въ холодную воду, въ мыльную воду, въ масло или наконецъ въ сало; это дѣйствіе называется *закалкою стали*. Мѣдь отъ быстрого охлажденія тотчасъ послѣ сильного нагрѣванія дѣлается наоборотъ мягкой. Многіе металлы, какъ напр. серебро, желѣзо, латунь, отъковки, валки и вытягиванія въ проволоки дѣлаются тверже. Преимущественно же замѣняется твердость тѣлъ послѣ химическаго соединенія ихъ съ другими.

Небольшіе предметы изъ стали, какъ напр. маленькія долота, графитки, накаливаются на пламени свѣчи съ помощію паяльной трубки и потомъ погружаются въ сало свѣчи; отъ вторичнаго накаливанія и медленнаго охлажденія они снова дѣлаются мягкими; поэтому жестъ и проволока накаливается передъ каждымъ новымъ вытягиваніемъ. Сталь отъ закалки дѣлается ломкою и принимаетъ названіе *хрупкой*; для уменьшенія твердости и ломкости сталь

отпускается, т. е. снова нагревается и потомъ снова медленно охлаждается. Чѣмъ сильнѣе при этомъ нагревается сталь, тѣмъ болѣе уменьшается степень твердости и ломкости ея. При медленномъ нагреваніи поверхность хрупкой стали принимаетъ различные цвѣта, сперва блѣдножелтый, потомъ соломенный, потомъ желтый на подобіе золота, тамъ коричневый, пурпурный, свѣтло-голубой и темно-голубой; появленіе темно-бѣлаго цвѣта служитъ признакомъ уничтоженія всякой твердости; краски, появляющіяся при нагреваніи, опредѣляютъ степень отпуска, а послѣднее обыкновенно согласуется съ цѣлю назначенія стали; для часовыхъ пружинъ сталь отпускается до голубаго цвѣта.

Отъ сплава тягучей мѣди съ болѣе твердымъ цинкомъ получается мягкая мѣдь; отъ сплава 5 частей мѣди и 1 части олова получается твердая колокольная мѣдь, а 2 части мѣди съ 1 частию олова даютъ еще болѣе твердый зеркальный металлъ. Желѣзо отъ примѣся $\frac{1}{100}$ угля превращается въ твердую сталь, а по соединеніи съ $\frac{2}{100}$ до $\frac{4}{100}$ угля превращается въ чугуны. Литая сталь отъ примѣся $\frac{1}{100}$ серебра или $\frac{1}{100}$ родія получаетъ весьма сильную степень твердости. Сталь, получаемая изъ Остѣ Индіи и извѣстная подъ названіемъ *суца*, обязана превосходному своему твердому примѣся глины, металла дающаго въ соединеніи съ кислородомъ глину.

При извѣстныхъ обстоятельствахъ мягкое тѣло можетъ разрѣзать твердое; такъ напр. если привести во вращательное движеніе кружокъ изъ мягкаго желѣза и если держать противу края кружка твердый графитикъ, то при скорости меньшей 34,5 фута въ секунду графитикъ надрѣзываетъ край кружка, а при увеличеніи скорости повторяется обратное и тѣмъ сильнѣе, чѣмъ болѣе увеличивается скорость; при слишкомъ большой скорости вращенія край кружка рѣжетъ на части самыя твердыя стальные вещи.

Хруп-
кость.

§ 198. Хрупкость тѣла можетъ быть увеличена или уменьшена съ помощію различныхъ способовъ; такъ напр. упругая сталь отъ продолжительнойковки дѣлается до такой степени хрупкою, что раздробляется подъ молотомъ въ куски; цинкъ при высокой температурѣ вытягивается, въ холодномъ же состояніи ломокъ. Хрупкость стекла можетъ быть увеличена въ замѣчательной степени, если только что приготовленные изъ него вещи перенести въ холодное мѣсто, т. е. если дать имъ быстро охладиться. Примѣромъ этого могутъ служить такъ называемыя *стекляныя капли* (фиг. 712) и *болонскія* *Фиг. 712 и 713.*



бутылки (713). Быстрое охлажденіе приводитъ наружныя частицы ихъ въ весьма близкое прикосновеніе между собою; но внутреннія частицы охлаждаются нѣсколько позже и потому, сближаясь между собою, не могутъ уже расположиться за отвердѣвшими наружными частями такъ, какъ этого требуютъ частичныя силы и какъ бы это должно произойти при медленномъ и равномерномъ охлажденіи всѣхъ частей; вслѣдствіе того внутреннія частицы находятся въ насильственномъ положеніи, въ нѣкотораго рода напряженіи, такъ что самое незначительное измѣненіе въ положеніи однихъ какихъ либо частицъ уже достаточно для разстроенія цѣлаго расположенія тѣла. Для воспрепятствованія большой хрупкости обыкновенныхъ стеклянныхъ вещей, тотчасъ послѣ выдуванія или выдавливанія въ формахъ, кладутъ ихъ въ нагрѣтую печь, которая охлаждается постепенно до температуры окружающаго воздуха.

Желѣзо отъ примѣси фосфора дѣлается весьма хрупкимъ и ломкимъ; отъ примѣси незначительнаго количества сѣры дѣлается ломкимъ въ краснокальиномъ жару.

Для полученія стеклянныхъ капель кидаютъ въ холодную воду расплавленное стекло въ раскаленномъ состояніи; капли эти такъ тверды, что могутъ противостоятъ даже значительнымъ толчкамъ, но если надломить кончикъ ихъ, то вся остальная масса распадается въ крупный порошокъ. Такъ называемыя болонскія бутылки суть небольшія стекляночки съ довольно толстыми стѣнками и очень толстымъ дномъ; тотчасъ по выдуваніи, ихъ охлаждають на холодномъ воздухѣ; онѣ выдерживаютъ довольно сильныя толчки, но распадаются на нѣсколько частей, какъ только попадетъ внутрь ихъ небольшой острый кусочекъ кремня, производящій царапину на внутренней ихъ поверхности.

§ 199. Обыкновенно отличаютъ разные виды тягучести, выражающіеся разными названіями: *ковкости, вытягиванія, сплющиванія*. Тягучесть. Степень тягучести опредѣляется величиною вытягиванія, обнаруживаемаго тѣломъ до разрыва. Она различна не только для разныхъ тѣлъ, но и для одного и того же тѣла при различныхъ обстоятельствахъ; наибольшее вліяніе на тягучесть обнаруживаетъ теплота, которая при увеличеніи до извѣстнаго предѣла, увеличиваетъ тягучесть, между тѣмъ какъ въ другихъ случаяхъ она уменьшается отъ теплоты; такъ напр. цинкъ вытягивается въ проволоки и сплющивается въ листы только при 80° или 120° Р.; но при увеличеніи температуры за 164° Р. цинкъ дѣлается еще хрупче, чѣмъ при обыкновенной температурѣ. Стекло, достаточно нагрѣтое, вытягивается въ тончайшія нити и шарики съ весьма тонкими стѣнками.

Воскъ, сургучъ, брусковая камедь при обыкновенной температурѣ ломки; въ нагрѣтомъ состояніи тягучи. Подобно золоту, платинѣ и серебру обладаютъ значительною тягучестью также мѣдь, олово и свинецъ; изъ этихъ металловъ можно получать самыя тонкіе листики.

§ 200. Подъ упругостію разумѣютъ внутреннюю силу, съ которою частицы, выведенныя изъ ихъ положенія, стремятся опять принять прежній свой видъ. Если упругое тѣло такого свойства, что частицы, положеніе которыхъ замѣнено дѣйствіемъ какой нибудь силы, приходятъ совершенно точно въ свое первое положеніе и вслѣдствіе того тѣло принимаетъ опять свой прежній видъ и твердость, когда сила перестаетъ дѣйствовать, то такое тѣло называется *совершенно упругимъ*; если же выведенныя изъ своего положенія частицы не совершенно приходятъ въ прежнее положеніе, то говорятъ, что тѣло *не совершенно упруго*. Упругость.

Опытъ показываетъ, что всѣ тѣла въ отношеніи къ небольшимъ силамъ, производящимъ только слабыя, едва замѣтныя перемѣщенія въ частицахъ, можно принять за совершенно упругія; такъ что даже стекло для малыхъ силъ совершенно упруго, потому что его можно сдвинуть и гнуть, но частицы принимаютъ совершенно свое прежнее положеніе, по прекращеніи дѣйствія причины, производящей измѣненіе мѣста ихъ.

Въ общепринятій подъ упругими тѣлами разумѣютъ только тѣла, претерпѣвающія замѣтныя измѣненія и снова восстанавливающія свою

форму по прекращеніи дѣйствія виѣшной силы, какъ напр. каучукъ, слабо закаленная сталь, слоновая кость, китовый усъ. Впослѣдствіи мы будемъ называть упругими собственно только такія тѣла. Тонкія свинцовыя пластинки, мокрыя глиняныя массы, въ которыхъ даже слабая сила можетъ произвести остающееся измѣненіе формы, принимаются за неупругія тѣла.

Измѣненіе вида и объема упругихъ тѣлъ можетъ быть произведено *сгибаніемъ, давленіемъ, вытягиваніемъ или крученіемъ*: во всѣхъ случаяхъ виѣшняя сила дѣйствуетъ только на одну частину тѣла, тогда какъ прочія довольно сильно удерживаются въ прежнемъ положеніи или по крайней мѣрѣ выводятся изъ своего положенія со скоростію меньшею противу давленія или вытягиванія.

Примѣры упругости можно видѣть въ шпашномъ клинкѣ, тростникѣ, натянутой струнѣ или снуркѣ, въ шарикахъ изъ слоновой кости, въ упругости которыхъ легко убѣдиться, если бросать ихъ на мраморную доску, покрывшую тонкимъ слоемъ сала; мы замѣтимъ на доскѣ, послѣ отскакиванія шарика, круглое пятно, между тѣмъ какъ неупругій шарикъ, касаясь въ одной точкѣ, не произведетъ кружка; очевидно, что шарикъ при удареніи о доску первоначально сжимается, но потомъ снова принимаетъ свой прежній видъ. Тоже замѣчается на шарикахъ изъ дерева, камня и изъ многихъ металловъ. Металлическія проволоки можно вытягивать гирами извѣстнаго вѣса, но онѣ принимаютъ прежнее положеніе тотчасъ по удаленіи гирь. Если прикрѣпить металлическую проволоку съ одного конца и натянуть прямо, привѣсивъ къ ней какое нибудь тѣло и крутить по ея длинѣ, такъ чтобы частицы, расположенныя въ началѣ по прямой линіи, приняли бы видъ винтовой линіи, обвивающей длину проволоки, то упругость обнаруживается *сопротивленіемъ, замѣчаемымъ при крученіи, и раскручиваніемъ* проволоки, какъ скоро закручивающая сила перестаетъ дѣйствовать.

Какимъ бы образомъ не было произведено измѣненіе вида и объема тѣла, для каждаго изъ нихъ существуетъ извѣстная величина *перемѣщенія частицъ, называемая предѣломъ упругости*. Если по переходѣ за этотъ предѣлъ прекратится дѣйствіе виѣшной причины, то можетъ произойти одно изъ двухъ: или частицы, выведенныя изъ положенія, приближаются къ прежнему положенію, но не достигаютъ его совершенно, или онѣ остаются въ томъ положеніи, въ которое привела ихъ дѣйствующая сила, т. е. тѣло сохраняетъ произведенное въ немъ измѣненіе его вида и объема.

Сила, могущая перемѣстить частицы тѣла до предѣла упругости, служитъ мѣрою величины упругости. Оба опредѣленія упругости для разныхъ тѣлъ бываютъ различны; они остаются даже и при одномъ и томъ же тѣлѣ не при всѣхъ обстоятельствахъ одинаковы, но при извѣстномъ положеніи тѣла значительно измѣняются. Такъ кованые металлы упруже литыхъ; сѣвшее дерево упруже сухаго; стекло въ ниткахъ очень упруго, въ кускахъ и въ пластинкахъ представляетъ весьма мало упругости. Мѣдныя и серебряныя полоски, чрезъ умѣренное кованіе, дѣлаются столь упругими, что ихъ можно употреблять для пружинъ. Быстрое охлажденіе послѣ сильнаго нагрѣванія въ стали возвышаетъ упругость, а сплавъ изъ 78 частей мѣди и 22 частей цинка, дѣлается послѣ этого гибкимъ и ковкимъ;

но если послѣдній сплавъ медленно охладить, то онъ получаетъ высокую степень упругости, и въ этомъ состояніи употребляется Китайцами на цимбалы.

Упругость тѣла мало по малу ослабѣваетъ, если подвергать его долгое время дѣйствию вѣншей силы, причиняющей перемѣщеніе частицъ.

Веревки и ремни, долгое время оставшіеся въ натянутомъ состояніи, постепенно получаютъ остающуюся большую и большую длину, потому что ихъ частицы не возвращаются совершенно въ прежнее положеніе, когда прекращается натягиваніе.

Дуга изъ упругаго дерева при частомъ сгибаніи удерживаетъ изогнутый видъ. Упругія пружины при частомъ употребленіи принимаютъ постепенно видъ, близкій къ тому, который онѣ имѣли въ вытянутомъ состояніи. Даже шерсть, конскій волосъ, птичьи перья, которыми набиваютъ подушки для мебели, мало по малу теряютъ часть своей упругости, которую онѣ однажды опять получаютъ, если ихъ часто встряхивать и чесать.

Какъ бы не было произведено перемѣщеніе частицъ упругаго тѣла, вытягиваніемъ, сгибаніемъ, давленіемъ, крученіемъ, во всякомъ случаѣ представляется сопротивленіе, возрастающее съ величиною перемѣщенія частицъ до тѣхъ поръ, пока оно не придетъ въ равновѣсіе съ дѣйствующею силою. Какъ скоро наступило это равновѣсіе, то и перемѣщеніе мѣстъ частицъ прекращается. При увеличеніи вѣншей силы возрастаетъ измѣненіе мѣста и съ нимъ сопротивленіе, и опять до тѣхъ поръ, пока обѣ силы не придутъ въ равновѣсіе.

Опыты, производимые съ упругими тѣлами касательно отношенія силъ и ими произведенное измѣненіе объема внутри предѣловъ упругости, показали, что измѣненіе возрастаетъ въ томъ отношеніи, въ которомъ увеличивается сила вытягиванія, сгибанія, давленія и крученія тѣла; напр. если длина стальной полосы при напряженіи тяжести во 100 фунт. увеличивается на $\frac{1}{100}$ дюйма, то при 200 фунт. увеличится на $\frac{2}{100}$ дюйма, для 300 фунт. на $\frac{3}{100}$ дюйма и т. д.

Но какъ сопротивленіе, оказываемое упругимъ тѣломъ при каждомъ измѣненіи объема, всегда равно силѣ на него дѣйствующей, то результатъ опыта выражается слѣдующими словами: *сопротивленіе, оказываемое тѣломъ, вслѣдствіе его упругости, увеличивается внутри предѣловъ упругости точно въ такомъ же отношеніи, въ какомъ увеличивается измѣненіе объема.*

§ 201. Сила обратнаго толчка, выводная изъ положенія равновѣсія частицы упругаго тѣла и заставляющая ихъ принимать естественное свое положеніе, часто употребляется для произведенія движенія, но нерѣдко также для того, чтобы предохранить тѣло отъ значительныхъ дѣйствій вѣншей силы, какъ напр. толчковъ.

Применіе упругости.

Употребленіе лука для метанія стрѣлъ основывается на упругости натянутой упругой палки. Въ метательныхъ машинахъ древнихъ, въ *баллистахъ* и *катапультaxъ*, которыми они бросали тяжести во 100 фунтовъ почти на 300 футовъ, сильно скрученныя веревки вдругъ опускались и чрезъ сильное стремленіе ихъ придти въ прежнее нескрученное состояніе, сообщали быстрое движеніе значительнымъ грузамъ.

Упругость натянутых и сильно закрученных веревок употребляют также для натягиванія тонких пилъ; на ней же основывается скорое отскакиваніе отъ каната канатныхъ пласуновъ.

Упругія тѣла, употребляемыя въ машинахъ вмѣсто движущей силы, называются *пружинами*; такъ въ карманныхъ и стѣнныхъ часахъ употребляются, какъ мы уже говорили, стальные пружины.

Клапаны музыкальныхъ инструментовъ снабжены пружинами; рессоры, на которыхъ устанавливаются экипажи, имѣютъ цѣлю замѣнять утомительные толчки, претерпѣваемые экипажемъ во время ѣзды по каменной мостовой, тихими поднятіями и опусканіями экипажа; онѣ имѣютъ еще и то преимущество, что замѣняютъ свою упругостію часть горизонтальной силы, терпящей чрезъ толчки о камни, и такимъ образомъ содѣйствуютъ поступательному движенію.

Постепенно возрастающее сопротивленіе упругихъ тѣлъ, употребляется также для ослабленія вреднаго дѣйствія толчковъ. При бросаніи бомбы на военномъ кораблѣ, мортира даетъ сильный толчекъ въ корабль, для этого подъ палубой находится толстый слой упругихъ тѣлъ, который сопротивленіемъ, оказываемымъ ими при сжиманіи, такъ ослабляютъ толчекъ, что онъ не производитъ вреднаго вліянія на массу корабля. Толстая обшивка корабля хлопчатого бумагою или пробкою можетъ своею упругостію отбить пушечное ядро. Подъ наковальнею должно класть упругое тѣло, напр. большой кусокъ дерева, для того, чтобы препятствовать разрушенію каменныхъ частей зданія, гдѣ находятся наковальня.

Ломкіе предметы, при пересылкѣ ихъ съ одного мѣста на другое, перекладываются хлопчатого бумагою, пенькою, соломой, сѣномъ и тому подобнымъ, для того, чтобы ослабить дѣйствіе толчковъ, безпрерывно возобновляемыхъ при ѣздѣ.

Упругость веревокъ и ремней, доставляемая натягиваніемъ, дѣлаетъ ихъ способными передавать вращательное движеніе одного колеса другому, потому что веревка или ремень, стягиваніемъ и воспринятіемъ прежней формы, оказываетъ сильное давленіе на окружность колеса; чрезъ это увеличивается треніе, доставляющее возможность ремню слѣдовать за движеніемъ одного колеса и доставлять такимъ образомъ вращеніе другому колесу.

Упругія тѣла оказываютъ человѣку еще другія важныя услуги. Хлопчатобумажныя, шелковыя, льняныя и конопляныя нитки болѣе или менѣе упруги; эта упругость облегчаетъ приготовленіе тканей, потому что натянутыя нити основы, въ случаѣ, если бы онѣ были не упруги, могли разорваться при движеніи станка. Ткани нашихъ платьевъ должны быть упруги для того, чтобы могли согласоваться съ сгибаніемъ человѣческаго тѣла и съ движеніемъ членовъ его, и чтобы потомъ снова принимать свою первоначальную длину. Поясы, подвязки, чулки, перчатки, сапоги и все надѣваемое на голову, должно быть сдѣлано изъ упругихъ матерій; въ противномъ случаѣ, при движеніяхъ они причиняли бы боль членамъ нашего тѣла. Вмѣсто прямыхъ и параллельныхъ нитей для образованія упругихъ поверхностей готовятъ ткани, въ которыхъ нити слѣдуютъ изогнутому направленію и имѣютъ значительную длину; чрезъ это ткани дѣлаются способными вытягиваться отъ дѣйствія внѣшней силы; когда вытягивающая сила перестаетъ дѣйствовать, то онѣ снова стягиваются. Легкость, съ которою растягиваются и стягиваются ткани, дѣлаетъ ихъ удобными для покрытія такихъ частей тѣла, которыхъ видъ и растягиваніе при движеніи сильно измѣняется.

Изъ величинъ сопротивленія, оказываемаго тѣломъ, вслѣдствіе его упругости, можно заключить и о самомъ напряженіи дѣйствующей силы: на этомъ основано употребленіе пружинныхъ вѣсовъ (динамометровъ), употребляемыхъ, какъ мы уже говорили, для опредѣленія вѣса и вообще для нахожденія напряженія различныхъ силъ.

§ 202. Въ общежитіи весьма часто встрѣчается необходимость ^{опредѣленіе предѣла твердости.} опредѣлять степень твердости матеріаловъ, употребляемыхъ для построекъ и для другихъ цѣлей. Такъ напр. при сооруженіи мостовъ нужно знать: могутъ ли выдерживать давленіе, идущихъ по мосту экипажей, тѣ балки, на которыхъ лежитъ настилка моста. Оцѣнкою твердости въ этомъ случаѣ служитъ обыкновенно сопротивленіе, оказываемое тѣлами всякой внѣшней причинѣ, стремящейся къ разьединенію ихъ частицъ. Такъ какъ внѣшнія причины могутъ дѣйствовать на тѣла различнымъ образомъ, то сообразно тому и самая твердость тѣлъ бываетъ различна.

Такъ напр., если при этомъ тѣло *разрывается* — то твердость называется *абсолютною* (фиг. 714), въ отличіе отъ твердости *относительной*, когда испытываемое тѣло не разрывается, но ломается (фиг. 715).
 Фиг. 714. Фиг. 715. Фиг. 716.



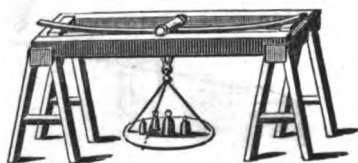
Если же мы будемъ производить раздавливаніе какого нибудь тѣла подъ доскою, посредствомъ рычага (фиг. 716) или другимъ подобнымъ способомъ, то опредѣляемая, въ послѣднемъ случаѣ,

твердость называется *возвратною*. Сюда должно отнести также сопротивленіе, оказываемое всякому давленію тѣлами, поставленными отвѣсно на какомъ нибудь твердомъ пьедесталѣ. Такъ напр. (фиг. 717) колонна, поддерживающая шаръ или бюстъ и лежащая на пьедесталѣ, обнаруживаетъ возвратную твердость. Твердость можетъ обнаруживаться также при *крученіи*. Во всѣхъ этихъ случаяхъ тѣла прежде разрыва болѣе или менѣе измѣняютъ свою форму. Форма эта, вслѣдствіе свойства упругости тѣлъ, по прекращеніи дѣйствія разрывающей силы, можетъ быть восстановлена снова; но это восстановленіе, какъ мы говорили выше, совершается только до *известнаго предѣла*.

Чтобы получить на практикѣ этотъ предѣлъ при изслѣдованіи абсолютной твердости тѣлъ, Мушенброкъ, знаменитый естествоиспытатель, жившій въ первой половинѣ 18 столѣтія въ Лейденѣ, привѣшивалъ (фиг. 718) къ оконечностямъ металлическихъ прутьевъ, (2 линіи въ поперечникѣ) различныя тяжести до тѣхъ поръ, пока прутья не разрывались. Онъ нашелъ, что для разрыва прута изъ англійскаго свинца надобно 25 фунтовъ вѣса, изъ сурьмы 30, изъ голландскаго цинку отъ 76 до 83, изъ висмута отъ 85 до 93, изъ англійскаго олова 150, изъ японской мѣди 573, изъ золота 578, изъ шведской мѣди 1059, изъ чистаго серебра 1156 и изъ нѣмецкаго

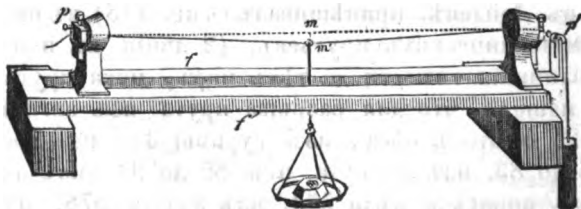
железа 1930 фунтовъ. Другіе опыты съ различными деревянными прутьями (3 линіи въ поперечникѣ) показали, что для разрыва соснового дерева надобно было брать 550 фунт., для елового 600, липового—1000, дубового—1150 и букового—1250 фунт. Шелковинка можетъ держать до 80, а человѣческій волосъ до 1500 гранъ. Выведенные въ этомъ отношеніи различными учеными законы согласуются между собою только въ томъ, что *абсолютная твердость тѣлъ возрастаетъ вмѣстѣ съ величиною поверхности поперечнаго разрыва испытуемаго тѣла и не находится въ опредѣленномъ отношеніи плотности его*; такъ напр. хотя золото плотнѣе железа, однако послѣднее, какъ видно изъ опытовъ, тверже перваго.

Для опредѣленія того же предѣла при относительной твердости обыкновенно даютъ испытываемому тѣлу видъ прута и кладутъ его горизонтально на станкѣ, какъ показывается 719-я фиг. Послѣ того Фиг. 719.



привѣшиваютъ къ срединѣ прута различныя тяжести до тѣхъ поръ, пока онъ не разломится. Того же самаго можно достигнуть, подперевъ средину прута, оконечности котораго обременены тяжестями (Фиг. 720). Выведенные изъ опытовъ результаты показываютъ намъ, что изъ двухъ бревенъ различной длины, имѣющихъ впрочемъ одинаковую ширину и толщину, длинное ломается скорѣе короткаго. Удвоивъ длину одного и того же бревна, мы найдемъ, что для разлома его будетъ потребна вдвое меньшая тяжесть. Это значитъ, что *относительная твердость обратно пропорциональна длинѣ тѣла*. Сравнивая бревна различной ширины, мы увидимъ, что при удвоенной ширинѣ бревна потребуется и удвоенная тяжесть для разлома. Но если примемъ во вниманіе различіе толщины бревенъ, то найдемъ, что вдвое толстое бревно потребуетъ для разлома учетверенной тяжести.

Проволока и металлическія пластинки, натянутыя какою нибудь силою, удлиняются пропорціонально величинѣ тгнущей силы. Справедливость этого можетъ быть подтверждена различными образами. Для весьма гибкихъ проволокъ употребляютъ приборъ, представленный на Фиг. 721.



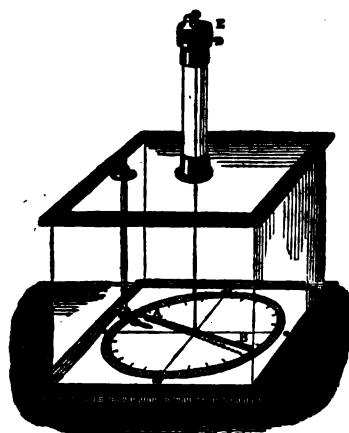
Въ немъ проволока располагается горизонтально и натягивается вѣсомъ опредѣленной гири. Когда проволока приобрѣла на-вѣстную натянутость,

то утверждаютъ конецъ ея, приходящійся противу гири. Высота про-

волоки опредѣляется съ точностію и къ срединѣ ея прикрѣпляется чашка, которую обременяють грузами. Тогда снова замѣчаютъ высоту срединны проволоки и опредѣляютъ съ точностію разстояніе mt' . Какъ разстоянія pt и mt' извѣстны, то легко уже вычислить гипотенузу pt' прямоугольнаго треугольника ptm' ; вслѣдствіе чего получается половина удлинненія: именно $pt' - pt$.

Что же касается до *возвратной твердости*, то она *зависитъ* преимущественно отъ *фигуры тѣла*. Такъ напримѣръ пирамидальное тѣло выдерживаетъ болѣе грузъ противу цилиндрическаго. Сплошной желѣзный шестъ выдерживаетъ менѣе давленія, нежели таже самая масса желѣза, вытянутая въ пустой цилиндръ. Сплошной столбъ выдерживаетъ большее давленіе противу такого же столба, составленнаго изъ нѣсколькихъ отдѣльных частей. При одномъ и томъ же видѣ тѣла возвратная твердость увеличивается съ величиною разрыва.

Законы крученія нитей опредѣлены были французскимъ физикомъ Кулономъ, умершимъ 1806 года. Въ своихъ изысканіяхъ по этому предмету Кулонъ пользовался изобрѣтенными имъ *крутильными вѣсами* (Фиг. 722). Эти вѣсы состоятъ изъ тонкой металлической проволоки укрѣпленной въ верхней части, и натянутой внизу небольшимъ грузомъ, къ которой прикрѣплена горизонтальная игла. Внизу находится раздѣленный на градусы кругъ, центръ котораго находится на продолженіи проволоки въ то время, когда она находится въ вертикальномъ направленіи. Сила, необходимая для отклоненія иглы изъ положенія ея равновѣсія на какой нибудь извѣстный уголъ, именуемый *угломъ крученія*, обозначается также особеннымъ названіемъ *силы крученія*. Послѣ этого отклоненія частицы, расположенныя до того на одной прямой линіи, съ направлениемъ длины проволоки, располагаются по спирали, завитой вокругъ этой проволоки. Когда предѣлъ упругости еще не пройденъ, то частицы стремятся принять свое первоначальное положеніе и приходятъ въ него на самомъ дѣлѣ, по прекращеніи дѣйствія силы крученія. Дойдя до первоначальнаго своего мѣста, частицы не останавливаются; онѣ проходятъ это положеніе, и производятъ крученіе въ противную сторону. Какъ равновѣсіе нарушено снова, то игла поворачивается опять назадъ и останавливается противъ нуля на кругѣ только послѣ извѣстнаго числа колебаній въ обѣ стороны отъ этой точки.



Помощью этого прибора Кулонъ нашелъ, для крученія металлических проволокъ, слѣдующіе четыре закона:

1. Если дуги колебаній не превышаютъ небольшого числа градусовъ, то эти колебанія почти совершенно одновременны.

2. Для одной и той же проволоки уголъ крученія пропорціоналенъ силѣ крученія.

3. Для одной и той же силы крученія и проволокъ одного діаметра, уголъ крученія пропорціоналенъ длинѣ проволокъ.

4. Для одной и той же силы и одинаковой длины проволоки уголъ крученія обратно пропорціоналенъ діаметру въ четвертой степени.

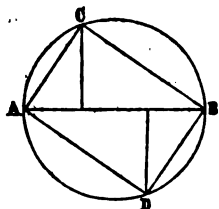
Важнѣйшія тѣла, твердость которыхъ приходится часто принимать во вниманіе при употребленіи, суть металлы, дерево и веревки.

Касательно металловъ опытъ показываетъ, что обыкновенно кованные металлы тверже, чѣмъ литые и теплые слабѣе холодныхъ; на эти обстоятельства надобно особенно обращать вниманіе при устройствѣ паровыхъ котловъ. Умѣреннаяковка возвышаетъ твердость; сплавы многихъ металловъ и отношеніе, наблюдаемое при этомъ между количествами ихъ, значительно измѣняетъ твердость металловъ, какъ это можно видѣть на пушечномъ металлѣ, на колокольномъ, зеркальномъ, на бронзѣ, которые всѣ состоятъ изъ мѣди и олова, взятыхъ въ различныхъ пропорціяхъ.

Между различными деревьями красное дерево имѣетъ большую относительную твердость противъ дубоваго и послѣднее большую противу сосноваго; но твердость одного и того же рода дерева зависитъ отъ возраста дерева, отъ свойства почвы, отъ климата и даже въ различныхъ частяхъ одного и того же ствола она очень различна, (дерево сучьевъ, ствола, сердцевины). Сырость также измѣняетъ твердость. Касательно веревокъ должно замѣтить, что твердость при той же толщинѣ и при одинаковомъ веществѣ бываетъ болѣе въ томъ случаѣ, если нити тоньше и мало сучены; чрезъ сученіе онѣ приходятъ въ натянутое состояніе и уже менѣе могутъ противиться разрыву, нежели некрученныя; поэтому при приготовленіи веревокъ должно скручивать ихъ до тѣхъ поръ, пока длина не уменьшится на $\frac{1}{4}$. Плетеныя веревки при другихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ крѣпче крученыхъ; мокрыя конопляныя веревки слабѣе сухихъ, намазанныя дегтемъ слабѣе ненамазанныхъ, бѣленыя слабѣе небѣленныхъ. Веревка, скрученная изъ тонкихъ проволокъ, крѣпче металлическаго прута одинаковой толщины и вѣса, потому что чрезъ вытягиваніе проволоки плотность и твердость каждой проволоки увеличивается.

Природа во всѣхъ своихъ произведеніяхъ внимательно беретъ въ расчетъ обстоятельства способствующія твердости, какъ это доказываютъ форма стволовъ деревьевъ, сучьевъ, стеблей и костей; во всѣхъ этихъ частяхъ мы замѣчаемъ достиженіе наибольшей твердости при наименьшей тратѣ матеріала. Четвероугольныя перекладки должны быть такъ приготовляемы, чтобы большая сторона разрѣза была высотой. Если надобно изъ круглаго бревна сдѣлать четвероугольную балку съ возможно большею относительною твердостью, то раздѣляютъ поперечникъ его на три равныя части; изъ одной точки раздѣла проводятъ перпендикуляръ вверхъ, а изъ другой книзу; потомъ продолжаютъ оба перпендикуляра до окружности, описанной половиною длины бревна

Фиг. 723.



на (фиг. 723) и соединяютъ концы ихъ C и D съ оконечностями діаметра круга.

Увеличеніе твердости весьма часто достигается особымъ расположеніемъ формы тѣла; такъ напр. мы видѣли форму, которую даютъ коромыслу, для пріобрѣтенія наибольшей твердости; точно также поступаютъ и съ маховыми колесами,

При вычисленіи твердости должно всегда обращать вниманіе на удѣльный вѣсъ тѣла; вслѣдствіе того при одномъ и томъ же веществѣ твердость не увеличивается собственно въ отношеніи величинъ тѣлъ.

§ 203. Разсмотримъ теперь силу сцѣпленія въ жидкихъ тѣлахъ, которыя раздѣляются, какъ извѣстно, на капельно жидкія и на упруго жидкія тѣла.

Дѣйств.
частиц.
сила въ
жидко-
стахъ.

Начнемъ съ капельно жидкихъ тѣлъ.

Существованіе силы сцѣпленія въ нихъ не можетъ уже быть обнаружено, подобно тому какъ у твердыхъ тѣлъ, сопротивленіемъ встрѣчаемымъ при разъединеніи частицъ, потому что послѣднія въ жидкихъ тѣлахъ уступаютъ малѣйшей внѣшней силѣ.

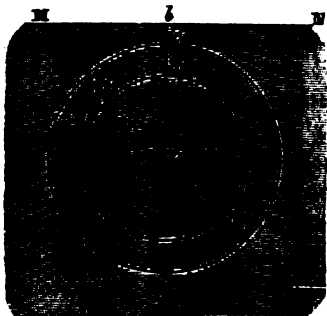
Мы убѣждаемся въ существованіи сцѣпленія между частицами жидкостей шарообразнымъ видомъ капель и растягиваніемъ послѣднихъ въ томъ случаѣ, когда онѣ висятъ на оконечности какого нибудь твердаго тѣла, какъ напр. стеклянной палочки; понятно, что безъ взаимнаго притяженія висящія на палочкѣ частицы жидкости должны бы покориться дѣйствію тяжести и падать кивзу, подобно частичкамъ пыли.

Сила сцѣпленія въ жидкихъ тѣлахъ дѣйствуетъ вмѣстѣ съ отталкивающею силою. Слѣдствія, происходящія отъ этого взаимнаго дѣйствія силъ, очевидно могутъ быть опредѣлены перевѣсомъ одной силы надъ другою. Трудная сжимаемость жидкихъ частицъ показываетъ, что, при сближеніи ихъ, отталкивающая сила увеличивается сильнѣе противу силы сцѣпленія; на большемъ же разстояніи должна оказывать перевѣсъ послѣдняя сила, въ пользу чего говорить явленіе обнаруживаемое каплей, висящей на стеклянной палочкѣ. Изъ этого легко понять, почему дѣйствіе отталкивающей силы должно уничтожаться быстрѣе противу сцѣпленія. Поэтому сферу притяженія въ жидкихъ тѣлахъ мы должны принять большую, противу сферы отталкиванія.

Разсмотримъ теперь ближе, какое дѣйствіе обнаруживаетъ внутри жидкости сила сцѣпленія въ совокупности съ отталкивающей силою.

Положимъ, что *MN* (фиг. 724) представляетъ поверхность жидкости, *a*—частица, которой разстояніе *ab* отъ

Фиг. 724.



поверхности болѣе радіуса сферы притяженія этой частицы, сферы, описанной вокругъ точки *a* радіусомъ *ac*; пусть *ad* будетъ радіусъ меньшей сферы отталкивающей силы. Чтобы опредѣлить дѣйствіе, обнаруживаемое на *a* сосѣдними частицами, проведемъ отъ какой нибудь частицы *m*, лежащей внутри сферы дѣйствія этихъ частицъ, прямую линію *ta*, продолжимъ ее и отложимъ часть *na* =

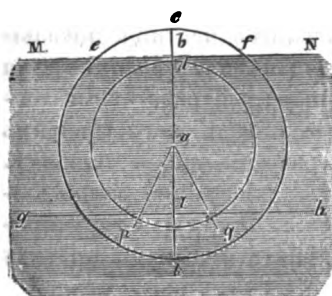
ta. Частица *n* будетъ лежать отъ *a* въ одинаковомъ удаленіи съ *m* и потому будетъ обнаруживать на *a* равное дѣйствіе съ послѣднею, но только по противоположному направленію. Поэтому дѣйствіе *m* и *n* на частицу *a* должно взаимно уничтожаться. Какъ для каждой частицы внутри сферы притяженія можетъ быть найдена такимъ

Часть I.

64

же образомъ другая частица равноудаленная отъ a и дѣйствующая по противоположному направленію, то очевидно, что притягательныя силы всѣхъ частицъ, могущихъ обнаруживать свое дѣйствіе на a , будутъ взаимно уничтожаться. Тоже самое происходитъ и со всѣми отталкивающими силами, оказываемыми на a частицами, лежащими внутри меньшей сферы отталкиванія. Вслѣдствіе того какъ частица a , такъ и всякая другая, разстояніе которой отъ поверхности жидкости превосходитъ радіусъ сферы притяженія, не получаетъ никакого побужденія къ движенію со стороны сосѣднихъ частицъ. Это служитъ причиною, почему внутри жидкости частицы обладаютъ весьма легкою подвижностію и почему сферы дѣйствія силъ каждой частицы дѣйствуютъ съ одинаковою силою на другія равно удаленныя частицы.

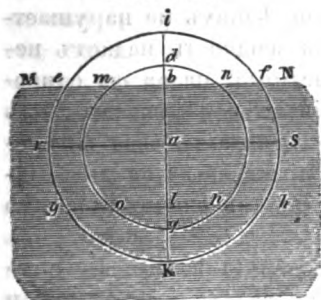
Посмотримъ теперь, какое вліяніе оказываютъ частицы жидкости на частицу, которой разстояніе ab (фиг. 725) отъ поверхности менѣе радіуса сферы притяженія, но болѣе радіуса сферы ея отталкиванія. Положимъ, что обѣ сферы дѣйствія описаны вокругъ точки a радіусами ac и ad и что gh представляетъ плоскость параллельную къ MN и проведенную ниже a на разстояніи $al = ab$. Легко понять, что отталкивающія силы, дѣйствующія на a , должны взаимно уничтожаться точно такъ какъ и притягательныя силы частицъ, лежащихъ въ части шара $egfh$. Частицы же, лежащія въ части шара $gkhl$, оказываютъ на a притяженіе, и дѣйствіе ихъ не уничтожается про-



тивоположной силой, потому что соответствующая и противоположно-лежащая часть притягательной сферы $ebfc$, которая могла бы уничтожать притяженіе частицъ $gkhl$, находится внѣ жидкости. Вслѣдствіе совокупнаго притяженія частицъ, лежащихъ въ части $gkhl$, частица a претерпѣваетъ давленіе книзу по направленію ak перпендикулярному къ поверхности MN , потому что для каждой частицы p мы можемъ найти равно удаленную отъ ak частицу q , которая, дѣйствуя одинаково съ p , даетъ равнодѣйствующую по линіи ak , раздѣляющей уголъ pad пополамъ. Что мы сказали о частицѣ a , то можно отнести и ко всѣмъ частицамъ, которыхъ разстояніе отъ поверхности менѣе противу радіуса сферы притяженія. Всѣ эти частицы, по причинѣ незначительности радіуса сферы притяженія, образуютъ на поверхности неизмѣримо тонкій слой. Частицы этого слоя вслѣдствіе дѣйствія частичныхъ силъ претерпѣваютъ давленіе книзу, давленіе, которымъ объясняется значительность сцѣпленія частицъ поверхности; это сцѣпленіе служитъ причиною, почему швейная игла можетъ лежать на поверхности воды, не погружаясь въ воду.

Разсмотримъ теперь третій случай, когда частица a (фиг. 726) лежитъ отъ поверхности въ разстояніи ab ,

Фиг. 726.



меньшемъ противу радіуса отталкивающей сферы; если продолжить ab и на продолженіи отложить часть $al = ab$ и потомъ чрезъ точки l и a провести двѣ параллельныя къ MN плоскости gh и rs , то, поступая точно также какъ и въ предыдущемъ случаѣ, не трудно убѣдиться, что дѣйствіе на a всѣхъ частицъ, лежащихъ внутри пространства $efrs$, будетъ уничтожаться равнымъ и противоположнымъ дѣй-

ствіемъ частицъ, находящихся въ одинаковомъ пространствѣ $rghs$; однимъ словомъ, дѣйствіе будетъ то же, какъ и въ томъ случаѣ, когда бы частицы, лежащія между плоскостями ef и gh вовсе не дѣйствовали на a . Съ другой стороны отталкиваніе частицъ части шара $ogpl$, въ сферѣ дѣйствія которыхъ не находится частица a , равно какъ и притяженіе частицъ, лежащихъ внутри $ghlk$, не будутъ уже встрѣчать противодѣйствующихъ силъ, потому что соотвѣтствующія части сферы лежатъ внѣ жидкости. Число частицъ, лежащихъ внутри $ghkl$ и дѣйствующихъ притягательно на a , конечно болѣе противу числа частицъ, находящихся въ пространствѣ $ogpl$ и обладающихъ отталкивающей силою. Но послѣднія, вслѣдствіе ближайшаго своего расположенія къ a , могутъ дѣйствовать сильнѣе противу первыхъ. Принимая въ соображеніе это обстоятельство и обративъ вниманіе на то, что отталкивающая часть сферы будетъ увеличиваться по мѣрѣ приближенія частицы a къ поверхности и что отталкиваніе возрастаетъ въ большемъ отношеніи противу притяженія, которое вообще у жидкихъ тѣлъ бываетъ весьма слабо, легко понять, почему частицы, образующія верхніе слои жидкости, могутъ претерпѣвать со стороны нижележащихъ давленіе снизу вверхъ сильнѣе противу притяженія, оказываемаго на нихъ по противоположному направленію. Вслѣдствіе того даже при обыкновенной температурѣ частицы, лежащія на поверхности, сами собою переходятъ въ газообразное состояніе или, какъ говорятъ, *испаряются*. Въ этомъ испареніи не трудно убѣдиться каждому, поставивъ на воздухъ тарелку съ водою; жидкость будетъ убывать мало по малу слоями, начиная отъ поверхности. Показанный нами перевѣсъ отталкивающей силы уменьшается быстро по мѣрѣ удаленія отъ поверхности книзу и скоро уничтожается совершенно, вслѣдъ зачѣмъ начинается слой, въ которомъ обнаруживается перевѣсъ давленія книзу.

Если же жидкое тѣло предоставлено самому себѣ въ пространствѣ, такъ что поверхность его остается свободною со всѣхъ сторонъ, то такое тѣло должно принять форму шара, вслѣдствіе давленій стремящихся притягивать съ одинаковою силою во внутренность массы всѣ частицы поверхности тѣла и дѣйствующихъ на нихъ по направленію перпендикулярному къ этой поверхности.

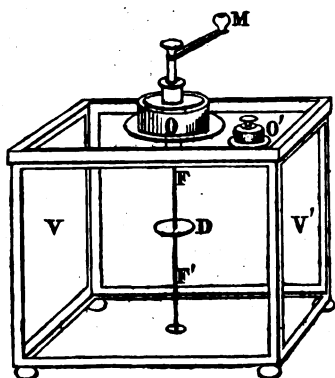
Справедливость этого подтверждается всякій разъ, въ томъ случаѣ, когда жидкое тѣло раздробляется на небольшія массы и когда сверхъ того дѣйствіе частичныхъ силъ въ послѣднихъ не нарушается вліяніемъ другихъ силъ, такъ напр. если жидкость падаетъ небольшими каплями: въ этомъ случаѣ всѣ частицы, падая съ одинаковою скоростію, сохраняютъ во время паденія въ неизмѣнномъ видѣ внутреннія частичныя силы. Такимъ образомъ падаетъ вода во время дождя почти шарообразными каплями. Что же касается до большихъ массъ, то шарообразность формы нарушается значительною давленіемъ верхнихъ частицъ на нижнія.

Но образованіе жидкостями шарообразной формы вслѣдствіе сцѣпленія, самымъ очевиднымъ образомъ доказываетъ остроумный и важный опытъ Плато. Мы неоднократно имѣли уже случай указывать на тѣ результаты, къ которымъ ведетъ этотъ опытъ и намъ остается здѣсь разсмотрѣть его только съ нѣкоторою подробностію.

Чтобы обнаружить вліяніе частичныхъ силъ на жидкую массу надлежало освободить ее отъ всякаго вліянія постороннихъ силъ. Задачу эту Плато разрѣшилъ слѣдующимъ образомъ.

Жирныя масла, какъ извѣстно, имѣютъ плотность меньшую противу воды и большую противу спирта. Если составить изъ воды и спирта такую смѣсь, которая бы имѣла одинаковую плотность, напр. съ оливковымъ масломъ, то понятно, что при погруженіи въ эту смѣсь извѣстнаго количества масла послѣднее будетъ находиться въ одинаковомъ отношеніи къ окружающей жидкости съ тѣми частицами, мѣсто которыхъ она заняла; во всѣхъ точкахъ жидкости масло будетъ находиться въ равновѣсіи и вся равнина между нимъ и вытѣсненною жидкостію будетъ заключаться только въ томъ, что присутствіе перваго замѣтно для глаза, между тѣмъ какъ послѣдняя сливается съ остальною массою жидкости. Чтобы удобнѣе и точнѣе опредѣлить форму принимаемую каплею масла, погруженною въ описанную нами смѣсь, надлежало сдѣлать опытъ въ такомъ сосудѣ, стѣнки котораго не измѣняли бы для глаза формы капли. Вотъ причина, почему Плато не употребилъ для опыта ни сферическаго, ни цилиндрическаго сосудовъ, кривизна стѣнокъ которыхъ, какъ мы

Фиг. 727.



увидимъ впослѣдствіи, измѣняетъ для глаза форму тѣла. Для опыта Плато взялъ сосудъ съ параллельными стѣнками (фиг. 727) V , V' , связанными общей металлической рамкой. Въ крышкѣ этого ящика находится два отверстія, изъ которыхъ одно большее по срединѣ O затыкается желѣзною пробкой, пропускающей тонкую стеклянную ось FF' съ желѣзнымъ кружкомъ D около 35 миллиметровъ въ діаметръ. Ось эта приводится во вращеніе посредствомъ ру-

колути *М*. Другое отверстіе *O'* служитъ для наливапія въ сосудъ какъ смѣси, такъ и самаго масла. Наполнивши сосудъ сперва смѣсью (воды и спирта), которой плотность равняется плотности оливковаго масла *. Опускаютъ въ отверстіе *O'* воронку, доходящую до середины сосуда. Въ эту воронку наливаютъ немного оливковаго масла, которое по достиженіи утонченнаго конца воронки образуетъ шарикъ не смѣшивающійся съ остальною жидкостью. Когда діаметръ шарика достигнетъ 2 сантиметровъ, встряхиваютъ воронку въ томъ случаѣ, если шарикъ не отдѣлется отъ нея самъ собою. Если шарикъ опускается на дно смѣси, то значить, что тяжесть дѣйствуетъ на него сильнѣе, нежели на ту массу жидкости, мѣсто которой онъ занялъ. Если же плотность его болѣе противу плотности смѣси, то очевидно, что въ послѣдней заключалось спирту болѣе противу надлежащаго и потому слѣдуетъ прилить воды. Точно также, если шарикъ поднимается, то приливаютъ масла. Прибавляя воду или спиртъ, и встряхивая при каждомъ прибавленіи жидкость, можно наконецъ дойти до совершеннаго освобожденія шарика отъ объясненнаго нами дѣйствія тяжести, т. е. что шарикъ не будетъ ни опускаться ни подниматься. Это значить, что смѣсь достигла надлежащей плотности. При дальнѣйшемъ прибавленіи масла весьма часто получаются отдѣльные шарики, тогда чрезъ отверстіе *O'* пропускаютъ желѣзную проволоку и протыкаютъ ею наибольшій шарикъ. Шарикъ этотъ приводится въ прикосновеніе съ сосѣднимъ шарикомъ, и протыкаютъ послѣдній оконечностію проволоки, проходящей чрезъ средину перваго шарика; тогда оба шарика соединяются тотчасъ другъ съ другомъ. Послѣ этого переходятъ также къ третьему шарiku до тѣхъ поръ, пока вся масса масла не будетъ имѣть въ діаметрѣ отъ 6 до 7 сантиметровъ. Но должно замѣтить, что равновѣсіе полученной массы не будетъ сохраняться долго; послѣ нѣсколькихъ минутъ масло поднимется; тогда прибавляютъ немного спирту. Спустя извѣстное время, мы увидимъ, что равновѣсіе вновь нарушится и новая прибавка спирту сдѣлается необходимою, такъ что только по прошествіи нѣсколькихъ дней мы получимъ устойчивое равновѣсіе. Эта прибавка дѣлается потому, что спиртъ распределяется въ смѣси слоями, которыхъ плотность уменьшается, начиная отъ дна сосуда. Чрезъ постепенное прибавленіе спирта мы можемъ наконецъ получить по срединѣ сосуда слой, котораго плотность будетъ равна плотности масла.

По достиженіи этого условія масса масла принимаетъ совершенно шарообразную форму.

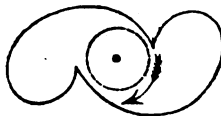
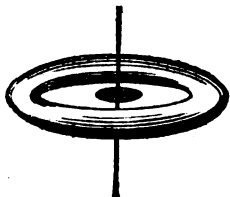
Мы описали этотъ опытъ съ нѣкоторою подробностію, потому что онъ весьма поучителенъ по своимъ теоретическимъ примѣненіямъ, между которыми одно изъ главнѣйшихъ есть объясненіе самаго вида земли.

* Смѣсь эта должна показывать около 22 градусовъ на ареометрѣ Бомэ. (См. гидростатика).

Желая войти въ дальнѣйшія подробности опыта Плато, мы считаемъ необходимымъ повторить уже сказанное нами выше, на счетъ наружнаго вида земли.

Представимъ себѣ, что земля представляла нѣкогда жидкое тѣло одинаковой плотности и что она была прежде въ спокойномъ состояніи, не произвела вращенія на своей оси. Помянуто, что при этихъ условіяхъ масса земли, неподверженная дѣйствию никакихъ ностеронныхъ силъ, подобно шару масла въ опытѣ Плато, должна была имѣть шарообразную форму. Мы могли бы представить ее тогда въ видѣ тѣла, составленнаго изъ безчисленнаго множества шаровыхъ поверхностей. Всѣ точки каждой такой поверхности очевидно должны бы притягиваться одинаково къ центру шара и потому находиться въ равновѣсіи. При вращеніи такого шара на оси всѣ точки его, за исключеніемъ точекъ, лежащихъ на послѣдней, приобретутъ центробѣжную силу. Вслѣдствіе того точки эти, сообразно величинѣ центробѣжной силы, будутъ или удаляться или стремиться къ удаленію отъ оси вращенія. Стремленіе это будетъ постепенно увеличиваться по мѣрѣ приближенія отъ полюсовъ къ экватору. Если бы напряженіе тяжести не превышало напряженія центробѣжной силы, то земля не могла бы составлять плотной массы. При извѣстномъ же отношеніи между напряженіемъ тяжести и величиною центробѣжной силы, послѣдняя въ состояніи произвести возвышеніе у экватора и сжатіе у полюсовъ. Что подобное явленіе въ дѣйствительности можетъ произойти при вращеніи жидкой массы, показываетъ намъ опытъ Плато. И въ самомъ дѣлѣ, если въ приборѣ, представленномъ нами на фиг. 727-й, подвести шарикъ масла къ желѣзному кружку *D* и привести ось *FF'* въ медленное вращеніе (со скоростью одного оборота въ 5 или 6 секундъ), то мы замѣтимъ ясно сплюснутость у оконечностей оси вращенія и возвышеніе на діаметрѣ перпендикулярномъ къ оси.

Это сжатіе и возвышеніе продолжается постоянно до тѣхъ поръ, пока скорость не превышаетъ двухъ или трехъ оборотовъ въ секунду; за этимъ предѣломъ въ жидкой массѣ образуются углубленія сверху и снизу вокругъ оси вращенія (фиг. 729), при чемъ вся масса вытягивается постепенно по горизонтальному направленію. При дальнѣйшемъ вращеніи масса



отдѣляется отъ кружка *D* и образуетъ совершенно правильное кольцо (фиг. 728). При началѣ отдѣленія своего кольцо это быстро увеличивается въ діаметрѣ; когда же увеличеніе діаметра прекращается, то перестаютъ вертѣть ось *FF'*. Кольцо остается неизмѣннымъ въ продолженіи нѣсколькихъ секундъ, вращаясь при этомъ вокругъ оси *FF'*. Когда сопротивление жидкости прекращаетъ вращеніе, то кольцо собирается снова въ сферическую массу вокругъ кружка *D*.

Вообще, передъ самымъ отдѣленіемъ своимъ, кольцо соединяется съ кружкомъ *D* посредствомъ чрезвычайно тонкаго слоя масла. Въ мгновеніе полнаго развитія кольца, когда перестаютъ вертѣть ось, слой этотъ тотчасъ исчезаетъ самъ собою. По мнѣнію Плато, слой этотъ, дѣйствуя на внутреннюю поверхность кольца, заставляетъ послѣднее принимать удлиненную форму. Вліяніе слоя онъ подтверждаетъ слѣдующимъ явленіемъ: если приостановить вращеніе оси нѣсколько ранѣе того мгновенія, когда діаметръ кольца достигаетъ наибольшаго предѣла, слой масла не только не разрывается, но приводитъ всю массу къ кружку *D*.

Полученное такимъ образомъ кольцо Плато сравниваетъ съ кольцомъ планеты Сатурна. Этому физику удалось даже получить масляную сферу, окруженную кольцомъ, совершенно похожимъ на кольцо Сатурна.

Если продолжать вращение оси во время полного образования кольца, то оно измѣняетъ свою форму и разрывается на нѣсколько массъ, изъ которыхъ каждая вскорѣ принимаетъ сферическую форму. Приостановивъ тогда вращение оси, мы замѣчаемъ новое явленіе: эти отдѣльныя сферы, при самомъ началѣ своего образованія, начинаютъ вращаться вокругъ своихъ осей въ одну сторону съ направлениемъ общаго ихъ вращенія. Явленіе это вполне согласуется съ извѣстной космогонической теоріей Лапласа, разсмотрѣніе которой относится къ курсу астрономіи.

§ 204. Перейдемъ теперь къ воздухообразнымъ тѣламъ. Частицы ^{Дѣйств. частицъ газавъ.} этихъ тѣлъ, какъ мы уже говорили, обладаютъ способностію разширяться до неопредѣленныхъ границъ, если не будетъ противопоставлено предѣловъ этому разширенію. Обстоятельство это не только показываетъ присутствіе разширительной силы, но и самый перевѣсъ ея надъ силой притяженія. А что послѣдняя сила существуетъ между частицами газавъ видно изъ слѣдующаго обстоятельства. Если посредствомъ давленія или охлажденія привести частицы газавъ въ довольно близкое прикосновеніе между собою, то онѣ принимаютъ жидкое состояніе, что конечно не могло бы произойти, если бы между ними не существовало вовсе сдѣленія.

§ 205. Сила сдѣленія въ каждомъ изъ этихъ трехъ состояній ^{Зависимость сдѣленія отъ теплоты.} скопленія тѣлъ, кромѣ внѣшняго давленія, зависитъ также отъ теплоты и, какъ показываютъ опыты, можетъ быть увеличена и уменьшена въ тѣлахъ по мѣрѣ уменьшенія или увеличенія температуры.

Если бы предположить, что вся матерія, составляющая землю, была бы въ нѣсколько тысячъ разъ жарче кипящей воды, то вмѣстѣ съ этимъ связь между всѣми частицами матеріи уничтожилась бы совершенно. Если же, на оборотъ, теплота уменьшилась бы на земномъ шарѣ въ нѣсколько тысячъ разъ, то всѣ частицы матеріи вошли бы въ такую тѣсную связь между собою, что мы никакимъ механическимъ образомъ не въ состояніи бы были отдѣлить ихъ другъ отъ друга.

Только при существующемъ положеніи теплоты на землѣ, встрѣчаемъ мы всѣ три состоянія скопленія тѣлъ: твердое, жидкое и газообразное.

Наблюденіе показываетъ намъ, что самый переходъ тѣлъ изъ одного состоянія въ другое зависитъ отъ дѣйствія теплоты, чему служить примѣромъ вода, которая отъ уменьшенія теплоты или отъ охлажденія переходитъ въ ледъ, а отъ увеличенія теплоты образуетъ пары.

§ 206. *Обратимся теперь къ дѣйствию частицъ: о притяженіи между разнородными прикасающимися тѣлами.* ^{Дѣйств. частицъ между разнородными тѣлами.}

Если тѣла, обладающія различными свойствами, приходятъ во взаимное прикосновеніе между собою, то частицы ихъ оказываютъ взаимное притяженіе, дѣйствіе котораго простирается на весьма незначительномъ, неизмѣнномъ разстояніи. Сила этого притяженія какъ для различныхъ тѣлъ, такъ и для однихъ и тѣхъ же, при различныхъ

обстоятельствахъ, бываетъ различна, поэтому и дѣйствія, производимыя этимъ притяженіемъ, обнаруживаются не одинаковымъ образомъ. Притяженіе это представляетъ слѣдующія явленія:

1) Два прикасающіяся между собою *разнородныя тѣла* пристають другъ ко другу въ иныхъ случаяхъ такъ сильно, что для разъединенія ихъ бываетъ необходимо употребить извѣстное усиліе; явленіе это называютъ *прилипаніемъ*.

2) Во многихъ случаяхъ жидкость не только смачиваетъ поверхность твердаго тѣла, но проникаетъ даже въ поры послѣдняго и, вслѣдствіе сильнаго притяженія обнаруживаемаго частицами жидкости на частицы твердаго тѣла, нарушаетъ связь между послѣдними и заставляеть ихъ разъединиться, такъ что въ цѣломъ получается однообразная масса, во всѣхъ частицахъ которой легко обнаружить свойства какъ твердаго, такъ и жидкаго тѣла; въ справедливости сказаннаго нами легко убѣдиться, бросивши кусочекъ поваренной соли въ воду. Явленіе называется *раствореніемъ*; самое же соединеніе твердаго тѣла съ жидкимъ — *растворомъ*.

3) Частицы жидкихъ тѣлъ, приведенныя въ прикосновеніе съ частицами другихъ жидкостей, вслѣдствіе взаимнаго притяженія могутъ образовать однородную во всѣхъ частяхъ жидкость, обнаруживающую свойства обѣихъ своихъ составныхъ частей, присутствіе которыхъ легко можетъ быть въ ней замѣчено; подобное явленіе, растворенія происходящее, напр. при влитіи вина въ воду, называется *смѣшеніемъ*.

4) Въ иныхъ же случаяхъ прикасающіяся тѣла дѣйствуютъ съ такимъ сильнымъ притяженіемъ другъ на друга, что частицы ихъ приходятъ въ разъединенное состояніе и образуютъ совершенно новое однородное соединеніе, въ которомъ составныя части не только ускользаютъ отъ нашихъ чувствъ, но совершенно теряютъ свои характеристическіе признаки. Притяженіе, вслѣдствіе котораго два разнородныя тѣла образуютъ новое, однородное соединеніе, называютъ *химическимъ притяженіемъ* или *сродствомъ*.

Прили-
паніе.

§ 207. Сила прилипанія зависитъ отъ вещества прикасающихся тѣлъ, отъ количества прикасающихся точекъ (слѣдовательно отъ гладкости ихъ поверхностей) и также отъ температуры. Прилипаніе наиболее обнаруживается между твердыми и жидкими тѣлами, потому что послѣднія вслѣдствіе легкой подвижности ихъ частицъ могутъ входить въ весьма близкое прикосновеніе съ твердыми тѣлами. Фиг. 730 и 731.



На фиг. 730 представленъ самый простой способъ обнаруженія прилипанія между стеклян-
ной палочкой и водою, а на фиг. 731 между
стеклянной пластинкой и поверхностію воды;
при поднятіи пластинки поднимается вмѣстѣ
съ нею и слой жидкости, такъ что для оторва-
нія пластинки необходимо употребить извѣстное
усиліе. Величина этого усилія не можетъ быть
опредѣлена съ точностію нашимъ собственнымъ

чувствомъ и потому для ближайшаго изслѣдованія силы прилипанія употребляютъ слѣдующій способъ. Привязываютъ нитку пластинки къ крючку, прикрѣпленному къ нижней части одной изъ чашекъ вѣсовъ, и кладутъ на другую чашку гири до тѣхъ поръ, пока коромысло не приметъ совершенно горизонтальнаго положенія; потомъ ставятъ подъ пластинкою сосудъ съ водою и поднимаютъ его до тѣхъ поръ, пока поверхность воды не придетъ въ прикосновеніе съ пластинкою. Желая оторвать пластинку отъ поверхности воды, намъ должно будетъ приложить нѣсколько грановъ на другую чашку вѣсовъ. Если прибавлять небольшія гири постепенно, такъ напр. $\frac{1}{10}$ ч. грана, то мы можемъ съ точностію остановить ея на томъ грузѣ, при которомъ произойдетъ разрывъ и который долженъ опредѣлять величину сопротивленія встрѣчаемаго при разрывѣ. Но это сопротивленіе не происходитъ въ настоящемъ случаѣ отъ прилипанія, потому что поднятая стеклянная пластинка остается смоченною водою на нижней своей поверхности: слѣдовательно произошелъ разрывъ не между пластинкою и водою, но только между частицами воды и по этому въ настоящемъ опытѣ мы собственно преодолѣли силу сцѣпленія воды. Опытъ этотъ показываетъ, что одинаковыя пластинки различныхъ веществъ, смачивающихся водою, требуютъ постоянно одинаковаго напряженія для оторванія ихъ отъ послѣдней. Изъ того же опыта слѣдуетъ, что жидкости, смачивающія твердое тѣло, обнаруживаютъ къ этому тѣлу прилипаніе, напряженіе котораго превосходитъ силу сцѣпленія частицъ жидкости. Вслѣдствіе того жидкости не только пристають къ твердымъ тѣламъ, но распространяются на ихъ поверхности, расплываются и даже теряютъ шарообразный видъ въ томъ случаѣ, если при самомъ началѣ прилипанія онѣ имѣли форму капель. Слѣдовательно, *намачиваніе твердаго тѣла показываетъ, что сила сцѣпленія въ жидкихъ тѣлахъ менѣе притяженія, обнаруживаемаго между ними и твердыми тѣлами.*

Подтвержденіемъ этого могутъ служить капли воды, намачивающія стеклянные или деревянные пластинки, капли ртути, пристающія къ олову, свинцу, серебру и золоту. Если погрузить одинъ изъ этихъ металловъ въ ртуть, то по выступленіи его наружу послѣдняя будетъ показывать совершенно всю погруженную часть, что и показываетъ значительность прилипанія, существующаго между взятымъ нами металломъ и ртутью.

Обратное явленіе представляетъ намъ стеклянная пластинка, по Фиг. 732. груженная въ ртуть (фиг. 732). Если прикрѣпленную къ вѣсамъ пластинку привести въ прикосновеніе со ртутью, то она остается повисшею на ртуті и для отдѣленія пластинки достаточно приложить извѣстный вѣсъ на другую чашку вѣсовъ; но въ этомъ случаѣ пластинка не будетъ уже смочена жидкостію; повтому вѣсъ гири, употребленной для разъединенія, будетъ служить истинной мѣрой прилипанія, которое существуетъ между стекломъ и ртутью, и которое въ настоящемъ случаѣ менѣе сцѣпленія между частицами ртути.

Часть I.

65



Если производить опытъ съ различными, но одинаковой величины пластинками, не смачивающимися ртутью, то найдемъ, что должно будетъ употребить различнаго вѣса гири, а это показываетъ, что между ртутью и различными веществами прилипание не одинаково. Изъ этого слѣдуетъ, что *капли жидкости, у которыхъ сдѣланіе сильнѣе противу прилипанія ихъ къ твердымъ тѣламъ, не расплываются по поверхности послѣднихъ, но сохраняютъ свою шарообразную форму.*

Такимъ образомъ капли ртути сохраняютъ шарообразность на желѣзныхъ и стеклянныхъ пластинкахъ, хотя онѣ и притягиваются стекломъ, потому что небольшія стеклянные капли, находящіяся на стеклянной пластинкѣ, висятъ на ней даже и по перевертываніи пластинки.

Если намазать поверхность стеклянной пластинки тончайшимъ слоемъ сала, то вода не будетъ уже намачивать этой поверхности; падающія на эту поверхность водяныя капли не расплываются, но сохраняютъ свой шарообразный видъ. Явленіе это показываетъ, что *прилипленіе частицъ стекла простираетъ свое дѣйствіе только на весьма маломъ, неизмѣримомъ разстояніи*, справедливость чего подтверждается также и тѣмъ, что увеличеніе толстоты пластинки не усиливаетъ нисколько притяженія между нею и жидкостію. Поэтому только тогда частицы стекла производятъ притяженіе, когда онѣ лежатъ весьма близко къ частицамъ воды; при замѣтномъ же удаленіи притяженіе становится недѣйствительнымъ.

Слабое прилипание между жиромъ и водою служитъ причиною, почему жирныя перья, такъ называемыхъ, водяныхъ птицъ не смачиваются водою.

Сопротивленіе, встрѣчаемое при отрываніи пластинокъ отъ поверхности жидкости, не смачивающей ихъ, возрастаетъ съ величиною пластинокъ и съ уменьшеніемъ температуры; изъ этого слѣдуетъ, что *прилипание усиливается съ увеличеніемъ числа прикасающихся точекъ и уменьшается съ нагрѣваніемъ жидкости.*

Явленіе прилипанія имѣетъ большое примѣненіе въ обществѣ; писаніе основано на прилипаніи между бумагою и чернилами; если покрыть бумагу слоемъ жиру, то чернила не пристають уже къ ней, потому что частицы чернилъ оказываютъ между собою сильнѣйшее сдѣленіе противу притяженія, пронеходящаго между ними и жиромъ. На прилипаніи основывается рисованіе карандашемъ, литографированіе, покрытіе предметовъ красками и лакомъ, употребленіе разныхъ смазокъ: глины, клейстера и подобныхъ матеріаловъ, соединяющихъ частицы металловъ, камней, дерева, кожи, бумаги и др. Сюда же должно отнести употребленіе смазки и спиваніе. Цементъ (смѣсь гашеной извести и песку) имѣетъ свойство прилипать къ скважистымъ камнямъ и по высушкѣ держаться крѣпко на нихъ; но для высушки цемента (безъ чего не можетъ произойти связыванія его) необходимо, чтобы заключающаяся въ воздухѣ углекислота могла соединяться съ известью и чтобы вытѣсняемая изъ извести вода могла переходить въ воздухъ въ видѣ паровъ; поэтому для высушки цемента доступъ атмосфернаго воздуха составляетъ необходимое условіе.

Прилипаніемъ объясняется, почему жидкость, выливаемая медленно изъ сосуда, стекаетъ по вѣнчатымъ краямъ его, въ особенности если стаканъ мало наклоненъ. Для устраненія этого обыкновенно нагибають стаканъ такимъ образомъ, чтобы между выливаемою жидкостію и стѣнками сосуда образовалось достаточное разстояніе, которое бы могло воспрепятствовать дѣйствію прилипанія.

Чтобы уменьшить при выливаніи число точек прикосновенія жидкости къ Фиг. 733. стакану, послѣдній снабжается острокопечнымъ выступомъ (Фиг. 733), въ видѣ носика, какъ напр. у чайниковъ, кружекъ и другихъ сосудовъ. Того же самаго достигаютъ смазываніемъ стакана саломъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ должна вытекать жидкость, не смачивающая сало.



Если жидкость бываетъ мутна, то это значить, что въ ней заключаются нерастворимыя твердыя частицы. Вслѣдствіе притяженія между ними и частицами жидкости первыя, судя по относительному своему вѣсу, или опадаютъ медленно книзу, или собираются близъ поверхности жидкости. Для воспрепятствованія этого прилипанія между твердымъ и жидкимъ тѣломъ, достаточно прозвѣсти хотя незначительное измѣненіе въ свойствахъ жидкости. Такъ напр. извѣстно, что вода прудовъ и рѣкъ, отъ частыхъ дождей, вслѣдствіе присутствія множества мелкихъ глиняныхъ частицъ дѣлается весьма мутною, даже послѣ нѣсколькихъ недѣль отстоянія и частаго фильтрованія (процѣживания), нельзя ее сдѣлать чистою и прозрачною. Но если въ эту мутную воду погрузить не нѣсколько мгновеній кусочекъ квасцовъ, то тотчасъ происходитъ быстрое осаживаніе частицъ, бывшихъ причиною мутности. Достаточное для этого количество квасцовъ такъ незначительно, что слѣды ихъ едва могутъ быть открыты въ водѣ.

Прилипаніе служитъ причиною, почему пыль держится на отвѣсныхъ стѣнахъ, тогда какъ вслѣдствіе тяжести она должна падать книзу. Въ природѣ встрѣчаются тѣла, состоящія изъ различныхъ крѣпко приставшихъ между собою частей, какъ напр. гранитъ, состоящій изъ видимыхъ частей кварца, полевого шпата и слюды. На прилипаніи, обнаруживающемся между твердыми тѣлами, основывается позолота и посеребреніе; при чемъ дерево, камни, гипсъ, стекло, бумага покрываются тонкимъ слоемъ золота или серебра; иногда этотъ слой увеличивается въ толщину и тогда называютъ его *жакетной работою*. Поверхность вещества, назначенная для принятія слоя металла, должна быть тщательно очищена и отполирована. Покрытіе мѣдныхъ сосудовъ оловомъ (луженіе), равно какъ покрытіе стекляннхъ досокъ амальгамой (т. е. соединеніемъ олова со ртутью), основываются на сильномъ прилипаніи, существующемъ между этими тѣлами. При вѣхъ этихъ производствахъ, въ помощь прилипанію, присоединяютъ давленіе для того, чтобы привести въ ближайшее прикосновеніе поверхности тѣлъ и тѣмъ увеличить взаимное притяженіе ихъ. Такъ напр. при покрытіи мѣди слоемъ серебра поступаютъ слѣдующимъ образомъ: хорошо очищенныя пластинки мѣди покрываются тонкими листами серебра, такъ чтобы послѣднее выходило за края мѣдной доски почти на линію; эти выступы загибаются; нагрѣваютъ мѣдь между двумя сдавливающими вращающимися цилиндрами. Давленіе цилиндровъ приводитъ частицы серебра въ такое близкое прикосновеніе съ мѣдью, что оба эти тѣла, вслѣдствіе сильнаго взаимнаго притяженія, получаютъ крѣпкую связь.

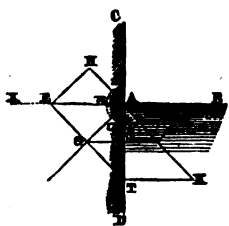
Что прилипаніе существуетъ между жидкостями, видно изъ слѣдующаго опыта. Если опустить каплю масла на поверхность воды, то капля не сохраняетъ своей шарообразной формы, но расплывается по поверхности воды. Это расплываніе происходитъ еще скорѣе у эфирныхъ маселъ (какъ напр. у терпентиннаго масла и др.) нежели у жирныхъ, потому что первыя обнаруживаютъ къ водѣ сильнѣйшее прилипаніе противу послѣднихъ. Изъ этого обстоятельства видно, что если опустить эфирное масло на жирное, плавающее на поверхности воды, то первое должно вытѣснить послѣднее. Эфирныя масла также вытѣсняются извѣстными соками растеній, которыя, въ свою очередь, вытѣсняются виннымъ спиртомъ, потому что послѣдній обнаруживаетъ къ водѣ сильнѣйшее прилипаніе противу масла.

§ 208. Если разсматривать форму свободной поверхности какой нибудь жидкости въ сосудѣ, то легко замѣтить, что по длинѣ стѣн ки сосуда она или поднимается, или сжимается, смотря потому, сма-

Вліаніе прилипанія на равновѣсіе жидкости.

чивается ли эта жидкость твердое вещество стѣнки, или нѣтъ; такимъ образомъ, напримѣръ, вода поднимается по стѣнкамъ хрустальнаго сосуда, потому что вода смачиваетъ хрусталь, тогда какъ въ томъ же сосудѣ ртуть сжимается, потому что она не имѣетъ способности смачивать хрусталь. На основаніи сказаннаго выше легко понять, что эти явленія должны зависѣть отъ притяженія между частицами твердой стѣнки и частицами жидкости и отъ взаимнаго притяженія послѣднихъ.

Равновѣсіе жидкости, какъ мы уже знаемъ, требуетъ, чтобы равнодѣйствующія сила, дѣйствующихъ на частицы жидкости, были перпендикулярны къ поверхности ея; положимъ, что AB (фиг. 734) представляетъ горизонтальную поверхность жидкости; CD вертикальную стѣнку сосуда, касающуюся жидкости въ точкѣ A ; AX продолженіе горизонтальной поверхности AB за стѣнкой сосуда. Притяженіе, оказываемое частицами твердой массы стѣнки на частицы жидкости, расположенныя въ A , можетъ произойти только отъ твердыхъ частицъ, рас-

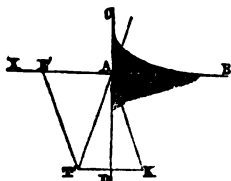


положенныхъ внутри шара *т.е.*, котораго радіусъ долженъ быть чрезвычайно малъ, потому что частичныя притяженія обнаруживаются, какъ мы уже говорили, только на весьма малыхъ разстояніяхъ. Но, каково бы ни было это притяженіе, ясно, что часть его, производимая частицами, заключающимися въ четверти шара, соотвѣтствующей прямому углу XAD , должна быть выражена длиною AG , взятой на линіи дѣлящей пополамъ уголъ XAD ; другая же часть притяженія, производимаго частицами находящимися въ четверти *ям*, точно также должна быть выражена длиною AH равную AG , взятой на линіи дѣлящей пополамъ уголъ XAC . Потому полное дѣйствіе стѣнки выразится діагональю AE квадрата $AHEG$. Подобнымъ же образомъ притяженіе, претерпѣваемое жидкою частицею A со стороны самой жидкости, можетъ быть произведено только жидкими частицами, составляющими четверть шара *qr*, описаннаго чрезвычайно малымъ радіусомъ, и потому должно быть выражено известною длиною AK , взятою на прямой, дѣлящей пополамъ уголъ DAV . Слѣдовательно равнодѣйствующая сила, дѣйствующихъ на точку A , будетъ собственно равнодѣйствующая сила AE и AK .

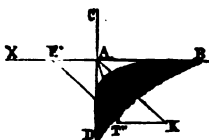
Для опредѣленія взаимнаго отношенія этихъ силъ въ различныхъ обстоятельствахъ найдемъ сначала условія для того случая, когда равнодѣйствующая ихъ будетъ линія отвѣсная къ поверхности жидкости.

Допустивъ это предположеніе, мы очевидно рассматриваемъ тотъ случай, когда при горизонтальномъ положеніи поверхности точка A находится въ равновѣсіи; слѣдовательно дѣйствіе стѣнокъ сосуда, выражаемое линіями AK и AG , должно быть равно дѣйствію жидкости на точку A , т. е. дѣйствію AK ; но какъ AH и AG равны между собою, то отсюда слѣдуетъ, что для взятаго нами случая AG должно быть равно $\frac{1}{2} AK$.

Если при постоянно одинаковомъ взаимномъ притяженіи частицъ
Физ. 735. **жидкости предположимъ, что увеличивается притя-**



Φυλ. 736.




уже проходить въ уголь ХАС и для существованія равновѣсія необходимо, чтобы жидкость отдѣлилась отъ точки А, причемъ очевидно поверхность ея должна будетъ принять выпуклую форму.

Поэтому, если означимъ чрезъ d притяженіе, оказываемое стѣнкою на жидкость, а чрезъ d' взаимное притяженіе частицъ жидкости, то поднятіе или опусканіе ея у стѣнки будетъ зависѣть отъ отношенія между $2d$ и d' , т. е. будетъ ли $2d$ болѣе или менѣе d' ; величины же d и d' очевидно зависятъ отъ вещества тѣлъ, обнаруживающихъ эти силы; слѣдовательно величина и направленіе равнодѣйствующей будетъ находиться въ прямой зависимости отъ свойствъ прикасающихся тѣлъ.

Разсмотримъ теперь, какимъ образомъ должны происходить эти явленія между поверхностями, находящимися въ близкомъ разстояніи между собою. Между этими явленіями наибольшую важность по своимъ примѣненіямъ представляютъ явленія, происходящія внутри трубокъ весьма узкаго діаметра и вообще между порами твердыхъ тѣлъ. Если, напримѣръ, погрузить въ жидкость нижнюю оконечность трубки весьма узкаго діаметра, то мы увидимъ, что жидкость поднимется болѣе со внутренней стороны трубки, нежели со внешней; если опустить въ жидкость нижнюю часть куска сахара, то она поднимется въ порахъ его до самой верхней части.

Для объясненія этого явленія начнемъ съ самаго простѣйшаго случая, т. е. представимъ себѣ, что въ воду погружены нижнія части двухъ отвѣсныхъ и параллельныхъ между собою стеклянныхъ пла-
Фиг. 737 и 738. стенокъ (фиг. 737). Если пластинки достаточно уда-




 лены другъ отъ друга, то вода поднимется немного на поверхности каждой изъ нихъ и будетъ сохранять одинъ уровень какъ между пластинками, такъ и по обѣ наружныя стороны ихъ; сближая же пластинки и приводя ихъ въ близкое прикосновеніе между собою, мы увидимъ, что незначительныя до того возвышенія у самыхъ поверхностей пластинокъ будутъ подниматься въ пространствѣ между двумя пластинками; въ этомъ случаѣ частицы жидкости, поднятыя стѣнками, притягивая къ себѣ близъ лежащій слой жидкости, приподнимаютъ его немного;

этотъ послѣдній дѣйствуетъ точно также на прилежащій къ нему слой и такимъ образомъ жидкость образуетъ между пластинками вогнутую поверхность. Если же жидкость не намачивается стѣнками, то между послѣдними получится шарообразное возвышеніе (фиг. 738).

Фиг.

Воло-
кость.

739.



Весьма узкія трубки называются *капиллярными* или *волосными*, потому что діаметръ ихъ сравниваютъ, такъ сказать, съ толщиною волоса; явленія же поднятія и опусканія жидкости въ этихъ трубкахъ (фиг. 739 и 740) называютъ *капиллярностію* или *волосностію*. Впослѣдствіи сохранили это названіе для всѣхъ явленій, зависящихъ отъ той же причины.

Ф. 740.

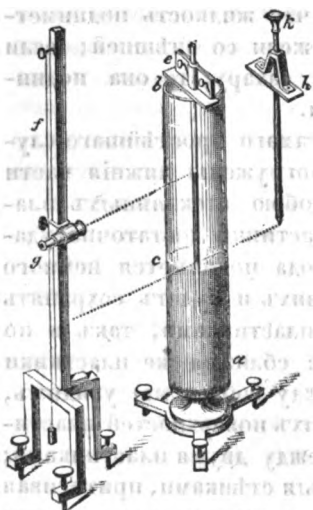


Опытъ показываетъ намъ, что жидкость поднимается тѣмъ выше въ капиллярныхъ трубкахъ, чѣмъ уже діаметръ ихъ, и что величина поднятія жидкости обратно пропорціональна діаметру трубки.

Для повѣрки этого закона на самомъ дѣлѣ должно сперва опредѣлить діаметры различныхъ капиллярныхъ трубокъ; потомъ погрузить ихъ въ одну и ту же жидкость и замѣрить высоты столбовъ жидкости, поднятой въ каждой изъ нихъ, вслѣдствіе капиллярности. Опредѣленіе діаметра волосной трубки, кажущееся съ перваго взгляда невозможнымъ, въ дѣйствительности не представляетъ большихъ затрудненій. Для этого опредѣляютъ вѣсъ ртути, заключающейся въ трубкѣ извѣстной длины; частное, происшедшее отъ раздѣленія вѣса ртути на ея плотность, даетъ намъ объемъ ея. Зная объемъ ртути и длину занимаемаго ею цилиндрическаго столба, не трудно уже, на основаніи извѣстныхъ геометрическихъ правилъ, опредѣлить діаметръ послѣдняго, который очевидно будетъ равняться опредѣленному нами діаметру капиллярной трубки ($\pi r^2 l = v$).

Опредѣляя діаметры трубокъ, должно, какъ мы уже сказали, погрузить ихъ въ одну и ту же жидкость и замѣтить для каждой трубки высоту ея надъ остальною жидкостію, окружающею каждую трубку съ

Фиг. 741.



наружной стороны. Для этого утверждаютъ трубку въ перпендикулярномъ направленіи къ пластинкѣ *e* (фиг. 741), посредствомъ двухъ небольшихъ отвѣсныхъ дощечекъ, сжимающихъ нѣсколько верхнюю часть трубки. Пластины *e*, вмѣстѣ съ трубкой, ставятъ на горло *b* цилиндрическаго стекляннаго сосуда, заключающаго извѣстную жидкость; потомъ всасываютъ осторожно жидкость чрезъ верхнюю оконечность трубки и прекращаютъ всасываніе тотчасъ, когда замѣтятъ, что жидкость проникла во внутренность нижней части трубки. Вслѣдъ за тѣмъ жидкость поднимается въ трубкѣ сама собою до извѣстной высоты. Чтобы опредѣлить высоту эту надъ уровнемъ *c* жид-

кости въ цилиндрическомъ сосудѣ, прибѣгаютъ къ помощи катетометра, который располагается съ этою цѣлю въ извѣстномъ удаленіи отъ прибора. Сперва наводятъ ось трубы d катетометра на верхушку поднявшагося столба жидкости; потомъ подводятъ пластинку e къ самому краю цилиндрическаго сосуда и на мѣсто ея помѣщаютъ пластинку h , снабженную небольшою палочкой k , которая соединена съ верхнею частію пластинки посредствомъ винта. Вращая винтъ, приводятъ заостренный конецъ палочки въ прикосновеніе съ поверхностью жидкости въ сосудѣ. Послѣ того съ помощію небольшого прибора, наподобіе ливера, удаляютъ не много жидкости изъ цилиндра и опускаютъ трубку катетометра до тѣхъ поръ, пока лучъ зрѣнія, направленный по оси ея, не встрѣтитъ нижняго конца палочки k . Различіе между высотами обоихъ положеній трубы можетъ быть определено посредствомъ дѣленій отвѣснаго столба f ; оно даетъ намъ искомую высоту жидкости, поднявшейся въ капиллярной трубкѣ.

Чтобы получить точные результаты, т. е. чтобы возвышеніе жидкости въ одной и той же трубкѣ было при каждомъ опытѣ одинаковое, должно удалить съ ихъ стѣнокъ всѣ жирныя вещества, которые обыкновенно пристають къ стеклу; трубки промываются предварительно спиртомъ и растворами различныхъ кислотъ.

Съ помощію подобныхъ опытовъ Гэ-Люссакъ нашелъ, что высоты жидкости, поднимающейся въ волосныхъ трубкахъ обратно пропорціональны діаметрамъ ихъ и что законъ этотъ примѣнимъ только къ трубкамъ, діаметръ которыхъ не превосходитъ 2 или 3 миллиметровъ.

Высота столбовъ жидкости поднятой въ одной и той же трубкѣ измѣняется съ веществомъ жидкости, съ плотностію и съ температурою ея. Такъ напр. вода поднимается въ стеклянной трубкѣ, имѣющей миллиметръ въ діаметръ до 3^{мм} при температурѣ 8° Ц., между тѣмъ какъ спиртъ поднимается при той же температурѣ только до 13^{мм}. При 16° послѣдняя жидкость поднимается только до 9^{мм}.

Высоты не зависятъ отъ толстоты стѣнокъ трубки; это служитъ доказательствомъ, что притяженіе между твердыми и жидкими тѣлами совершается только на безконечно маломъ разстояніи.

Кромѣ того высоты поднимающейся жидкости одинаковы какъ въ воздухѣ, такъ и въ пустотѣ, а это показываетъ, что давленіе воздуха не обнаруживаетъ никакого вліянія на явленія капиллярности.

Явленія восхожденія обнаруживаютъ только жидкости намачивающія твердыя тѣла; въ противномъ случаѣ происходитъ пониженіе уровня жидкости въ трубкѣ надъ остальною жидкостію въ сосудѣ.

Примѣръ такого пониженія представляетъ намъ стеклянная трубка погруженная въ сосудъ со ртутью (фиг. 740). Опыты показываютъ, что законы пониженія одинаковы съ законами восхожденія.

Результаты опытовъ Гэ-Люссака представимъ въ слѣдующей таблицѣ.

Названія веществъ.	Плотность.	Темпера- тура.	Поднятіе въ трубкахъ, которыхъ діаметръ былъ:		
			1,2944 миллиметра.	1,9038 милл.	10,508 милл.
Вода	1	8,5° Ц.	23,1634	15,5861	—
Спиртъ . . .	0,8196	8	9,1823	6,4012	—
»	0,8595	10	9,301	—	—
»	0,9415	8	9,997	—	—
»	0,8135	16	7,078	—	—
Терпентин- ное масло.	0,8695	8	9,8516	—	—

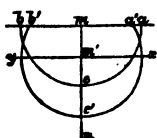
Для трубокъ же въ 1 миллиметръ было вычислено слѣдующее поднятіе, на основаніи подтвержденнаго опытомъ закона отношеній между высотами жидкости и діаметрами трубки.

Названія веществъ.	Плотность.	Темпера- тура.	Поднятіе въ трубкѣ, имѣющей 1 миллим. въ діаметрѣ.
Вода	1	8,5° Ц.	29,79 ^{mm}
Спиртъ	0,8196	8	12,18
»	0,8135	16	9,15
»	0,8595	10	12,01
»	0,9415	8	12,91
Терпентинное масло	0,8695	8	12,72

Объяс-
неніе
волос-
ности.

§ 209. Чтобы объяснить причины поднятія и опусканія жидкостей въ волосныхъ трубкахъ, мы наслѣдуемъ предварительно, какое дѣйствіе должна производить жидкость на рядъ частицъ, лежащихъ на линіи перпендикулярной къ ея поверхности, и для этого возьмемъ три случая: когда поверхность представляетъ горизонтальную плоскость, когда она бываетъ выпукла и, наконецъ, когда она бываетъ вогнута.

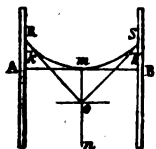
1) Положимъ сперва, что поверхность представляетъ горизонтальную плоскость и что линія *mn* (фиг. 742) озна-



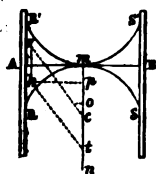
чаетъ линію частицъ перпендикулярныхъ къ поверхности. Если взять точку *m* за центръ и описать шаръ радіусомъ *mc*, равнымъ наибольшему разстоянію, на которомъ можетъ дѣйствовать частичное притяженіе, то частица *t* будетъ претерпѣвать притяженія со стороны всѣхъ частицъ жидкости полушара *abc*. Равнодѣйствующая всѣхъ этихъ отдѣльныхъ притяженій, по причинѣ симметрическаго расположенія ихъ направленій, будетъ очевидно

перпендикулярна къ поверхности жидкости. Подверженная ея дѣйствию частица m , будетъ поэтому стремиться опускаться во внутренность жидкости. Тоже самое мы можемъ сказать и о частицѣ m' , лежащей также на линіи mn ; но сила, съ которою она стремится опуститься во внутренность жидкости, будетъ уже менѣе противу предыдущаго случая, потому что эта сила составляетъ разность между притяженіемъ жидкости въ полушарѣ $xc'u$ и притяженіемъ жидкости въ сегментѣ $a'x'yb'$ ($cc' = mc - mc'$). Тотъ же результатъ мы получимъ и для прочихъ ниже лежащихъ частицъ. Изъ этого видно, что частицы, расположенныя на линіи mn , стремятся опуститься во внутрь массы съ напряженіями, величина которыхъ уменьшается по мѣрѣ удаленія частицъ отъ поверхности; сверхъ того, не трудно замѣтить, что частицы жидкости, расположенныя ниже точки c , подвержены одинаковымъ дѣйствіямъ со всѣхъ сторонъ, потому что, взявши каждую изъ этихъ частицъ за центръ, мы можемъ для каждой изъ нихъ получить внутри жидкости полную сферу притяженія. Но хотя равнодѣйствующая притягательныхъ силъ и уменьшается, по мѣрѣ удаленія частицъ отъ поверхности, однакоже давленіе, происходящее вслѣдствіе этихъ силъ, начиная отъ поверхности, постепенно увеличивается до точки c , потому что давленіе, производимое на каждую частицу, состоитъ изъ суммы давленій, претерпѣваемыхъ всѣми частицами, лежащими выше ея. Поэтому давленіе бываетъ наибольшее въ точкѣ c и остается неизмѣннымъ для всѣхъ ниже лежащихъ точекъ; назовемъ это наибольшее давленіе чрезъ A .

2) Предположимъ теперь, что жидкость представляетъ вогнутую поверхность (фиг. 743) и означимъ линіею mn послѣдовательный рядъ частицъ жидкости, а линіею AB разрывъ плоскости касательной къ точкѣ m , принадлежащей поверхности RmS . Не трудно замѣтить, что частицы, заключенныя въ пространствѣ между этою плоскостію и поверхностію жидкости, должны оказывать стремленіе къ поднятію частицъ, расположенныхъ по линіи mn . И въ самомъ дѣлѣ, дѣйствіе, производимое какою нибудь частицею k , заключающеюся въ этомъ пространствѣ, называемомъ обыкновенно *менискомъ*, на частицу o линіи mn , можетъ быть разложено на двѣ силы; одну горизонтальную и другую вертикальную; горизонтальная сила будетъ уничтожаться равною и противоположною силой, обнаруживаемою частицею k' , которая расположена симметрически въ другой части мениска; вертикальная же сила будетъ стремиться приподнимать частицу o . Тотъ же самый результатъ мы получимъ и для дѣйствія всѣхъ другихъ частицъ. Поэтому, если назвать чрезъ M полное дѣйствіе вогнутаго мениска $RABS$ и если обратить вниманіе, что это дѣйствіе противоположно выведенному нами выше дѣйствію A относительно плоской поверхности AB , то получимъ для величины давленія, стремящагося опустить частицы, лежащія на линіи mn , во внутрь жидкости, разность между A и M или $A - M$.



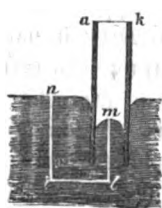
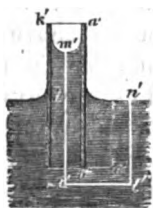
3) Представимъ себѣ наконецъ выпуклую поверхность и означимъ, по прежнему, линіею mn (фиг. 744) послѣдовательный рядъ частицъ, а линіею AB разрѣзъ плоскости касательной къ точкѣ m , принадлежащей поверхности RmS . Положимъ, что вогнутый менискъ $R'ABS'$ совершенно одинаковъ съ менискомъ $RABS$. Опредѣлимъ сперва дѣйствіе, обнаруживаемое жидкостію мениска $RABS$ на частицы расположенныя по линіи mn . Возьмемъ какую нибудь точку



k , проведемъ перпендикуляръ kp и отложимъ часть $op = mp$. Отвѣсныя силы, происходящія отъ дѣйствія частицы k на части op и mp , взаимно уничтожаются какъ равныя и противоположныя; остается только разсмотрѣть дѣйствіе ея на точки линіи mn , лежащія ниже o . Это дѣйствіе очевидно стремится ихъ приподнять совершенно одинаково съ дѣйствіемъ вогнутого мениска $R'ABS'$. И въ самомъ дѣлѣ, если взять точку v , расположенную симметрически съ точкою k относительно плоскости AB , и если провести чрезъ точки k и v линіи kt и vs , выражающія величины наибольшаго дѣйствія этихъ точекъ, то частица k будетъ дѣйствовать только на частицы линіи mn , заключающіяся между o и t , а частица v на частицы между m и s . Какъ линіи ot и ms равны другъ другу и точки ихъ находятся на соотвѣтственно равныхъ расстояніяхъ отъ точекъ k и v , то дѣйствія послѣднихъ частицъ должны быть равны между собою. Тоже самое мы можемъ сказать и о всѣхъ прочихъ частицахъ; положимъ теперь, что величина дѣйствія каждаго изъ менисковъ будетъ M , слѣдовательно давленіе, производимое менискомъ $RABS$ на линію mn , будетъ имѣть отрицательное значеніе, т. е. — M ; назвавъ чрезъ x величину давленія жидкости, образующей выпуклую поверхность, получимъ, что A будетъ равно $-M+x$; откуда $x = A+M$.

Изъ разсмотрѣнныхъ нами трехъ случаевъ слѣдуетъ, что давленіе, производимое жидкостію на частицы, расположенныя по линіи отвѣсной къ ея поверхности, можетъ быть равно A , $A - M$ и наконецъ $A+M$, смотря потому, горизонтальную, вогнутую или выпуклую поверхность представляетъ жидкость.

На этомъ основаніи легко уже объяснить какъ поднятіе, такъ и опусканіе жидкости. Положимъ напр., что въ жидкость, намачивающую стекло, погружена стеклянная трубка волоснаго діаметра. Представимъ себѣ внутри жидкости небольшой каналъ $m'i'n'$ (фиг. 745), идущій отъ вогнутого мениска и оканчивающійся у какой нибудь точки a'



горизонтальной поверхности.

Если давленія, происходящія вследствие взаимнаго дѣйствія частицъ жидкости и опускающія книзу верхніе слое, на обѣихъ поверхностяхъ одинаковы, то очевидно, что дѣйствія ихъ должны взаимно уничтожаться и жидкость, покоряющаяся однимъ законамъ тяжести, будетъ стоять на одной высотѣ въ обоихъ рукавахъ представленнаго нами канала и точки i' и l' будутъ претерпѣвать одинаковыя давленія. Это будетъ въ томъ случаѣ, когда поверхность жидкости въ трубкѣ находится на одномъ уровнѣ съ остальною жидкостію. Положимъ теперь, что жидкость образуетъ въ трубкѣ вогнутую поверхность. Поверхность эта, какъ мы уже знаемъ, стремится приподнимать частицы и поэтому противодѣйствуетъ давленію книзу, которое очевидно, вълѣдствіе того, будетъ менѣе нежели въ точкѣ n' . Изъ этого слѣдуетъ, что i' и l' получаютъ уже различныя давленія книзу, и какъ на точку l' дѣйствуетъ большее давленіе, то очевидно, что превышающее давленіе это распространится по всему воображаемому нами каналу, по направленію отъ n' до m' , и заставитъ приподниматься частицы $m'i'$ до тѣхъ поръ, пока избытокъ давленія въ n' въ состояніи будетъ поддерживать въ равновѣсіи приподнятый столбъ жидкости. Если же жидкость представляетъ въ трубкѣ выпуклую поверхность (фиг. 746), то при послѣдней, какъ мы уже доказали, жидкость претерпѣваетъ большее давленіе книзу нежели при горизонтальной поверхности. Понятно, что это усиленное давленіе должно заставлять жидкость понижаться въ трубкѣ противу остальнаго уровня до тѣхъ поръ, пока избытокъ давленія въ состояніи будетъ уровновѣшивать избытокъ внѣшней высоты.

Вліяніе формы мениска можетъ быть доказано самымъ простымъ Фиг. 747. образомъ съ помощію прибора, представленнаго на Фиг. 747



и состоящаго изъ двухъ вертикальныхъ стеклянныхъ трубокъ A и B , соединенныхъ между собою. Одна изъ трубокъ имѣетъ узкій діаметръ, между тѣмъ какъ діаметръ другой трубки позволяетъ принимать поверхность находящейся въ немъ жидкости за горизонтальную. Въ A наливаютъ сперва немного воды, которая распространяется въ B , образуетъ тамъ вогнутый менискъ и поднимается выше нежели въ A . Это потому, что давленіе въ широкой трубкѣ сильнѣе противу давленія въ узкой трубкѣ, уменьшеннаго присутствіемъ мениска. Потомъ наливаютъ новое количество воды до тѣхъ поръ, чтобы она въ B достигла краевъ отверстія C . При этомъ замѣчаютъ, что въ трубку A можно лить воду до тѣхъ поръ, пока послѣдняя достигнетъ въ ней высоты поверхности C . Въ этомъ случаѣ столбъ B не представляетъ уже мениска и оканчивается плоскостію, проходящею чрезъ край C , что служитъ подтвержденіемъ равенства давленій въ столбахъ жидкости. Наконецъ, если станемъ прибавлять по каплѣ воды въ трубку A , то увидимъ, что жидкость въ C начнетъ образовывать выпуклый менискъ, при чемъ поверхность жидкости въ A можетъ быть значительно выше нежели въ C . Послѣднее обстоятельство показываетъ превосходство давленія со стороны мениска. Въ томъ же самомъ убѣждаетъ насъ и слѣдующій опытъ.

стоянны для одного и того же твердаго тѣла и для одной и той же жидкости, то поднятіе $m'h$ будетъ обратно пропорціонально радіусу R трубки. Точно тоже можно вывести и для выпуклаго мениска.

Справедливость этого закона, какъ мы уже говорили выше, подтверждается опытомъ.

Если въ жидкость погрузить двѣ вертикальныя, параллельныя между собою пластинки, то $R' = \infty$, откуда $\frac{1}{R'} = 0$, и потому $T = \frac{C}{R}$, $m'h = \frac{C}{gd \cdot R}$, а это показываетъ, что жидкость должна подняться между этими пластинками на высоту, равную половинѣ той, до которой поднималась бы также жидкость въ

Фиг. 751.

трубкѣ, имѣющей діаметромъ разстояніе между пластинками, что подтверждается также и опытомъ.



Если пластинки не параллельны между собою, а касаются другъ друга по направленію вертикальной прямой (фиг. 751), то жидкость образуетъ между ними кривую, которая по вычисленію составляетъ *гиперболу*.

§ 210. Законы волосности объясняютъ много явленій, изъ которыхъ мы являемъ, ограничимся слѣдующими.

1) Если внести каплю жидкости между двумя пластинками, пересѣкающимися по направленію горизонтальной линіи и образующими между собою весьма острый уголъ, то капля будетъ стремиться къ вершинѣ угла въ томъ случаѣ, если она смачиваетъ стѣнки пластинки, не взирая даже на дѣйствіе тяжести, стремящейся двигать каплю по противоположному направленію (фиг. 752).

Фиг. 752.



Для объясненія этого явленія замѣтимъ, что радіусъ выпуклости въ точкѣ o болѣе, нежели въ точкѣ o' ,

Фиг. 753.

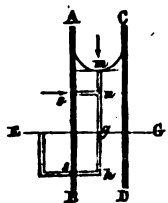


и повтому сила $(A - \frac{C}{R})$, стремящаяся

двигать жидкость отъ o къ o' , будетъ менѣе силы $(A - \frac{C}{R'})$, толкающей жидкость отъ o' къ o . Если жидкость не смачиваетъ стѣнокъ, какъ на фиг. 753-й, то капля устремится къ выпуклой сторонѣ пластинокъ, потому что въ этомъ случаѣ сила $(A + \frac{C}{R})$, стремящаяся двигать жидкость отъ o' къ o , болѣе силы $(A + \frac{C}{R'})$, толкающей жидкость отъ o къ o' .

2) Если вода поднимается между двумя свободно повѣшенными параллельными стеклянными пластинками AB и CD (фиг. 754), то послѣднія сближаются между собою точно такъ, какъ бы онѣ были подвержены дѣйствію притяженія. Чтобы дать себѣ отчетъ въ этомъ замѣчательномъ явленіи, обратимъ вниманіе на давленія, дѣйствующія на обѣ поверхности небольшой частицы s , одной изъ пластинокъ AB . Положимъ, что жидкость поднимается, не сближая пластинокъ, и рассмотримъ сперва одинъ изъ элементовъ погруженной въ жидкость пластинки. Означимъ чрезъ P —атмосферное давленіе, чрезъ π —давленіе, произвольное поверхностію жидкости, и чрезъ

Фиг. 754.



gh —давленіе столба жидкости надъ этой точкой. Въ такомъ случаѣ очевидно, что давленіе, претерпѣваемое со внѣшней поверхности точкою s , будетъ $P + \pi + gh$; но жидкость, касающаяся этой поверхности, образуя небольшую площадь, должна производить давленіе π въ противоположную предъидущему сторону, такъ что давленіе на внѣшнюю поверхность точки s будетъ собственно $P + gh$. Внутри трубки давленіе будетъ $P + m'h$, увеличенное дѣйствіемъ поверхности въ s и дѣйствіемъ мениска, изъ которыхъ послѣднее измѣряется чрезъ mg . Повтому мы будемъ

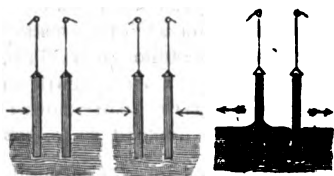
имѣть $P + m\lambda + \pi - \pi - mg = P + g\lambda$, т. е. тоже, что и для вѣншей поверхности точки z . Но если разсматриваемый элементъ пластинки находится выше поверхности EG , наприм. въ z' , то давленіе на его вѣншую поверхность будетъ просто P , а на внутреннюю $P + \pi + m\lambda - \pi - mg = P - mg$. Какъ это давленіе меньше противу вѣншаго, то пластинка должна будетъ подвигаться слѣва на право; по той же причинѣ пластинка CD будетъ двигаться справа на лѣво: слѣдовательно обѣ пластинки будутъ подвигаться другъ къ другу.

Подобнымъ же разсужденіемъ можно доказать, что тоже самое явленіе имѣетъ мѣсто, когда жидкость сжимается между двумя пластинками, или когда она образуетъ выпуклость. Отсюда мы можемъ заключить вообще, что пластинка, смоченная жидкостію, движется въ ту сторону, гдѣ жидкость наиболѣе возвышена; а пластинка, не смачивающаяся жидкостію, подвигается въ ту сторону, гдѣ послѣдняя наиболѣе сжимается.

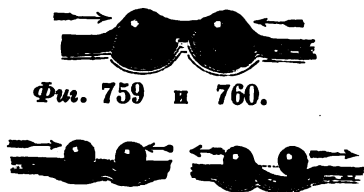
Изъ этого слѣдуетъ, что если изъ двухъ плавающихъ тѣлъ одно смачивается, а другое нѣтъ, то оба тѣла должны удалиться другъ отъ друга, потому что между ними сжатіе и поднятіе жидкости будетъ менше, нежели снаружи.

Наглядное представленіе, выведенныхъ нами истинъ, изображено на фигурахъ 755, 756, 757, 758, 759 и 760, изъ которыхъ на 758-й показаны два пробочные шара, на 759-й два восковые, а на 760-й одинъ пробочный и одинъ восковой шаръ.

Фиг. 755, 756, 757.



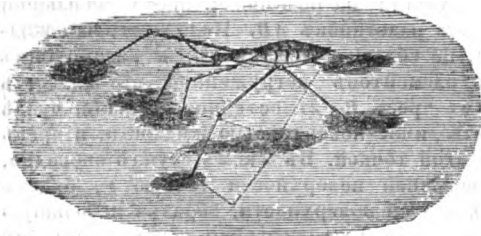
Фиг. 758.



Фиг. 759 и 760.

Когда мы говорили о сильнѣйшемъ сѣщеніи частицъ на поверхности жидкости противу остальной массы ея (§ 203), то привели въ примѣръ силы этого сѣщенія, что пивейная игла можетъ лежать на поверхности воды, не погружаясь ко дну. Мы должны здѣсь замѣтить, что причина эта дѣйствуетъ на иглу вмѣстѣ съ другою причиною, зависящею отъ волосности. И въ самомъ дѣлѣ, опытъ этотъ удастся преимущественно съ иглою уже бывшею въ употребленіи, слѣдовательно подернутой жирными веществами, покрывающими обыкновенно пальцы нашихъ рукъ. Вода, не будучи въ состояніи смочить иглы, покрытой жиромъ, сжимается вокругъ нея и образуетъ вогнутый менискъ, такъ что вѣсъ вытѣсненной такимъ образомъ воды подъ иглою, можетъ приблизительно равняться вѣсу послѣдней. Справедливость этого участія прилипанія подтверждается тѣмъ, что опытъ труднѣе удастся съ иглою, которая тщательно очищена отъ жира посредствомъ спирту. Тоже самое явленіе представляютъ намъ напѣкомыя (фиг. 761), скользящія или двигающіяся по поверхности воды.

Фиг. 761.



На основаніи волосности, назреватые тѣла всасываютъ жидкости и газы съ большою силою и задерживаютъ ихъ внутри себя; поры этихъ тѣлъ представляютъ собою не что иное, какъ множество во-

лосныхъ трубочекъ неправильнаго вида. Вѣлый сахаръ, дерево, зола, губка и глина легко вбирають въ себя воду. Стѣны изъ скважистаго камня, стоящія на мокрой почвѣ, бываютъ постоянно сыры и куча самаго сухаго песку, насыпанная въ такомъ же мѣстѣ, проникается быстро водою до самой своей вершины. Для извлеченія жирныхъ пятенъ изъ одеждъ, обыкновенно прикладываютъ къ пятнамъ такъ называемую пропускную бумагу, на которую кладутъ горячій утюгъ. На поднятіи жидкостей въ волосныхъ трубкахъ основано употребленіе *свѣтильниковъ*, доставляющихъ пламени свѣчей и лампъ постоянно свѣжее количество сгораемой жидкости. И въ самомъ дѣлѣ, свѣтильня представляетъ собою не что иное, какъ плотный свертокъ бумажныхъ нитей, которыя, подобно волоснымъ трубкамъ, заставляютъ жидкости подниматься кверху и намачивать чрезъ то всю свѣтильную.

Фиг. 762. Если положить обыкновенную свѣтильную (фиг. 762)



однимъ концомъ въ сосудъ съ водою, масломъ, или съ другою какою нибудь жидкостію, такъ чтобы противуположный ея конецъ, выходящій изъ сосуда наружу, находился ниже поверхности жидкости, то мы увидимъ, что послѣдняя, втягиваясь постепенно свѣтильною, начнетъ наконецъ вытекать изъ сосуда. Тоже самое произойдетъ, если мы

Фиг. 763.



на поверхность воды въ сосудѣ положимъ, какъ показано на Фиг. 763-й, бумагу, деревянную или даже металлическую пластинку. Жидкость начнетъ подниматься въ томъ мѣстѣ, гдѣ пластинка прикасается къ сосуду и будетъ выливаться наружу, частию прямо у того же мѣста, а частию по загибу пластинки.

Фиг. 764.



Чтобы воспрепятствовать пролитію жидкости на полъ, при переливаніи ея изъ сосуда, весьма часто, въ особенности при химическихъ работахъ, представляютъ къ сосуду пластинку въ положеніи, показанномъ на 764 фигурѣ.

Но кромѣ того, въ общежитіи есть много другихъ примѣненій капиллярности. Такъ напримѣръ, разохшіяся бочки смачиваютъ водою для того, чтобы сдѣлать ихъ снова годными къ употребленію. Рисунки передъ наклеиваніемъ намачиваютъ для того, чтобы они растягивались равномѣрно во всѣ стороны. Новое сукно, передъ употребленіемъ, всегда намачивается съ тою цѣлю, чтобы нити его получали большую крѣпость. Бочка, наполненная сухимъ горохомъ, разрывается въ томъ случаѣ, когда смочить послѣдній водою. Веревка, втянувъ въ себя воду, разбухаетъ и дѣлается короче. Она можетъ, въ этомъ случаѣ, поднимать даже тяжести, привязанныя къ ней.

Сила, съ которою сжимаются сохшіяся веревки, была приспособлена при поднятіи большаго обелиска передъ Петровской церковью въ Римѣ.

Для откальзыванія камней отъ скалъ продѣлываютъ въ известныхъ мѣстахъ вырѣзы или щели и вставляютъ туда камни изъ сухаго

дерева; клинья эти поливаютъ водою, которая проникаетъ въ поры дерева и растягиваетъ его съ такою силою, которая позволяетъ клинѣмъ отдѣлать отъ скалъ большіе куски камней.

Прилипаніе жидкостей къ твердымъ тѣламъ примѣнено для поднятія воды, посредствомъ *сервочной машины*, придуманной Верою. Машина эта состоитъ изъ безконечной веревки, проходящей чрезъ два блока, лежащіе другъ надъ другомъ. Одинъ изъ блоковъ—нижній находится въ резервуарѣ съ водою, а верхній въ томъ мѣстѣ, куда требуется поднять воду. Посредствомъ рукоятки вращается верхній блокъ и этимъ вращеніемъ приводится въ движеніе веревка вокругъ обоихъ блоковъ. При быстромъ вращеніи приподнимается веревкою извѣстное количество воды, которая собирается наверху въ особенный приемникъ.

Экспериментъ.

§ 241. Къ явленіямъ капиллярности относятъ также слѣдующія явленія. Вливая воду въ растворъ какого нибудь вещества, нетрудно замѣтить, что вода будетъ втягиваться послѣднимъ до тѣхъ поръ, пока не смѣшается совершенно съ его массою. Посмотримъ, что произойдетъ въ томъ случаѣ, когда обѣ жидкости не соприкасаются непосредственно между собою, а отдѣлены другъ отъ друга какимъ либо скважистымъ тѣломъ. Для этого опустимъ въ стаканъ съ водою *а* (фиг. 765) стеклянный сосудъ *б*, отнятое дно котораго завязано пузыремъ, а горло закрыто пробкою съ воткнутою трубкой *с*. Если налить въ сосудъ *б* растворъ купоросу, то спустя немного времени послѣдній поднимется въ трубкѣ *с*, что очевидно можетъ произойти отъ примѣси къ нему воды, которая пробралась чрезъ пузырь. При этомъ мы замѣтимъ, что и вода приметъ нѣсколько голубоватый цвѣтъ, который въ свою очередь можетъ образоваться не иначе какъ отъ примѣси къ ней купоросу. Тоже самое явленіе повторится если налить въ сосудъ *б* виннаго спирта. Если въ скважистый глиняный стаканъ налить сѣрной кислоты и поставить его въ сосудъ съ водою, то произойдетъ подобный предыдущему обмѣнъ жидкостей. Если же налить въ сосудъ *б* (фиг. 765) воды, а въ стаканъ *а* растворъ купоросу, то найдемъ, что жидкость въ первомъ сосудѣ будетъ постепенно опускаться, а во второмъ подниматься.

Фиг. 765.



Предложенные нами примѣры показываютъ, что употребленные нами жидкости смѣшиваются между собою. Съ перваго взгляда можно приписать это явленіе прилипанію, но прилипаніе, какъ мы уже знаемъ, обнаруживается только при непосредственномъ прикосновеніи тѣлъ; въ настоящемъ же случаѣ смѣшавшіяся тѣла были отдѣлены другъ отъ друга перегородкой. Хотя животный пузырь и есть тѣло скважистое, но поры его такъ тонки, что не могутъ оставлять свободнаго прохода для жидкостей: мы знаемъ, что чрезъ пузырь нельзя прощѣивать ни воды, ни другой жидкости. Показан-

ное же нами явленіе можетъ быть объяснено въ томъ случаѣ, если мы примемъ, что поры перегородки дѣйствуютъ какъ волосныя трубки и припомнимъ себѣ, что различныя жидкости обладаютъ различнымъ прилипаніемъ относительно одного и того же твердаго тѣла, следовательно оказываютъ различное стремленіе къ прохожденію чрезъ волосныя трубки, образуемыя порами. Явленія эти, впервые замѣченныя въ 1811 году Парротомъ, были наслѣдованы впоследствии Дютроше. Явленіе, обнаруживаемое поднятіемъ внутренней жидкости, Дютроше называлъ *эндосмосомъ* (отъ греческихъ словъ *ἐνδω*, внутри, *εἰς*, двигаться) въ противоположность опусканію этой жидкости названному имъ *экзосмосомъ* (*ἐξ*, наружи и *εἰς*, двигаться). Но какъ оба явленія происходятъ отъ одного начала и различіе между ними обуславливается только тѣмъ, находится ли жидкость, обладающая большимъ прилипаніемъ къ порамъ перегородки, во внутреннемъ или во вѣншемъ сосудѣ, то и означаютъ въ настоящее время оба явленія, обнаруживаемыя обмѣномъ жидкостей чрезъ перегородку, просто общимъ названіемъ *эндосмоса*.

Дютроше принималъ увеличеніе жидкости съ одной стороны за мѣру эндосмоса и предположилъ измѣрять величину этого приращенія объема посредствомъ прибора, представленнаго на фиг. 765 и названнаго имъ поэтому *эндосмометромъ*. Но Жоли показалъ, что этотъ приборъ не можетъ служить точною мѣрою величины обмѣна жидкостей, происходящаго чрезъ посредство перегородки, потому что не одна, а обѣ жидкости проникаютъ чрезъ послѣднюю. Если изслѣдовать, съ помощію ареометра, воду и спиртъ прежде нахождения ихъ въ сосудахъ прибора Дютроше и послѣ опыта, то найдемъ, что удѣльный вѣсъ воды уменьшился, а удѣльный вѣсъ спирта увеличился: значитъ, произошло смѣшеніе обѣихъ жидкостей въ каждомъ сосудѣ. Поэтому увеличеніе объема спирта зависитъ отъ разности двухъ противоположныхъ теченій. Можетъ даже произойти значительный обмѣвъ жидкостей, безъ видимаго указанія эндосмометра и именно въ томъ случаѣ, когда обѣ жидкости одинаково пропускаются перегородкою.

Чтобы опредѣлить, въ какомъ отношеніи происходитъ движеніе жидкостей по противоположнымъ направленіямъ, Жоли употребляетъ слѣдующій способъ.

Одинъ конецъ стеклянной трубки завязывается свинымъ пузыремъ и въ трубку помѣщается тѣло, эндосмотическое отношеніе котораго къ водѣ требуется опредѣлить, наприм. винный спиртъ. По взвѣшиваніи этой трубки нижній конецъ ея опускается въ сосудъ съ водою; спустя извѣстное время около сутокъ, опредѣляется приращеніе вѣса трубки, происходящее вслѣдствіе эндосмоса, а вѣншая вода замѣняется новою.

Это повторяютъ до тѣхъ поръ, пока трубка не будетъ уже обнаруживать приращенія вѣса; оказалось, что внутри трубки находилась чистая вода, винный же спиртъ весь перешелъ въ наружную воду сосуда, постоянно возобновляемую.

Часть I.

Этимъ способомъ можно опредѣлить, какое количество воды вошло въ трубку взаимнѣ убывшаго спирту.

Число, показывающее части вѣса воды (на 1 часть вѣса какого нибудь вещества), прошедшія чрезъ пузырь, Жюли называетъ *эндосмотическимъ эквивалентомъ*. Ученый этотъ опредѣлилъ эквиваленты между прочимъ для слѣдующихъ веществъ. Поваренная соль = 4,3, глауберова соль = 11,6, сѣрноокислая кали = 12, сѣрноокислая магнезія = 11,7 спиртъ = 4,2, сахаръ = 7,1.

Вообще онъ нашелъ при этомъ, что эндосмотическій эквивалентъ возрастаетъ съ температурою.

Количество же вещества, перешедшаго чрезъ пузырь къ водѣ, пропорціонально степени густоты раствора.

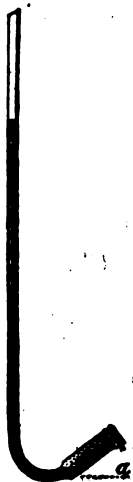
Въ позднѣйшее время нѣмецкій ученый, Лудвигъ, показалъ, что эндосмотическій эквивалентъ для одного и того же вещества не есть величина постоянная, но зависитъ отъ степени густоты жидкости.

Приведенный нами выше взглядъ на эндосмосъ основанъ на опытахъ Либиха, объясняющихъ весьма удовлетворительно ходъ эндосмотическихъ явленій.

Изъ опытовъ Либиха, касательно поглощенія жидкостей животными пузырями, слѣдуетъ: 100 частей по вѣсу сухаго бычачьяго пузыря въ теченіи 24 часовъ принимаютъ 268 частей по вѣсу воды, 133 ч. раствора соли (1,204 удѣл. вѣса), 38 ч. спирта (84 проц.), 17 ч. костяного масла.

Поэтому способность животныхъ тканей къ поглощенію разныхъ жидкостей бываетъ различна. Пузырь, погруженный въ воду, разбухаетъ, въ спиртѣ остается твердымъ.

Съ помощію давленія удаляется постепенно изъ поръ ткани поглощенная жидкость. Для доказательства этого Либихъ употреблялъ приборъ, представленный на фиг. 766.



Широкій конецъ трубки завязывается пузыремъ; въ этотъ конецъ до черты означенной чрезъ *a* наливается вода, а отвѣсная трубка наполняется ртутью; по достиженіи ртутью извѣстной высоты вся внѣшняя поверхность пузыря покрывается каплями воды. По опытамъ Либиха бычачій пузырь пропускаетъ воду при 12 дюймовомъ ртутномъ столбѣ, насыщенный растворъ поваренной соли требуетъ давленія отъ 18 до 20 дюймовъ, а костяное масло 34 дюймовъ; при 48 дюймахъ не показывалось замѣтнаго прохожденія виннаго спирта. Если пузырь, поглотившій извѣстную жидкость, привести въ прикосновеніе съ веществомъ, оказывающимъ притяженіе на частицы поглощенной жидкости, то часть послѣдней извлечется изъ пузыря.

Если пузырь, пропитанный водою, посыпать поваренною солью, то во всѣхъ мѣстахъ, гдѣ соль приходится въ прикосновеніе съ водою, образуется насыщенный соляной растворъ; а какъ поглощательная способность пузыря для раствора соли слабѣе нежели для чистой воды, то часть жидкости удаляется въ видѣ капель, причемъ пузырь сжимается. Если кусокъ напитаннаго водою пузыря положить въ спиртъ, то въ 24 часа онъ потеряетъ около половины своего вѣса, что сопровождается сжатіемъ и отверденіемъ пузыря.

Эти данныя достаточно объясняютъ процессъ эндосмоса. Ткань, служащая для раздѣленія жидкостей, принимаетъ въ свои поры каждую изъ нихъ вслѣдствіе частичнаго притяженія. Обѣ жидкости, поглощенные пузыремъ, переходятъ по другую сторону его вслѣдствіе притяженія между частицами находящихся тамъ жидкостей и переходящими частицами. Это стремленіе час-

тицъ жидкостей ко взаимному смѣшенію явствуетъ уже изъ того, что явленіе происходитъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ значительнѣе стремленіе жидкостей ко взаимному смѣшиванію, и что восхожденіе жидкостей на одной изъ поверхностей совершенно прекращается, какъ только смѣшеніе сдѣлается одинаковымъ въ обоихъ сосудахъ.

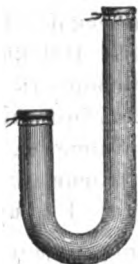
§ 212. Съ помощію испаренія можетъ быть извлечена изъ пузыря часть ^{испаренія на водосмоль.} поглощенной въ немъ воды точно также, какъ съ помощію соли и спирта. Поэтому, если кусокъ пузыря держать постоянно съ одной стороны въ прикосновеніи съ водою, а съ другой съ сухимъ воздухомъ, то вода, испаряющаяся съ одной стороны, будетъ вбираться въ пузырь съ противоположной.

Если трубку, закрытую съ одного конца пузыремъ, наполнить совершенно водою и погрузить открытымъ концомъ въ сосудъ со ртутью (фиг. 767), то, по мѣрѣ испаренія воды изъ пузыря, ртуть будетъ подниматься въ трубкѣ; при бычачьемъ пузырьѣ ртуть поднимается до 12 дюймовъ. Если трубка вполнѣ на-

Фиг. 767.

Фиг. 768.

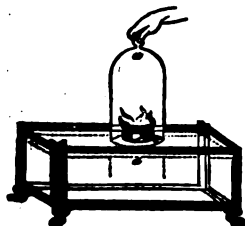
Фиг. 769.



полнена водою (фиг. 768) и закрыта съ обоихъ концовъ пузыремъ, и трубка не погружена въ жидкость, то взамѣвъ испарившейся воды не можетъ проникнуть въ трубку новаго количества жидкости; въ такомъ случаѣ внутри трубки образуется безвоздушное пространство, обозначающееся вогнутостію пузыря. Но если опустить одинъ конецъ трубки въ сосудъ съ солянымъ растворомъ (фиг. 769), а другой конецъ подвергнуть вліянію воздуха, то, при извѣстномъ испареніи воды внутри трубки, атмосферное давленіе вгоняетъ въ нее чрезъ поры пузыря извѣстное количество солянаго раствора. Явленія эндо-смоса играютъ важную роль при распространеніи различныхъ соковъ въ тканяхъ растительнаго и животнаго организмовъ.

§ 213. Способность притягивать газы принадлежитъ всѣмъ тѣламъ, одареннымъ въ большей или меньшей степени скважностію. Если погасить раскаленный уголь подъ поверхностію ртути и по-

Фиг. 770.



томъ дозволить ему подняться въ верхнюю часть колокола *a* (фиг. 770), наполненную углекислотою, сообщеніе которой съ атмосфернымъ воздухомъ прервано посредствомъ ртути, наполняющей какъ ванну, такъ и нижнія части колокола, то спустя нѣсколько мгновеній уголь поглотитъ въ себя столько углекислоты, что ртуть поднимется въ колоколъ до самаго верха, при-

Прили-
паніе
газовъ
къ твер-
дымъ и
плавленнымъ
тѣламъ.

чемъ должно замѣтить, что объемъ углекислоты можетъ быть въ 20 разъ болѣе противу объема угля.

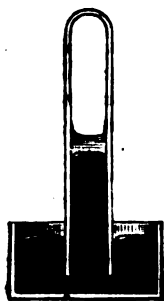
Принимая въ соображеніе свойства газообразныхъ тѣлъ, мы можемъ объяснить себѣ это явленіе тѣмъ, что упругость газовъ, проникающихъ въ поры твердаго тѣла, отъ притяженія частицъ послѣдняго, уменьшается, вслѣдствіе чего новое количество газа снаружи проникаетъ до тѣхъ поръ въ поры, пока, отъ образовавшагося тамъ сгущенія поглощеннаго газа, разширительная сила его не достигнетъ одинаковой степени съ упругостію наружнаго газа, окружающаго твердое тѣло. Способность всякаго тѣла къ поглощенію извѣстнаго газа можетъ быть выражена отношеніемъ между объемомъ поглощающаго тѣла и тѣмъ объемомъ окружающаго его газа, который поглощенъ тѣломъ. Значительно скважистыя тѣла, какъ напр. тѣла приведенныя въ порошкообразное состояніе, даже при небольшомъ объемѣ представляютъ для газа большую поверхность; такъ напр. поверхность всѣхъ поръ кубическаго дюйма древеснаго угля представляетъ уже поверхность болѣе 100 квадратныхъ футовъ. Поэтому такія тѣла обнаруживаютъ способность къ поглощенію значительнаго количества газа; такъ напр. кубическій дюймъ дубоваго угля вскорѣ послѣ раскалинія своего поглощаетъ болѣе 100 куб. дюймовъ амміака, до 35 кубич. дюймовъ углекислоты, $9\frac{1}{4}$ кубич. дюйм. кислорода, $7\frac{1}{2}$ куб. дюйм. азота и до $1\frac{1}{3}$ куб. дюйм. водорода.

Смоченный дубовый уголь поглощаетъ вдвое меньшее количество газовъ и это доказываетъ, что его всасывающая способность зависитъ преимущественно отъ скважности. Еловый уголь всасываетъ вдвое меньше противу дубоваго. Уголь изъ пробочнаго дерева чрезвычайно пористый не производитъ вовсе поглощенія газовъ; тоже самое представляетъ плотный каменный уголь и графитъ; изъ этого должно заключить, что хотя скважность и составляетъ существенное условіе для поглощенія газовъ, но поры должны быть сжаты только до извѣстной степени.

Поглощательная способность пемзы, дерева, шерсти, шолка и льняныхъ нитей для различныхъ газовъ менѣе нежели у древеснаго угля; металлы въ раздробленномъ состояніи поглощаютъ извѣстные газы, даже ные болѣе противу древеснаго угля.

Замѣчательно, что при сгущеніи поглощеннаго атмосфернаго воздуха освобождается такое количество теплоты, которое въ состояніи воспламенить значительную массу; такъ напр. до 80 фунт. мелко истолченнаго сухаго древеснаго угля, насыпаннаго въ бочку, можетъ быть подвержено воспламененію. Уголь употребляютъ весьма часто для извлеченія изъ погребовъ углекислоты и другихъ газовъ и паровъ, обладающихъ зловоннымъ или удушливымъ запахомъ. Съ помощію угольнаго порошка предохраняютъ въ сырыхъ мѣстахъ желѣзныя вещи отъ ржавчины. Размельченная и сухая платина, извѣстная подъ названіемъ губчатой платины, нагревается вслѣдствіе сильнаго сгущенія поглощенныхъ газовъ до такой степени, что раскалется. Гнилое дерево поглощаетъ амміакъ почти одинаковымъ образомъ съ углемъ; тѣмъ же свойствомъ обладаютъ обожженная глина и желѣзная окись.

Жидкости обнаруживаютъ, подобно твердымъ тѣламъ, свойство
Фиг. 771. поглощенія газовъ. Для обнаруженія этого свойства



жидкостей, поступаютъ точно также, какъ и для обнаруженія поглощенія газовъ твердыми тѣлами, съ тою только разницею, что подъ колоколомъ (фиг. 771) вмѣсто углекислоты помѣщаютъ амміакъ, а вмѣсто угля воду. Заключаящийся подъ колоколомъ амміакъ поглощается въ такой сильной степени водою, что вскорѣ весь газъ пропадаетъ и вся трубка наполняется жидкостію. Одинъ кубическій дюймъ перегнанной воды способенъ поглотить нѣсколько сотъ кубическихъ футовъ амміака, 1,6 куб. дюйм. углекислоты, 0,065 куб. дюйм. кислорода, 0,042 куб.

дюйм. азота. Поэтому мы заключаемъ, что вода содержитъ въ своихъ порахъ сравнительно большее количество кислорода противу атмосфернаго воздуха, что весьма важно для животныхъ, обитающихъ въ водѣ. Одинъ и тотъ же газъ поглощается въ различномъ количествѣ разными жидкостями; такъ напр. 1 куб. дюймъ воды поглощаетъ 1,6 куб. дюйм. углекислоты, между тѣмъ какъ 1 куб. дюймъ виннаго спирта поглощаетъ до 2 куб. дюйм. того же газа.

При поглощеніи газовъ жидкостями происходятъ тѣже явленія, какъ и при поглощеніи газовъ твердыми тѣлами. Измѣненія въ упругости газа, какъ поглощеннаго, такъ и свободнаго, т. е. газа, окружающаго поглощающее тѣло, должны находиться во взаимной зависимости между собою; на этомъ основаніи мы можемъ легко объяснить себѣ причину слѣдующихъ явленій:

1) Если плотность свободнаго газа усилится, напр. съ помощію давленія, то новое количество его поглощается порами тѣла и увеличивается чрезъ то сгущеніе поглощеннаго газа; если помѣстить подъ колоколъ насоса какую нибудь жидкость и разрѣжать воздухъ, то часть поглощеннаго газа выходитъ изъ жидкости въ видѣ пузырьковъ. Поэтому воздухъ, находящійся въ водѣ, на высокихъ горахъ имѣетъ одинаковую степень разрѣженія съ внѣшнимъ воздухомъ. На высотѣ 5000 фут. рыбы не могутъ жить въ водѣ, не находя тамъ достаточнаго количества кислорода, необходимаго для ихъ жизни.

2) Если нагревать тѣло, поглотившее извѣстное количество газа, то вслѣдствіе увеличенія упругости, часть послѣдняго удаляется изъ тѣла; вотъ почему при нагреваніи воды и ртути, происходитъ восхожденіе пузырьковъ воздуха. Съ помощію охлажденія тѣла уменьшается упругость поглощеннаго въ немъ газа и тѣло дѣлается способнымъ къ поглощенію свѣжаго количества газа снаружн.

Увеличеніе поглощенія чрезъ охлажденіе жидкостей простирается вообще до самаго перехода ихъ въ твердое состояніе. Вотъ почему во время самаго перехода воды въ ледъ, мы замѣчаемъ быстрое выходеніе изъ нея большей части воздуха и только часть его, не-

успѣвшая удалиться, остается во льду въ видѣ пузырьковъ. Серебро, въ расплавленномъ состояніи, поглощаетъ значительное количество кислорода, который при отвердѣніи серебра быстро удаляется.

Шампанское вино и пиво, при броженіи своемъ въ крѣпко закупоренныхъ бутылкахъ, отдѣляютъ углекислоту, поглощаемую порами жидкости и собирающуюся непосредственно подъ пробкою; сгущенный газъ этотъ служитъ причиною сильнаго выбрасыванія пробки, освобожденной отъ удерживающей ее проволоки. Сгущенная углекислота выходитъ наружу, сопровождаемая восхожденіемъ пѣны, поднятію которой благоприятствуетъ теплота, а потому, чтобы воспрепятствовать появленію пѣны, держать обыкновенно бутылки съ этими напитками въ сосудахъ, наполненныхъ льдомъ.

Если смоченный водою, завязанный пузырь (заключающій незначительное количество воздуха), внести подъ колоколъ, наполненный углекислотою, то внѣшній слой воды на пузырьъ поглощаетъ углекислый газъ, который проходить до внутренней поверхности пузыря; не встрѣчая тамъ углекислоты, газъ этотъ распространяется внутри пузыря, такъ что послѣдній мало по малу наполняется весь углекислотою. Если послѣ того повѣсить пузырь въ пространство, заключающее атмосферный воздухъ, то углекислота удаляется прочь, распространяясь въ атмосферѣ. Мы говоримъ здѣсь объ этихъ явленіяхъ потому, что подобныя явленія совершаются въ животномъ организмѣ.

Частичное притяженіе между твердыми тѣлами и газами объясняетъ рядъ любопытныхъ явленій, открытыхъ *Мозеромъ*.

Если чертить деревянной палочкой на стеклянной доскѣ и потомъ подышать надъ послѣднею, то все начерченное обозначается отчетливо на доскѣ. Тоже самое представляютъ полированные доски изъ металла, дерева, смолы и т. п. предметовъ.

Если положить на покрытую іодомъ серебрянную пластинку гравированный на металлѣ рисунокъ, или выгравированную на агатѣ дощечку, и потомъ подвергнуть серебрянную пластинку ртутнымъ парамъ, то появляются на ней отчетливыя изображенія всѣхъ прикладываемыхъ рисунковъ.

Для этихъ опытовъ нѣтъ даже надобности употреблять іодированную серебрянную пластинку; если положить штемпель на какую нибудь металлическую доску и оставить на ней въ теченіи извѣстнаго времени, потомъ дышать надъ доскою, или лучше подвергнуть ее дѣйствію паровъ ртути, то появляется изображеніе штемполя. Пары вскорѣ осаждаются преимущественно на тѣхъ мѣстахъ, которыя были подвержены прикосновенію и потомъ уже на прочіихъ мѣстахъ. Для опыта не требуется даже непосредственнаго прикосновенія: достаточно держать штемпель надъ доскою въ извѣстномъ (впрочемъ незначительномъ) удаленіи.

Явленія эти конечно имѣютъ много сходства съ дѣйствіями свѣта при дагеротипныхъ изображеніяхъ, и Мозеръ поэтому старался объяснить ихъ тѣмъ предположеніемъ, что каждое тѣло въ извѣстной степени обладаетъ способностью издавать свѣтъ и что отъ каждаго тѣла исходятъ лучи, дѣйствующие на другія тѣла точно также, какъ и солнечные лучи, не взирая на то, что первыя не производятъ впечатлѣній на нервной оболочкѣ глаза. Вайдеманъ же объясняетъ эти явленія слѣдующимъ образомъ.

Вообще всякое тѣло покрыто слоемъ сгущеннаго газа; этотъ поглощаемый тѣломъ газъ образуетъ, такъ сказать, оболочку вокругъ тѣла. Если нагрѣвать тѣло, то оно освобождается отъ поглощаемого имъ газа; отполированная и вычищенная порошкомъ серебрянная пластинка получаетъ большую степень чистоты.

Точно также понятно, что тѣло только что вычищенное въ состояніи сгущать на своей поверхности газы болѣе, нежели тѣло, уже покрытое слоемъ

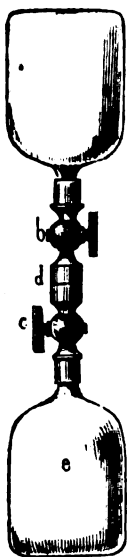
газа. При наложеніи штемпеля на доску, происходитъ въ мѣстахъ прикосновения обмѣнъ газообразныхъ оболочекъ и поэтому мѣста, гдѣ лежалъ штемпель, будутъ покрыты плотнымъ слоемъ газовъ, болѣе или менѣе противу остальныхъ мѣстъ доски. Это объясненіе Вайделю подтверждается многими опытами, изъ которыхъ мы ограничимся главнѣйшими.

На половину серебрянной дощечки, вычищенную надлежащимъ образомъ, насыпается сухой угольный порошокъ; другая же половина покрывается порошкомъ, чрезъ который проведена была струя углекислоты. Спустя 1 или 2 минуты весь порошокъ стирается съ доски чистой ватой. Если послѣ того дышать надъ доскою, то водяные пары, сгущаясь на доскѣ, даютъ два различные оттѣнка—буроватый и голубой: первый на половинѣ, которая была подъ порошкомъ, заключавшимъ углекислоту, а второй на остальной половинѣ доски. Ртутные же пары осаждаются на послѣдней половинѣ. Какъ на этой части доски поверхность представляетъ наиболѣе чистоты, то водяные и ртутные пары сгущаются на ней сильнѣе, нежели на той части пластинки, которая покрыта слоемъ углекислоты. Если, на только что приготовленную чистую дощечку, положить стальной штемпель, лежавшій въ продолженіи извѣстнаго времени въ угольномъ порошокѣ, насыщенномъ углекислотою, такъ чтобы на штемпель могъ образоваться сгущенный слой углекислоты, и потомъ чрезъ 10 минутъ отнять штемпель отъ дощечки, то мы получимъ изображеніе штемпеля послѣ дѣйствія на дощечку паровъ ртути, которые сгущаются преимущественно на тѣхъ мѣстахъ, гдѣ не происходило непосредственнаго прикосновения между дощечкою и штемпелемъ, потому что здѣсь дощечка не могла такъ скоро покрыться атмосферою газа, какъ на тѣхъ мѣстахъ, гдѣ она была въ прикосновеніи съ сгущенною атмосферою штемпеля. Если же дощечка предварительно покрыта слоемъ и потомъ положенъ на нее тщательно вычищенный штемпель, то по отнятій послѣдняго пары ртути сгустятся на оборотъ на тѣхъ мѣстахъ, гдѣ происходило прикосновение штемпеля съ дощечкою. Если же какъ штемпель, такъ и дощечка вычищены, или, если какъ тотъ, такъ и другой, покрыты слоемъ углекислоты, то не происходитъ вовсе изображенія штемпеля.

Вслѣдствіи Мозеръ нашелъ, что если на полированную дощечку положить листъ бумаги, въ которомъ вырѣзаны различныя изображенія, потомъ дышать надъ дощечкой и дать водѣ испариться, то по снятіи бумаги и повторичномъ дышаніи надъ дощечкой, появляется изображеніе вырѣзанной фигуры, при чемъ водяные пары сгущаются здѣсь иначе, нежели на мѣстахъ, которые прежде не были подвержены дѣйствию водяныхъ паровъ. Если водить водяной каплей, висющей на стеклянной палочкѣ, по полированной пластинкѣ, то послѣ дышанія надъ пластинкой, появляется изображеніе начерченное каплей. — Мозеръ объясняетъ эти явленія допущеніемъ существованія, такъ называемаго *скрытаго свѣта*, и полагаетъ, что скрытіе свѣта точно такъ возможно, какъ и скрытіе теплоты. Но и послѣднія явленія были объяснены Вайделю самымъ простымъ образомъ. Если водяную каплю, висящую на стеклянной пластинкѣ, водить по доскѣ, покрытой газовой атмосферою, то она поглощаетъ часть газа и поэтому путь капли долженъ обозначиться послѣ дышанія надъ доскою. Если на дурно вычищенную доску положить листъ бумаги, въ которомъ вырѣзаны различныя изображенія, послѣ того дышать надъ доскою, снять листъ и дать испариться водѣ, то испарившаяся вода болѣею частью уноситъ съ собою находившуюся подъ нею газовую оболочку, которая остается на мѣстахъ, не бывшихъ подверженными дѣйствию водяныхъ паровъ. Понятно, что при вторичномъ дышаніи, водяной паръ долженъ сильнѣе сгущаться на послѣднихъ мѣстахъ. Миѣніе это подтверждается тѣмъ, что фигуры никогда не появляются отчетливо на тщательно вычищенныхъ пластинкахъ и что лучшія изображенія происходятъ въ томъ случаѣ, когда доска была предварительно подвержена дѣйствию углекислоты или амміака.

Смѣ-
шеніе раз-
нород-
ныхъ
газовъ.

§ 214. Фиг. 772.



Если привести въ прикосновеніе два различные газа, соединяющіеся между собою химически, то они не располагаются, подобно жидкостямъ, согласно удѣльному своему вѣсу, но въ скоромъ времени *проникаютъ* другъ друга взаимно и образуютъ совершенно однородную смѣсь. Явленіе это подтверждается слѣдующимъ опытомъ. Верхній сосудъ (Фиг. 772), снабженный краномъ *b*, наполняютъ водородомъ, а нижній сосудъ *c*, съ краномъ *c*, — углекислотою. Если отворить краны *b* и *c*, то оба сосуда могутъ сообщаться между собою чрезъ посредство небольшого канала, продѣланнаго въ металлической части *d*, посредствомъ которой соединяются оба сосуда. По открытіи крановъ, находящіеся въ сосудахъ газы, могутъ приходить въ прикосновеніе между собою, и спустя извѣстное время замѣчаютъ, что оба газа дѣйствительно смѣшиваются другъ съ другомъ. Тяжелѣйшій газъ (углекислота) поднимается, а легчайшій (водородъ) опускается. При чемъ каждый газъ распространяется во всемъ пространствѣ, заключающемся въ обоихъ шарахъ, точно такъ, какъ бы не существовало другаго газа и какъ бы все занимаемое имъ пространство было безвоздушное. Тоже самое явленіе повторяется нѣсколькими газами.

На этомъ основаніи мы можемъ сказать, что смѣшеніе разнообразныхъ газовъ происходитъ точно такъ, какъ бы они были совершенно однородны; ни въ ихъ разширительной силѣ, ни въ объемѣ не происходитъ никакого измѣненія, какъ бы этого слѣдовало ожидать на основаніи маріотова закона. Обстоятельство это подтверждаетъ, что частицы газовъ находятся между собою въ такомъ отдаленіи, при которомъ онѣ не въ состояніи обнаруживать достаточнаго взаимнаго притяженія другъ на друга и что отталкивающія силы частицъ дѣйствуютъ независимо отъ матеріальнаго свойства послѣднихъ. Если же частицы смѣшанныхъ газовъ находятся въ такомъ отдаленіи между собою, то взаимное отдаленіе частицъ одного и того же газа должно быть еще болѣе. Вслѣдствіе того два разнородные газы, приходящіе въ прикосновеніе другъ съ другомъ, не въ состояніи оказывать на всѣхъ точкахъ своего прикосновенія одинаковаго взаимнаго давленія, даже и въ томъ случаѣ, если бы упругія силы, обладаемыя ими, были равны. Поэтому частицы одного газа проникаютъ въ промежутки между частицами другаго и равновѣсіе можетъ сдѣлаться устойчивымъ только въ томъ случаѣ, когда оба газа дадутъ однородную смѣсь. Все вліяніе газа, заключающагося въ извѣстномъ пространствѣ, на газъ, распространяющійся въ послѣднемъ, заключается единственно въ замедленіи этого распространенія; но это замедленіе бываетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе различія въ плотностяхъ обоихъ газовъ.

Изъ закона, по которому происходитъ смѣшеніе газообразныхъ тѣлъ, слѣдуетъ, что каждый изъ газовъ, входящій въ составъ атмосфернаго воздуха,

составляетъ собственную атмосферу вокругъ земнаго шара, точно такъ какъ бы другихъ газовъ вовсе не существовало. Этимъ объясняется равенство отношений въ частяхъ, составляющихъ воздухъ, на всѣхъ мѣстахъ земнаго шара. Если отъ какой нибудь причины и произошло бы въ известномъ мѣстѣ уменьшеніе кислорода, то замѣнъ его прибыло бы изъ окрестныхъ мѣстъ свѣжее количество этого газа: только этимъ условіемъ можетъ постоянно поддерживаться на одномъ и томъ же мѣстѣ одинъ изъ существенныхъ матеріаловъ для жизни и горѣнія. Кислородъ, отдѣляемый растеніями, и углекислота, выделяющаяся при дыханіи, горѣніи и процессахъ броженія, равно какъ амміакъ, образующійся при гніеніи животныхъ тѣлъ, и водяные пары, происходящіе вслѣдствіе испаренія водъ, распространяются отъ мѣстъ своего образованія во всѣ стороны въ атмосферѣ и служатъ такимъ образомъ, на всѣхъ мѣстахъ земли, для поддержанія жизни животныхъ и растеній. Основываясь на этомъ свойствѣ, ни одинъ газъ, вредный для жизни, не можетъ накопиться въ незапертомъ пространствѣ; только въ мѣстахъ, гдѣ газъ не можетъ переходить въ атмосферу съ такою быстротою, съ которою онъ образуется, возможно значительное накопленіе его. Такъ напр. въ пещерахъ и погребахъ встрѣчаютъ иногда такое количество углекислаго газа, которое дѣлаетъ эти мѣста опасными для существованія животныхъ.

§ 215. Если два разнородные газа отдѣлены другъ отъ друга <sup>Распро-
стране-
ніе га-
зовъ.</sup> скважистой перегородкой, то происходитъ взаимный обмѣнъ газовъ чрезъ перегородку; при чемъ замѣчаютъ тоже явленіе, которое известно для жидкостей подъ названіемъ эндосмоса. Газъ, находящійся по одну сторону перегородки проходитъ скорѣе чрезъ перегородку, для распространенія своего по другую сторону послѣдней, противу другаго газа, находящагося на противоположной части перегородки.

Грегемъ, изслѣдовавшій ближе это явленіе, назвалъ его *распространеніемъ газовъ* (*diffusion-diffundere*).

Явленіе это можетъ быть наблюдаемо слѣдующимъ простымъ образомъ: берутъ стеклянную трубку отъ 1 до 1½ дюйма въ діаметрѣ, закупориваютъ ее гипсовою пробкою, пропускающею легко газы до тѣхъ поръ, пока она не смочена; трубка эта наполняется надъ ртутью водороднымъ газомъ. Спустя немного времени, водородъ улетаетъ чрезъ гипсовую пробку, а въ трубку проникаетъ атмосферный воздухъ, причемъ количество удалившагося водорода значительное противу воздуха проникнуваго въ трубку, потому что объемъ газовъ въ трубкѣ постоянно уменьшается, ртуть постепенно поднимается въ трубку и уже чрезъ нѣсколько минутъ расположится въ трубкѣ двумя дюймами выше противу остальнаго уровня ртути въ ваннѣ, въ которую погружена трубка.

Для опредѣленія закона распространенія газовъ должно трубку погружать постоянно глубже въ жидкость, потому что только въ этомъ случаѣ уровень ртути въ трубкѣ можетъ находиться на одной высотѣ съ наружнымъ; безъ этой предосторожности въ трубку проникаетъ болѣе воздуха противу должнаго количества.

Изъ опытовъ Грегема слѣдуетъ, что скорости распространенія газовъ чрезъ перегородку находятся въ обратномъ отношеніи квадратныхъ корней изъ ихъ плотностей. Если наприм. входитъ въ трубку 1 объемъ воздуха, то удаляется чрезъ пробку 3,83 объема водорода;

водородъ въ 14,5 разъ легче воздуха, 3,83 составляетъ квадратный корень отъ 14,5.

Между эндосмосомъ и распространеніемъ газовъ есть существенная разница. Различіе противоположныхъ теченій при эндосмозѣ зависитъ отъ различнаго частичнаго притяженія, оказываемаго стѣнкою на жидкости; между тѣмъ какъ при распространеніи газовъ вещество раздѣляющей ихъ стѣнки не оказываетъ вліянія; взаимное отношеніе теченій зависитъ отъ отношенія плотностей газовъ.

§ 216. Нѣсколько выше мы говорили, что должно разумѣть подъ *раствореніемъ*; теперь займемся ближайшимъ разсмотрѣніемъ этого явленія.

Растворенію содѣйствуютъ слѣдующія обстоятельства:

а) Увеличеніе точекъ прикосновенія твердаго тѣла съ растворяющимъ веществомъ, слѣдовательно приведеніе твердаго тѣла въ мельчайшее состояніе, потому что силы, производящія раствореніе, дѣйствуютъ только въ томъ случаѣ, когда тѣла взаимно прикасаются; такъ наприм. мелко истолченный сахаръ растворяется скорѣе противу сахара въ кускахъ.

б) Сотрясеніе помогаетъ растворенію, приводя новое число точекъ твердаго тѣла въ прикосновеніе съ растворяющимъ веществомъ и удаляя вмѣстѣ съ тѣмъ растворенныя части.

с) Уменьшеніе силы сцѣпленія твердаго тѣла посредствомъ увеличенія температуры также благопріятствуетъ растворенію, потому что сцѣпленіе противодѣйствуетъ послѣднему.

Относительно растворимости веществъ опыты показываютъ :

1) Что жидкость не въ состояніи растворять всякаго произвольнаго тѣла; такъ напр. вода можетъ растворять поваренную соль, квасцы, селитру, но не растворяетъ сѣры и угля.

2) Извѣстное количество растворяющаго вещества хотя и можетъ растворять произвольное количество растворяемаго тѣла, но только до извѣстнаго предѣла, за которымъ, при тѣхъ же обстоятельствахъ, не можетъ уже происходить дальнѣйшаго растворенія. Если растворяющее вещество заключаетъ возможно большее количество твердаго тѣла, которое въ состояніи быть растворимо, то говорятъ, что жидкость *насыщена* раствореннымъ веществомъ или что она достигла *степени насыщенія*.

Такъ напр. 100 ч. воды растворяютъ не болѣе 37 ч. поваренной соли; все излишнее количество послѣдней остается въ водѣ нерастворимымъ; всякое же меньшее число частей соли противу 37 можетъ быть растворимо въ 100 частяхъ воды.

3) Сила притяженія, съ которою дѣйствуетъ растворяющее вещество на твердое тѣло, стремясь привести его въ раздробленное состояніе, уменьшается по мѣрѣ постепеннаго растворенія тѣла; поэтому послѣднія частицы, которые бы могли быть растворены, растворяются весьма медленно. По наступленіи предѣла насыщенія, жид-

кость не въ состояніи побѣждать сдѣленія остающагося твердаго тѣла, которое поэтому остается нерастворимымъ.

4) Наибольшее количество твердаго тѣла, могущее быть растворимо въ извѣстномъ количествѣ растворяющаго вещества, зависитъ какъ отъ собственнаго свойства, такъ и отъ свойства растворяющаго вещества, а во многихъ случаяхъ и отъ температуръ.

Такъ напр. селитра болѣе растворима въ теплой водѣ, нежели въ холодной: въ 100 частяхъ воды при 0° P. растворяется только 13 1/2 частей ея, между тѣмъ какъ при 80° P. растворяется 236 частей. Глауберовой соли (сѣрно-кислый натръ) растворяется въ 100 частяхъ воды при 0° P. только 5 частей и 52 части при 34° P.; при высшей температурѣ растворимость глауберовой соли снова уменьшается. Напротивъ того 1 часть извести для совершеннаго растворенія своего въ 450 частяхъ воды требуетъ 16° P. и 1260 частей при 80° P.; поэтому извѣсть въ холодной водѣ болѣе растворима, нежели въ теплой. Поваренная соль почти одинаково растворима въ водѣ при каждой температурѣ.

5) Жидкость, насыщенная извѣстнымъ веществомъ, въ состояніи растворять извѣстное количество другаго вещества, въ иныхъ случаяхъ даже болѣе, нежели въ чистомъ состояніи. Такъ напр. поваренная соль въ водѣ, заключающей гипсъ, растворяется въ большемъ количествѣ, нежели въ чистой водѣ. Растворъ поваренной соли принимаетъ болѣе селитры, нежели чистая вода.

Жидкости смѣшиваются взаимно въ произвольномъ количествѣ и степень насыщенія для жидкостей замѣчается только въ весьма немногихъ случаяхъ.

Сила химическаго притяженія (сродство).

(Химія).

§ 217. Въ природѣ встрѣчается рядъ многочисленныхъ явленій, Сила сродства. которыя не могутъ уже быть объяснены непосредственнымъ притяженіемъ и расположеніемъ другъ вондъ друга частицъ разнородныхъ тѣлъ, какъ это мы допускали при прилипаніи. Примѣромъ этого ряда явленій, при которыхъ два разнородныя тѣла превращаются въ совершенно однородное цѣлое, не представляющее ни одного изъ свойствъ тѣлъ его образовавшихъ, можетъ служить слѣдующій опытъ: если нагрѣвать смѣсь изъ сѣры и ртути, то получается однородное цѣлое, извѣстное подъ названіемъ киновари, въ которой конечно нельзя узнать ни свойствъ ртути, ни свойствъ сѣры. Подобное превращеніе разнородныхъ тѣлъ въ однородное цѣлое можетъ быть объяснено принятіемъ особой силы, которую условимся называть химическимъ притяженіемъ или *сродствомъ*. Съ понятіемъ о сродствѣ мы привыкли соединять въ общежитіи понятіе о подобіи; а названіе сродства, какъ видно изъ приведеннаго нами опыта, не соотвѣт-

ствуется самому явленію, потому что во взятомъ нами примѣрѣ, тѣла, дающія однородное цѣлое, разнородны между собою. Слово *средство* употребляется въ этомъ случаѣ на слѣдующемъ основаніи: нѣкогда были того мнѣнія, что тѣла, дающія однородное цѣлое, сходны между собою въ извѣстныхъ отношеніяхъ и поэтому допускали, что между ними находится извѣстная родственность. Теперь же посредствомъ самыхъ опредѣлительныхъ изысканій найдено, что тѣла подчиняющіяся дѣйствію силы, производящей однородное цѣлое, должны обладать противоположными свойствами. Тѣмъ неменѣе старинное названіе *средство*, не смотря на противорѣчіе съ самымъ дѣломъ, сохранилось до сихъ поръ для означенія силы, производящей описанное нами выше явленіе.

Не должно впрочемъ полагать, чтобы дѣйствіе этой силы ограничивалось однимъ образованіемъ однороднаго цѣлаго изъ разнородныхъ тѣлъ; во многихъ случаяхъ посредство ея служить для отдѣленія изъ однороднаго цѣлаго разнородныхъ частей. Такъ напр. если приведенную выше киноварь, состоящую изъ сѣры и ртути, привести въ прикосновеніе съ желѣзомъ и нагрѣвать смѣсь, то мы увидимъ, что ртуть появится снова съ ея первоначальными свойствами; она испаряется и посредствомъ охлажденія можетъ быть получена въ обыкновенномъ своемъ состояніи. Взаимнъ того желѣзо соединяется съ сѣрою и даетъ новое тѣло, извѣстное подъ названіемъ сѣрнистаго желѣза. Явленія эти, при которыхъ происходитъ выдѣленіе одной изъ разнородныхъ частей, входившихъ въ составъ однороднаго цѣлаго, происходятъ также вслѣдствіе участія силы *средства*.

Явленія, производимыя силою *средства*, по многочисленности и разнообразію своему, вошли въ составъ отдѣльной науки *Химіи*, изъ которой мы ограничимся здѣсь только выборомъ и разсмотрѣніемъ главнѣйшихъ началъ.

Ученымъ, съ помощію различныхъ средствъ, удалось разложить химическія соединенія на ихъ составныя части, т. е. на части совершенно отличныя какъ другъ отъ друга, такъ и отъ разлагаемаго тѣла; но при подобномъ разложеніи встрѣчаются такія тѣла, которыя противятся всѣмъ доселѣ извѣстнымъ способамъ разложенія; такія тѣла принимаютъ за *простыя* или *элементы*, въ отличіе отъ тѣлъ *сложныхъ*, состоящихъ изъ разнородныхъ частей, на которыя онѣ могутъ быть разложены. Число доселѣ извѣстныхъ простыхъ тѣлъ простирается до 62-хъ; названія ихъ слѣдующія: * кислородъ ($O=100,0$), * водородъ ($H=12,5$), * азотъ (N или $Az=175,0$), * углеродъ ($C=75,0$), * сѣра ($S=200,0$), * селенъ ($Se=491,0$), * теллуръ ($Te=806,5$), * хлоръ ($Cl=443,7$), * бромъ ($Br=978,8$), * іодъ ($I=1578,2$), * фторъ ($F=240,0$), * фосфоръ ($Ph=400,0$), * мышьякъ ($As=937,5$), * боръ ($Bo=136,2$), * кремній ($Si=266,7$), * калий ($K=490,0$), * натрій ($Na=287,2$), * литій ($Li=80,0$), * барій ($Ba=856,3$), * стронцій ($Sr=548,0$), * кальцій ($Ca=250,0$), * магній ($Mg=150,0$), * глицій ($Gl=87,5$), * глиній ($Al=171,2$), цирконій ($Zr=420,0$), торій

(Ть=743,9), итрій (Yt=402,3), церій (Ce=590,8), лантанъ (La=588,0), диимъ (Di=620,0), эрбій (Er), тербій (Tr), * марганецъ (Mn=345,0), * хромъ (Cr=328,0), вольфрама или волчеца (W или Tg=1150,0), молибденъ (Mo=589,0), ванадій (Vd=856,0), * желѣзо (Fe=350,0), * кобальтъ (Co=369,0), * никкель (Ni=370,0), * цинкъ (Zn=406,6), * кадмій (Cd=696,8), * мѣдь (Cu=396,6), * свинецъ (Pb=1295,0), * висмутъ (Bi=2660,0), * ртуть (Hg=1250,0), * олово (Sn=735,3), титанъ (Ti=314,8), танталъ или коломбій (Ta), ніобій (Nb), ильменій (Il), пелопій (Pr), * сюръма (Sb=1612,5), уранъ (U=750,0), * серебро (Ag=1350,0), * золото (Au=2455,0), * платина (Pt=1232,0), палладій (Pd=665,2), родій (Rh=653,0), иридій (Ir=1233,2), рутеній (Ru=646,0), осмій (Os=1244,2).

Между этими тѣлами есть много такихъ, которыя рѣдко встрѣчаются въ природѣ, еще недостаточно изслѣдованы и не имѣютъ никакого приложенія въ технику; этихъ тѣлъ мы не отмѣтили звѣздочками.

§ 218. Для ближайшаго изслѣдованія силы сродства, обратимъ вниманіе на отношеніе между составными тѣлами, образующими однородное цѣлое, называемое *химическимъ* соединеніемъ. Эквиваленты (нав).

Если сѣра соединяется со ртутью для образованія киновари, то при этомъ вѣсъ полученнаго соединенія бываетъ равенъ суммѣ вѣсовъ составляющихъ его частей. Но не должно полагать, чтобы новое тѣло могло произойти отъ соединенія произвольнаго количества сѣры со ртутью. Опытъ показываетъ, что только опредѣленное отношеніе вѣсовыхъ частей составныхъ тѣлъ въ состояніи образовать химическое соединеніе. Такъ напр. 100 частей вѣса ртути требуютъ 16 частей вѣса сѣры; всякій избытокъ одной изъ составныхъ частей, противу указаннаго вѣса, не принимаетъ уже участія въ соединеніи. Подобное явленіе замѣчено при всѣхъ химическихъ соединеніяхъ: только опредѣленный вѣсъ извѣстнаго тѣла можетъ соединяться съ опредѣленнымъ же вѣсомъ другаго тѣла, для образованія химическаго соединенія.

Если взять газообразное тѣло кислородъ, соединяющійся, какъ показываетъ опытъ, со всѣми прочими тѣлами, за исключеніемъ фтора, то найдемъ, что 100 частей кислорода соединяются

съ	200 частями по вѣсу сѣры,		
1350,0	—	—	серебра,
12,5	—	—	водорода,
443,7	—	—	хлора,
490,0	—	—	калія,
75,0	—	—	углерода,
175,0	—	—	азота.

Числа эти всегда остаются постоянными для 100 ч. кислорода и не могутъ быть измѣнены никакими посторонними условіями.

Не должно впрочемъ думать, чтобы именно 100 ч. кислорода и могли соединяться съ 200 ч. сѣры: это значитъ только, что всѣ со-

единенія кислорода съ сѣрою могутъ происходить въ томъ случаѣ, когда вѣса составныхъ частей относятся между собою какъ 100 къ 200. На этомъ основаніи изъ приведенныхъ выше чиселъ, определенныхъ опытомъ и для другихъ тѣлъ, мы можемъ опредѣлить, какое количество известнаго тѣла можетъ соединиться съ известнымъ количествомъ другаго. Такъ напр. если мы знаемъ, что 100 ч. вѣса кислорода требуютъ 200 ч. вѣса сѣры, то очевидно, что для 150 ч. кислорода потребуется 300 ч. сѣры ($100 : 200 = 150 : 300$). Слѣдовательно приведенныя нами числа имѣютъ только относительное значеніе, и даютъ намъ возможность для каждаго произвольнаго вѣса одного элемента опредѣлить изъ простой пропорціи чиселъ вѣсовыхъ частей другаго элемента, необходимое для образованія съ первымъ химическаго соединенія.

Кромѣ того, числа эти показываютъ также относительныя части вѣса, въ которыхъ прочіе элементы соединяются между собою, независимо отъ кислорода. Такъ напр. твердое тѣло калий соединяется легко съ газообразнымъ тѣломъ хлоромъ; изслѣдуя отношеніе вѣсовъ, въ которомъ происходитъ соединеніе этихъ тѣлъ, находимъ, что 490 частей по вѣсу калия соединяются съ 443,7 частями по вѣсу хлора; слѣдовательно здѣсь мы встрѣчаемъ точно тоже отношеніе, какъ и при отдѣльномъ соединеніи этихъ тѣлъ съ кислородомъ. Углеродъ соединяется съ хлоромъ въ отношеніи 75 частей къ 443,7 частей, и въ этомъ случаѣ число частей углерода, необходимое для соединенія съ кислородомъ, достаточно для соединенія съ тѣмъ числомъ частей вѣса хлора, которое сохраняетъ это послѣднее тѣло относительно калия и кислорода. Однимъ словомъ, если мы опредѣлили число вѣсовыхъ частей какого нибудь элемента, необходимое для соединенія съ известнымъ числомъ другаго элемента, то имѣемъ право вывести заключеніе, что полученное число будетъ точно также относиться и къ другимъ элементамъ. Поэтому приведенныя нами выше числа показываютъ то количество вѣса, въ которомъ должно взять каждый изъ элементовъ для того, чтобы онъ могъ замѣнить въ какомъ нибудь соединеніи другой элементъ. Они означаютъ, такъ сказать, равное значеніе элементовъ и поэтому называются эквивалентами или химическими паями простыхъ тѣлъ.

Числа эти были опредѣлены учеными со всевозможною тщательностію; они поставлены нами возлѣ каждаго изъ поименованныхъ выше простыхъ тѣлъ, которымъ они соответствуютъ. Изъ самаго свойства этихъ чиселъ слѣдуетъ, что они могутъ быть отнесены къ каждому элементу и къ произвольному количеству вѣса послѣдняго. Тѣмъ не менѣе принято относить эти числа или ко 100 частямъ вѣса кислорода или къ 1 части вѣса водорода. Въ послѣднемъ случаѣ получаются меньшія числа, которыя могутъ быть легче удерживаемы въ памяти.

Не взирая на эти различія какъ тѣ, такъ и другія числа имѣютъ относительныя значенія и весьма легко переводить одинъ рядъ чиселъ на другой.

Если пай кислорода равенъ 100, то пай водорода будетъ равенъ 12,5. Если же пай водорода = 1, то пай кислорода будетъ равенъ 8 ($100 : 12,5 = 8 : 1$). Поэтому для полученія павъ, соответствующихъ единичному паю водорода, должно раздѣлить на 12,5 числа отнесенныя ко 100 ч. кислорода; для обратнаго превращенія должно помножить пай отнесенные къ водороду на 12,5.

§ 219. До сихъ поръ мы предполагали, что простые тѣла соеди- Закономъ
прот-
ныхъ
про-
порцій. няются между собою только въ одномъ отношеніи вѣсовъ. Опытъ же показываетъ намъ, что извѣстныя тѣла образуютъ съ другими цѣлый рядъ соединений; такъ напр. азотъ соединяется съ кислородомъ въ пяти содержаніяхъ. Но и въ этомъ отношеніи тѣла покоряются весьма простому закону, который имѣетъ близкое соотношеніе съ паями тѣлъ. Возьмемъ азотъ и кислородъ: 175 частей вѣса азота соединяются со 100, 200, 300, 400 и 500 частями по вѣсу кислорода. Эти числа относятся къ паямъ обоихъ элементовъ какъ $1 : 1 : 2 : 3 : 4 : 5$. Отсюда слѣдуетъ, что 1 эквивалентъ азота даетъ съ 1, 2, 3, 4, 5 эквивалентами кислорода пять различныхъ соединений, въ которыхъ число частей по вѣсу кислорода всегда составляетъ простой множитель пая этого тѣла.

Но не всегда это отношеніе бываетъ такъ просто, напр. металлъ марганецъ даетъ нѣсколько соединений съ кислородомъ, изъ которыхъ въ первомъ на 1 пай = 345 заключается 100 частей по вѣсу кислорода, во второмъ въ 150, третьемъ 200, въ четвертомъ 300 и въ пятомъ 350 частей. Числа эти, отнесенныя къ паямъ, даютъ отношеніе $1 : 1 : 1\frac{1}{2} : 2 : 3 : 3\frac{1}{2}$. Хотя отношенія въ дробныхъ числахъ и не противорѣчатъ собственно понятію о паѣ *, но для большаго удобства въ выраженіи состава тѣлъ мы предполагаемъ во второмъ соединеніи на 2 пая марганца 3 пая кислорода, а въ пятомъ соединеніи на 2 пая марганца должны допустить 7 павъ кислорода; въ справедливости этого предположенія мы убѣждаемся также другими причинами.

Показанный нами законъ, которому подчинены всѣ парныя соединенія простыхъ тѣлъ между собою, былъ выведенъ въ 1807 году англійскимъ ученымъ Дельтономъ и извѣстенъ въ химіи подъ названіемъ закона кратныхъ пропорцій.

Онъ можетъ быть выраженъ слѣдующими словами: если простое тѣло А даетъ нѣсколько соединений съ другимъ простымъ тѣломъ В и если вычислить число частей вѣса, приходящееся въ различныхъ соединеніяхъ для одного и того же вѣса тѣла А, то количества вѣса тѣла В во всѣхъ соединеніяхъ, по сравненіи между собою, будутъ находиться въ простомъ между собою содержаніи.

Для лучшаго объясненія этого закона возьмемъ опять азотъ и кислородъ: первое соединеніе этихъ тѣлъ (азотистая окись) состоитъ изъ

второе соединеніе этихъ тѣлъ (азотная окись)

63,63 азота,
36,37 кислор.
100,00
46,66 азота,
53,34 кислор.
100,00.

* Подробнѣе см. у Гесса, 7-е изд. стр. 530.

третье соединеніе этихъ тѣлъ (азотистая к.)	состоитъ изъ	36,84 азота, 63,16 кислор.
		100,00.
четвертое соединеніе этихъ тѣлъ (азотноватая к.)	»	30,43 азота, 69,57 кислор.
		100,00
пятое соединеніе этихъ тѣлъ (азотная к.)	»	25,93 азота, 74,07 кислор.
		100,00

Простой взглядъ на эти соединенія не даетъ никакого понятія объ отношеніи вѣсовъ, но если вычислить, сколько частей одного тѣла приходится въ каждомъ соединеніи на одно и тоже число вѣса другого тѣла, напр. азота, то увидимъ, что числа вѣса кислорода, приходящіяся въ каждомъ соединеніи на одно и тоже количество азота, относятся между собою какъ 1 : 2 : 3 : 4 : 5. При этомъ очевидно все равно, какое бы мы не взяли количество азота; возьмемъ напр. число 14. Если въ первомъ соединеніи на 63,63 ч. азота приходится 36,37 ч. кислор., то на 14 ч. азота мы получимъ 8 частей кислорода; разсуждая точно также, получимъ для втораго соединенія 16 частей кислорода, для третьяго — 24 ч. кислор., для четвертаго — 32 ч. кислор. и для пятого — 40 ч. кислор. Эти числа 8, 16, 24, 32 и 40, выражающія число частей кислорода, соединяющагося съ 14 частями азота, содержатся между собою какъ 1 : 2 : 3 : 4 : 5.

Сказанное нами о парныхъ соединеніяхъ элементовъ относится и къ соединеніямъ большаго числа элементовъ. Такъ напр. возьмемъ соединеніе, состоящее изъ 200 частей сѣры, 200 частей кислорода и 443,3 ч. хлора. Отношенія паевъ могутъ быть выражены въ этомъ случаѣ числами 1 : 2 : 1. Тоже самое простое отношеніе паевъ замѣчается и у болѣе сложныхъ тѣлъ.

Если два или нѣсколько паевъ соединяются между собою посредствомъ сродства, то полученное соединеніе весьма часто въ состояніи соединяться съ другими сложными тѣлами и образовать такимъ образомъ соединенія высшаго порядка. Но и послѣднія всегда совершаются въ опредѣленномъ отношеніи частей вѣса. Такъ напр. 1 пай углерода соединяется съ 2 паями кислорода и образуетъ углекислоту. Поэтому послѣдняя на 75 частей или пай углерода заключаетъ 200 паевъ кислорода, и слѣдовательно можно сказать, что пай углекислоты = 275, т. е. суммѣ двухъ паевъ кислорода и пая углерода. И въ самомъ дѣлѣ, если углекислота входитъ въ другое соединеніе, то количество углекислоты всегда равно приведенному пая или числу происшедшему отъ умноженія этого пая на простой множитель. Возьмемъ для примѣра соединеніе углекислоты съ кали, состоящимъ изъ металла калия и кислорода. Пай кали равенъ 590; съ этимъ количествомъ соединяются, смотря по обстоятельствамъ, или 275 ч. или 550 ч. углекислоты. Число соединенныхъ паевъ относится здѣсь какъ 1 : 1 или какъ 1 : 2. Какъ кали на 590 частей заключаетъ 100 ч. кислорода, а въ углекислотѣ содержится 200 частей послѣдняго, то для кислорода общей части обоихъ соединеній получается весьма простое отношеніе, а именно въ соединеніи съ 275 ч. углекислоты оно равно 1 : 2; въ соединеніи же съ 550 ч. углекислоты оно равно 1 : 4.

На этомъ основаніи мы имѣемъ право сказать, что *пай сложнаго тѣла равенъ суммѣ паевъ тѣла, его составляющихъ, и что во всякомъ соединеніи, состоящемъ изъ двухъ парныхъ соединеній, въ которыхъ входитъ общую частію одно простое тѣло, количества вѣса послѣдняго въ обоихъ парныхъ соединеніяхъ находятся въ простомъ отношеніи паевъ.*

Точное знаніе паевъ простыхъ тѣлъ доставляетъ намъ большую пользу; во многихъ случаяхъ оно позволяетъ намъ опредѣлять пай ихъ соединеній. Положимъ напр., что упомянутая выше углекислота есть еще неопредѣленное до настоящаго времени соединеніе. Съ помощью разложенія можно доказать, что она состоитъ изъ углерода и кислорода, которыхъ пай съ точностію извѣстенъ. Тогда опредѣляютъ посредствомъ разложенія, сколько частей вѣса отдѣльныхъ простыхъ тѣлъ заключается въ 100 частяхъ вѣса ихъ соединенія. Находить, что въ 100 ч. углекислоты заключается 27,27 углерода и 72,73 кислорода.

На основаніи приведенныхъ выше законовъ извѣстно, что простые тѣла соединяются въ отношеніи паевъ; поэтому остается опредѣлить, въ какомъ содержаніи паевъ соединены въ углекислотѣ углеродъ и кислородъ. Это найти легко, раздѣливши найденныя нами части вѣса 27,27 и 72,73 на пай обоихъ простыхъ тѣлъ: $27,27 : 75 = 0,3636$; $72,73 : 100 = 0,7273$. Эти частныя даютъ намъ отношеніа углерода и кислорода въ паяхъ $3636 : 7273 = 1 : 2$. Чтобы опредѣлить теперь, сколько именно паевъ углерода и кислорода заключается въ углекислотѣ, намъ должно опредѣлить пай этого соединенія; это мы можемъ сдѣлать путемъ опыта, опредѣливъ, какое количество углекислоты соединяется съ тѣломъ, котораго пай уже намъ извѣстенъ. Мы знаемъ, что 275 частей въ углекислотѣ соединяются съ 590 ч. вѣса (1 паямъ) кали; следовательно на одинъ пай кали въ углекислотѣ приходится 1 пай углерода и 2 пая кислорода. Это въ свою очередь даетъ намъ право заключать, что въ одномъ паяхъ углекислоты содержится 1 пай углерода и 2 пая кислорода.

§ 220. Исслѣдованіе паевъ показываетъ намъ, что всѣ химическіе процессы совершаются на основаніи постоянныхъ отношеній вѣсовъ, которыя могутъ быть выражены числами. Такъ напр. съ помощью многихъ опытовъ опредѣлено съ точностію, что если привести въ соединеніе углекислый кали съ хлористо-водородною кислотою, то выдѣляется углекислота и образуется хлористый калий и вода. Опытъ показываетъ намъ также, что при этомъ процессѣ 865 частей вѣса = 1 паю углекислаго кали входитъ въ соединеніе 456,3 частями вѣса = 1 паю хлор. вод. кислоты и даютъ 275 ч. вѣса = 1 паю углекислоты, 112,5 частей вѣса 1 пая воды и 933,7 частей вѣса = 1 паю хлористаго кали. Одинъ уже этотъ примѣръ показываетъ, какъ затруднительно было бы удерживать въ памяти ходъ каждаго процесса, представленный такимъ образомъ. Чтобы устранить это неудобство и вмѣстѣ съ тѣмъ доставить возможность легче обозрѣвать ходъ каждаго химическаго процесса, условились выражать каждое тѣло первою буквою латинскаго его названія; такъ напр. Сѣру (sulphur) означаютъ чрезъ S, а если буква S повторяется для другаго тѣла, то прибавляютъ къ ней вторую букву: селенъ (selenium) Se, силицій (silicium) Si, и т. д. Подъ этими буквами условились разумѣть не только одни названія простыхъ тѣлъ, но и пай ихъ; такъ напр. O означаетъ не только кислородъ, но вмѣстѣ съ

тѣмъ и 100 ч. его вѣса или его пай. H — 12,5 ч. вѣса водорода и т. д. Всѣ эти буквы поставлены нами выше возлѣ названій простыхъ тѣлъ; съ принятіемъ этихъ знаковъ получилась возможность дѣлать нагляднымъ составъ соединений. Если соединеніе по одному паю двухъ простыхъ тѣлъ, то для означенія соединенія знаки тѣлъ ставятся рядомъ, наприм. HO вода изъ 100 частей кислорода и 12,5 водорода; KO — кали и т. д. Если въ соединеніи одного тѣла находится нѣсколько паевъ, то число паевъ его пишется вправо отъ соотвѣтствующаго знака, напр. SO_2 означаетъ соединеніе одного пая сѣры съ двумя паями кислорода. Если хотѣть выразить, что въ соединеніи заключается напр. два пая какого нибудь парнаго соединенія, напр. сѣрной кислоты, то пишутъ $2SO_2$; $2SO_3$, KO означаетъ 2 пая SO_3 въ соединеніи съ однимъ паямъ KO . Если же соединеніе написано такъ: $2(KO, SO_3)$, то это значитъ два пая соединенія SO_3, KO . Если нѣсколько такихъ соединеній входятъ въ составъ сложнаго тѣла, то между ними ставятъ знакъ $+$ напр. $Al_2 O_3, 3SO_3 + KO, SO_3 + 24 HO$. Всѣ эти составные знаки извѣстны въ химіи подъ названіемъ *химическихъ формулъ*.

Какъ кислородъ входитъ весьма часто въ соединенія, то нѣкоторые означаютъ его точкою; поэтому вмѣсто HO пишутъ $H.$ Точно также для означенія соединенія 2 паевъ одного простаго тѣла съ однимъ или многими паями кислорода знакъ перваго прочеркивается, такъ напр. пишутъ \bar{Al} вмѣсто Al_2O_3 . Показанные нами знаки служатъ не только для означенія соединеній, но даютъ понятіе и о самомъ разложеніи. Для представленія послѣдняго знаками ставятъ $+$ между знаками тѣлъ, образующими извѣстное разложеніе, потомъ ставятъ знакъ равенства и за нимъ пишутъ формулы разложенныхъ тѣлъ. Такъ напр. желая означитъ разложеніе, полученное отъ взаимнаго дѣйствія углекислаго кали и хлористо-водородной кислоты, пишутъ $KO, CO_2 + ClH = KCl + HO + CO_2$; $KS_2 + SO_2, HO = KO, SO_2 + SH + 4S$. Это значитъ, что соединеніе 1 пая калия съ 5 паями сѣры отъ соединенія SO_2 съ HO распадается на 4 пая сѣры, 1 пай сѣрнокислаго кали и 1 пай сѣрнистаго водорода.

АТОМНО-
ТѢСНАЯ
ТЕОРИЯ
ТЕОРИЯ
ОБЪЯС-
НОВЪ.

§ 221. Для объясненія приведенныхъ нами выше химическихъ законовъ прибѣгаютъ къ такъ называемой *атомической теоріи*. Какъ уже извѣстно, подъ атомами разумѣютъ такія частицы матеріи, которыя не могутъ быть подраздѣлены далѣе на мельчайшія части. Хотя объ удѣльномъ вѣсѣ этихъ небольшихъ частицъ мы не можемъ составить себѣ даже приблизительнаго понятія, тѣмъ не менѣе мы можемъ принять, что атомы простыхъ тѣлъ обладаютъ различнымъ вѣсомъ, такъ напр. мы можемъ допустить, что одинъ атомъ сѣры въ два раза тяжелѣе 1 атома кислорода. Если же мы предположимъ, что эти относительные вѣса различныхъ атомовъ находятся въ томъ же отношеніи между собою, какъ и пая простыхъ тѣлъ, и что химическія соединенія заключаются собственно во взаимномъ расположеніи атомовъ другъ возлѣ друга, то очевидно этимъ легко можетъ быть объяснено замѣченное опытомъ постоянное отношеніе вѣсовъ. Одинъ атомъ калия въ 4,9 разъ тяжелѣе 1 атома кислорода; если оба эти атома расположатся другъ возлѣ друга и дадутъ кали, то очевидно, что въ соединеніи на 100 частей вѣса кислорода будетъ 490 частей вѣса калия. Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что то же отношеніе вѣсовъ будетъ существовать, если произвольное число атомовъ кали соединится съ равнымъ числомъ атомовъ кислорода. Какъ необходимое слѣдствіе изъ приведенной гипотезы вытекаетъ законъ кратныхъ пропорцій. Если атомы по 2, 3, 3 и болѣе соединяются съ 1 или многими атомами другаго простаго тѣла, то очевидно, что эти 3, 4 или болѣе атомовъ должны вѣсить въ 3, 4 и т. д. разъ

болѣе противу 1 атома. Если извѣстная группа атомовъ обнаруживаетъ родство, то при дальнѣйшемъ соединеніи она должна располагаться возлѣ другой группы. Поэтому всегда получается, что пай соединенія равенъ суммѣ частей отдѣльных простыхъ тѣлъ, заключающихся въ немъ. Въ смыслѣ атомической теоріи опредѣленные опытомъ пай тѣлъ называются *элементами* атомовъ ихъ.

Атомическая теорія объясняетъ при томъ много другихъ фактовъ, имѣющихъ близкое соотношеніе къ химическимъ явленіямъ. Какъ мы уже говорили, гораздо выше, подѣляя удѣльнымъ вѣсомъ каждаго тѣла разумѣютъ число, во сколько разъ извѣстный объемъ этого тѣла тяжелѣе или легче равнаго объема другого тѣла, принятаго за единицу. Для газовъ принимаютъ за единицу атмосферный воздухъ и поэтому если говорить, что удѣльный вѣсъ кислорода = 1,1026, то это значитъ, что на основаніи опытовъ произвольный объемъ кислорода, напр. 1 куб. футъ при равномъ давленіи воздуха и при одинаковой температурѣ въ 1,1026 разъ тяжелѣе равнаго объема атмосфернаго воздуха; изъ подобныхъ сравненій получается результатъ, что пай находится въ весьма простомъ отношеніи съ удѣльными вѣсами. Для объясненія этого приведемъ для нѣкоторыхъ газовъ тѣ отношенія вѣсовъ, которые получаются отъ сравненія вѣса одного объема кислорода съ однимъ равнымъ объемомъ другого газа:

	удѣльный вѣсъ	пай
кислородъ	100,000	— — 100,000 = 1 : 1
водородъ	6,263	— — 12,500 = 1 : 2
хлоръ	221,825	— — 443,650 = 1 : 2
бромъ	489,150	— — 978,310 = 1 : 2
іодъ	789,148	— — 1580,290 = 1 : 2
азотъ	87,500	— — 175,000 = 1 : 2
фосфоръ	392,310	— — 400,000 = 1 : 1
мышьякъ	980,084	— — 937,500 = 1 : 1

Изъ этой небольшой таблицы слѣдуетъ, что соединенія простыхъ тѣлъ должны совершаться по весьма простымъ отношеніямъ между объемами; и въ самомъ дѣлѣ, если напр. 100 частей вѣса (1 пай) кислорода должны соединиться съ 12,5 ч. вѣса (1 пай) водорода, то на 1 объемъ кислорода потребны будутъ 2 объема водорода, потому что одинъ и тотъ же объемъ, содержащій 100 частей вѣса кислорода, въ состояніи заключать только 6,25 частей вѣса водорода, т. е. $\frac{1}{2}$ пая. Напротивъ того у хлора и водорода видимъ мы, что удѣльные вѣса обоихъ газовъ находятся въ одномъ отношеніи съ ихъ паями. Слѣдовательно, если оба эти тѣла соединяются между собою, то соединеніе ихъ должно совершаться въ равныхъ частяхъ объемовъ. Тоже самое повторяется и въ отношеніяхъ объемовъ газообразныхъ соединеній, образовавшихся отъ соединенія двухъ газовъ.

При всѣхъ соединеніяхъ по объему замѣчаютъ, что пространство, принимаемое продуктомъ соединенія, или равно въ точности тому, которое занимали прежде простые тѣла до своего соединенія, такъ что объемъ остался неизмѣннымъ, или произошло уменьшеніе объема, или наконецъ, что весьма рѣдко, увеличеніе его. Въ обоихъ послѣднихъ случаяхъ объемы продукта соединенія всегда находятся въ самомъ простомъ отношеніи къ тѣмъ объемамъ, которые занимали простые тѣла до своего соединенія. Уменьшеніе объема, какъ показываютъ опыты, совершается съ 2 на 1, съ 3 на 2 и съ 4 на 2. Эти весьма важныя отношенія могутъ быть объяснены просто по атомической теоріи, если мы примемъ, что при равномъ давленіи воздуха и при равной температурѣ газы въ одинаковомъ объемѣ заключаютъ *одинаковое* число атомовъ.

А какъ атомы различныхъ простыхъ тѣлъ отличаются ихъ опредѣленнымъ неизмѣннымъ вѣсомъ, то при образованіи соединенія, въ частяхъ объема, послѣднія должны быть въ томъ отношеніи вѣсовъ, которое представляютъ атомы.

При указанномъ нами сравненіи удѣльныхъ вѣсовъ съ паями замѣчаютъ, что кислородъ и водородъ не соединяются въ равныхъ частяхъ объема въ томъ случаѣ, когда соединяются между собою равные паяи обонихъ тѣлъ, потому что 100 частей вѣса кислорода требуютъ 12,5 частей вѣса водорода. Въ пространствѣ же, заключающемъ сто произвольныхъ частей вѣса кислорода помѣщаются только 6,25 частей вѣса водорода, слѣдовательно только половина пая этого послѣдняго тѣла. А какъ по смыслу атомической теоріи въ каждомъ равномъ объемѣ простыхъ газовъ подразумѣвается одинаковое число атомовъ, то должно въ послѣднемъ случаѣ сказать: 1 атомъ кислорода соединяется съ 2 атомами водорода, причемъ очевидно числа, выражающія вѣсъ атома и пай водорода, не равны между собою; первое изъ нихъ должно быть въ половину менѣе противу послѣдняго. Если же на основаніи атомической теоріи подъ знаками для простыхъ тѣлъ должно разумѣть въ тоже время и удѣльные вѣса этихъ тѣлъ, то H не будетъ уже болѣе, какъ прежде, означать 12,5 частей вѣса, но только 6,25 и формула соединенія обонихъ элементовъ будетъ тогда: H_2O ; изъ этой формулы слѣдуетъ, что безъ измѣненія отношеній вѣса соединяются собственно 2 атома водорода съ 1 атомомъ кислорода, или что одно и тоже, 2 части объема водорода съ 1 частию объема кислорода. Подобныя отношенія къ кислороду имѣютъ также азотъ, хлоръ, бромъ и іодъ; при соединеніяхъ этихъ тѣлъ вѣсъ объема или вѣсъ атома не совпадаетъ съ паемъ, но бываетъ въ половину менѣе послѣдняго; въ этихъ соединеніяхъ, по смыслу атомической теоріи, мы должны предполагать удвоенное число атомовъ противу паявъ. Въ азотистой окиси напр. мы встрѣчаемъ равные паяи азота и кислорода, т. е. 175 частей азота на 100 ч. кислорода; поэтому обыкновенная формула для азотистой окиси будетъ NO ; но въ азотистой окиси на 1 часть объема кислорода содержится 2 части объема азота; слѣдовательно, если объемъ и атомъ должны быть одинаково принимаемы, то формулу этого соединенія слѣдуетъ изображать чрезъ N_2O .

Приведенныя здѣсь предположенія извѣстны подъ названіемъ *теоріи объемовъ*, которой придерживаются въ настоящее время только немногіе физики. Противу этой теоріи говорятъ многія явленія. И въ самомъ дѣлѣ, опытъ показываетъ, что тѣ простые тѣла, которые по теоріи объемовъ вообще образуютъ соединенія 2 атомовъ, никогда не соединяются менѣе того отношенія вѣсовъ, которое соответствуетъ паямъ ихъ. Если 1 атомъ кислорода вѣситъ 100, то 1 атомъ водорода вѣситъ 6,25, но никогда не соединяется менѣе 6,25 водорода съ 1 паемъ другихъ простыхъ тѣлъ; тоже самое представляютъ намъ углеродъ, хлоръ, бромъ, іодъ и др. Хлоръ соединяется съ водородомъ въ отношеніи вѣсовъ какъ 221,8 къ 6,25, но если изслѣдовать разложеніи и соединенія продукта, полученнаго изъ этого соединенія, то находять, что собственно соединяется удвоенное число простыхъ тѣлъ, слѣдовательно 443,6 хлора съ 12,5 водорода, т. е. въ частяхъ вѣса въ точности соответствующихъ паямъ этихъ тѣлъ. Какъ отдѣльные атомы этихъ простыхъ тѣлъ не входятъ въ соединеніе, то должны были допустить существованіе *нераздѣльныхъ двойныхъ атомовъ*.

§ 222. Если и нельзя составить себѣ понятія объ абсолютной величинѣ атома, то можно опредѣлить посредствомъ вычисленія относительное значеніе этихъ величинъ, т. е. число, выражающее во сколько разъ атомы одного простаго тѣла болѣе атомовъ другаго. Понятно, что вѣсъ одного атома будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ значительнѣе его удѣльный вѣсъ и слѣдовательно пространство, занимаемое атомомъ, есть его объемъ. Оба эти обстоятельства обуславливаютъ вѣсъ атома.

Поэтому если мы означимъ чрезъ A вѣсъ атома какого нибудь тѣла, чрезъ S его удѣльный вѣсъ, и чрезъ V его объемъ, то $A = SV$, откуда $V = \frac{A}{S}$.
Слѣдовательно должно раздѣлить только вѣсъ атома на удѣльный вѣсъ для полученія *относительнаго* объема атома. Подвергая подобному вычисленію

газообразныя простыя тѣла, получимъ весьма простыя числа. При кислородѣ получимъ мы для объема $\frac{100}{100} = 1$. Если на основаніи теоріи объемовъ положить количество водорода, заключающееся въ одинаковомъ объемѣ, равнымъ вѣсу атома этого тѣла, то получимъ $\frac{6,25}{6,25}$, слѣдовательно снова одно и тоже число получится для хлора, брома, іода, азота, мышьяка и фосфора. На этомъ основаніи можно заключать, что атомы кислорода, водорода, азота, хлора, брома, фосфора и мышьяка одинаковы. Со всѣмъ другое получается въ томъ случаѣ, если мы примемъ вмѣсто вѣсовъ атомовъ пая этихъ тѣлъ. Мы знаемъ, что водородъ соединяется съ кислородомъ въ отношеніи объемовъ какъ 2 : 1. Эти 2 объема представляютъ пай и поэтому въ два раза больше пая кислорода. Если раздѣлить пай 12,5 на удѣльный вѣсъ 6,25, то получимъ число 2 какъ объемъ пая водорода и число это не зависитъ вовсе отъ атомической теоріи; оно говоритъ, что пай водорода, при одинаковыхъ прочихъ обстоятельствахъ, занимаетъ удвоенное пространство противу пая кислорода.

Точно также можно вычислить и для твердыхъ и жидкихъ простыхъ тѣлъ пая павъ и удѣльных вѣсовъ относительный объемъ павъ этихъ тѣлъ. И тутъ получаются также простыя отношенія для простыхъ тѣлъ и для цѣлаго ряда ихъ получается одинаковый объемъ пая. Соединенія же тѣлъ представляютъ отклоненія отъ этого результата; вычисленные для нихъ объемы павъ бываютъ болѣе или менѣе противу тѣхъ, которые получаются, если сложить просто объемы павъ, неизмѣненныхъ элементовъ, но при этомъ уменьшенія и увеличенія не слѣдуютъ уже тѣмъ простымъ отношеніямъ, которыя мы видѣли выше при соединеніяхъ газовъ. Но должно здѣсь замѣтить, что отношенія эти для твердыхъ и жидкихъ тѣлъ не могутъ быть опредѣлены съ совершенною точностію, потому что точное опредѣленіе удѣльнаго вѣса твердыхъ и жидкихъ тѣлъ соединено съ большими затрудненіями, между которыми главное то, что какъ твердые, такъ и жидкія тѣла, вслѣдствіе особенныхъ свойствъ своихъ, расширяются весьма различно при равныхъ градусахъ высокихъ температуръ, тогда какъ газы представляютъ большую равномерность въ этомъ отношеніи. Поэтому должно предварительно опредѣлить, какую температуру слѣдуетъ сообщить твердому или жидкому тѣлу для того, чтобы его объемъ при опредѣленіи удѣльнаго вѣса могъ быть сравниваемъ съ объемомъ другаго тѣла, расширяющагося различно отъ теплоты.

Объ отношеніи павъ тѣлъ къ удѣльной теплотѣ ихъ и къ электричеству мы будемъ говорить впоследствии при рассмотрѣніи этихъ явленій.

§ 223. Перейдемъ теперь къ рассмотрѣнію обстоятельствъ, имѣющихъ вліяніе на силу химическаго притяженія или сродства. Для со-
дѣйствія силъ сродства весьма часто прибѣгаютъ къ пособію посто-
роннихъ обстоятельствъ. Чтобы два тѣла соединялись между собою
химически, необходимо во первыхъ непосредственное прикосновеніе ихъ
частицъ.

Второе условіе, содѣйствующее сродству, заключается въ подвижности частицъ тѣлъ. Твердые тѣла не соединяются между собою даже и при обнаруженіи сильнаго сродства, потому что частицы тѣлъ, хотя и притягиваются между собою, но не могутъ размѣститься другъ возлѣ друга. Для образованія соединенія одно изъ соединяющихся тѣлъ необходимо должно быть или въ жидкомъ или въ газообразномъ состояніи. Прежніе химики означали этотъ законъ извѣстнымъ латинскимъ выраженіемъ: *corpora non agunt, nisi fluida*.

Но и при выполненіи этихъ условій сила сродства можетъ дѣйствовать различно, смотря по расположенію частицъ въ тѣлѣ, такъ

напр., смотря потому, въ кристаллическомъ или некристаллическомъ состояніи находится тѣло; въ первомъ случаѣ одно и то же тѣло входитъ въ соединеніе легче, нежели во второмъ.

3) Весьма часто помогаетъ соединенію участіе *теплоты*; можно вообще сказать, что образованіе и разложеніе химическихъ соединеній всегда совершается только между извѣстными предѣлами состояній теплоты. Тѣла, соединяющіяся при обыкновенной или при повышенной температурѣ, не входятъ въ соединеніе, если ихъ достаточно охладить. Самая степень теплоты зависитъ отъ вещества, такъ напр. углеродъ для непосредственнаго соединенія съ кислородомъ требуетъ значительной степени теплоты; смѣсь изъ кислорода и водорода вступаетъ тогда въ химическое соединеніе, когда она нагреется до 400° . Хлоръ и калий напротивъ того соединяются при обыкновенной температурѣ; точно также хлоръ и фосфоръ. Но если охладить оба послѣднія тѣла, напр. до -80° , то они не дѣйствуютъ химически другъ на друга. По всей вѣроятности измѣненія въ силѣ сдѣленія, производимыя измѣненіями теплоты, служатъ причиною ослабленія и усиленія силы сродства. Этимъ свойствомъ теплоты пользуются при многихъ химическихъ процессахъ, вслѣдствіе чего употребляются въ химіи при практическихъ производствахъ различные снаряды для нагреванія тѣлъ: печи, лампы и т. п.

4) При химическихъ процессахъ принимаетъ также участіе въ извѣстной степени *свѣтъ* и *электричество*. Химическія явленія, зависящія отъ свѣта и электричества, будутъ изложены нами впоследствии.

5) Часто соединеніе двухъ тѣлъ, независимо отъ приведенныхъ нами условій, происходитъ само собою, при самомъ выдѣленіи одного или обоихъ тѣлъ изъ другаго соединенія; мы должны предполагать, что тогда тѣла появляются въ состояніи наиболѣе благопріятствующемъ сродству. Такое состояніе называется *status nascentis*, *моментомъ возрожденія*. Такъ напр. водородъ и мышьякъ не соединяются непосредственно; еще менѣе измѣняются водородомъ при обыкновенной температурѣ кислородныя соединенія мышьяка. Но если привести ихъ въ соединеніе съ жидкостію, въ которой отдѣляется водородъ, вслѣдствіе какого нибудь химическаго процесса, то водородъ не только соединяется съ кислородомъ мышьяковыхъ соединеній, но и съ самымъ мышьякомъ.

Состояніе частицъ тѣлъ при соединеніи ихъ.

§ 224. При совершеніи каждаго химическаго соединенія мы имѣемъ право предполагать, въ *дежменіи* частицы тѣлъ, причѣмъ для надлежащаго размѣщенія частицъ потребно извѣстное время. Время это во многихъ случаяхъ весьма короткое и неизмѣримое, при наблюденіи, для иныхъ соединеній, напротивъ того, бываетъ весьма продолжительно. Кислородъ и водородъ нагрѣтые соединяются съ чрезвычайною быстротою, такъ что значительный объемъ смѣси газовъ въ одинъ моментъ превращается въ воду. Раскаленное желѣзо соединяется весьма скоро съ кислородомъ воздуха. Ржавчина, которая есть также ни что иное, какъ соединеніе кислорода съ желѣзомъ, образуется весьма медленно при обыкновенной температурѣ.

§ 225. Какъ простые, такъ и болѣе сложныя соединенія подвергаются <sup>Химиче-
скія раз-
ложенія.</sup> въ извѣстныхъ обстоятельствахъ разложенію, причемъ или образу-
ются другія соединенія или выделяются простые тѣла. Разложеніе
зависитъ также отъ различныхъ вѣншихъ обстоятельствъ. Теплота,
которая, какъ мы видѣли, весьма сильно благопріятствуетъ соедине-
нію тѣлъ, въ иныхъ случаяхъ помогаетъ разложенію соединеній,
дѣйствуя при этомъ непосредственно на силу сцѣпленія.

Такъ напр. красная ртутная окись отъ нагрѣванія разлагается на
ртуть и кислородъ. Еще легче происходитъ разложеніе отъ дѣйствія
теплоты при сложныхъ соединеніяхъ, но въ этомъ случаѣ тѣла, обра-
зующія ихъ, даютъ большею частию тотчасъ послѣ разложенія новыя
соединенія. Кромѣ теплоты на разложеніе тѣлъ оказываетъ вліяніе
свѣтъ и электричество.

Но однимъ изъ главныхъ дѣйствителей при разложеніи бываетъ
само сродство. Разложенія происходятъ весьма часто въ томъ слу-
чаѣ, когда приводятся во взаимное прикосновеніе вещества, состав-
ныя части которыхъ обладаютъ сильнѣйшимъ сродствомъ между со-
бою, нежели къ тѣмъ тѣламъ, съ которыми они были первоначаль-
но соединены. Прежде называли сродство, производившее разложе-
ніе, *избирательнымъ* и различали три рода его, желая тѣмъ означить
различные случаи дѣйствія его, но какъ невозможно было подвести
всѣхъ явленій подъ эти три рода, то это раздѣленіе и самое назва-
ніе избирательнаго сродства было скорѣ оставлено.

§ 226. Изъ всего сказаннаго нами слѣдуетъ, что химическіе про- <sup>Посто-
янное
химиче-
скихъ
звѣно-
въ.</sup> цессы зависятъ отъ множества различныхъ обстоятельствъ; тѣмъ не-
менѣе изъ наблюденій и опыта былъ выведенъ слѣдующій общій
законъ: *при одинаковыхъ обстоятельствахъ всегда получаются одина-
ковые результаты химическаго дѣйствія.*

Нѣкоторыя явленія кажутся съ перваго взгляда противорѣчащими этому
закону; такъ напр. если проводить водяной паръ чрезъ трубку изъ раскален-
наго желѣза, то вода разлагается, желѣзо соединяется съ кислородомъ, а во-
дородъ дѣлается свободнымъ. Если же надъ образовавшимся соединеніемъ
кислорода съ желѣзомъ, провести при той же температурѣ водородъ, то
послѣдній соединяется съ кислородомъ, а желѣзо дѣлается свободнымъ. Это
обратное дѣйствіе объясняется прилипаніемъ, которое оказываетъ въ первомъ
случаѣ водородъ къ волянымъ парамъ, а во второмъ водяные пары къ водо-
роду; оба тѣла образуются, смотря по обстоятельствамъ, для присоединенія
другъ къ другу; при чемъ, въ первомъ случаѣ, находится въ избыткѣ водя-
ной паръ, а во второмъ—водородъ; поэтому обстоятельства, сопровождающія
эти явленія, въ сущности различны.

§ 227. Перейдемъ теперь къ отдѣльному разсмотрѣнію главнѣй- <sup>Раздѣ-
леніе
про-
стыхъ
тѣлъ.</sup> шихъ простыхъ тѣлъ и важнѣйшихъ ихъ соединеній.

Тѣла эти обыкновенно раздѣляютъ на два отдѣла: на *металлоиды*
(отъ греческихъ словъ *metallon*, металлъ и *idea*, видъ, сходство) и на
металлы.

Дѣленіе это основано на извѣстномъ различіи наружныхъ свойствъ
тѣлъ; различіе это въ строгомъ смыслѣ не представляетъ точности,
потому что наружныя свойства, принадлежащія одной группѣ тѣлъ,

повторяются и въ другой группѣ. Но эта неточность не имѣетъ большой важности, потому что раздѣленіе тѣлъ на металлоиды и металлы принято собственно для облегченія изученія.

Всѣ тѣла, обладающія большимъ удѣльнымъ вѣсомъ, непрозрачно-стію, блескомъ и твердостью, относятъ къ металламъ. Прочія же тѣла, не представляющія этихъ свойствъ, принято относить къ металлоидамъ. Къ числу ихъ принадлежатъ: кислородъ, водородъ, азотъ, хлоръ, бромъ, іодъ, фторъ, сѣра, селенъ, фосфоръ, углеродъ, боръ и кремній; нѣкоторые относятъ къ металлоидамъ и мышьякъ. Изъ нихъ кислородъ, водородъ, азотъ, хлоръ и фторъ суть тѣла газообразныя; бромъ — капельно-жидкое, а прочія суть тѣла твердыя.

Обозръ-
ніе ме-
талло-
идовъ.
Кисло-
родъ.

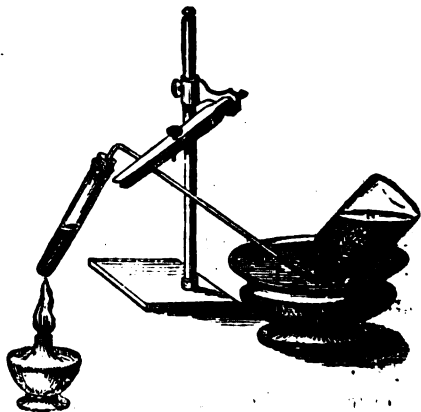
§ 228. Разсмотримъ теперь металлоиды.

Кислородъ въ первый разъ полученъ былъ въ 1774 году Пристлиемъ и Шееле, а Лавуазье призналъ его за простое тѣло. Название свое онъ получилъ вслѣдствіе стариннаго мнѣнія, что всѣ тѣла кислыхъ свойствъ одолжены этимъ качествомъ кислороду. Кислородъ распространенъ въ природѣ въ весьма большомъ количествѣ: онъ входитъ въ составъ воды, составляетъ существенную часть атмосфернаго воздуха, почти всѣ минеральныя вещества содержатъ въ своемъ составѣ кислородъ, такъ что можно предположить, что кислородъ составляетъ около $\frac{1}{3}$ части, по вѣсу, всей земной коры.

Кислородъ есть газъ нѣсколько тяжелѣе атмосфернаго воздуха, прозраченъ, не имѣетъ ни цвѣта, ни запаха, ни вкуса; самъ не горитъ, но въ сильной степени поддерживаетъ горѣніе и дыханіе, почему даже его называли *жизненнымъ газомъ*, такъ что горѣніе и дыханіе возможны въ атмосферномъ воздухѣ только потому, что онъ содержитъ въ себѣ кислородъ. Погасшая, но еще тлѣющая лучинка, въ кислородѣ снова загорается и горитъ яркимъ пламенемъ; стальная пружина быстро сгораетъ, разбрасывая около себя яркія искры (Фиг. 773); фосфоръ горитъ съ нестерпимо-яркимъ для глазъ блескомъ.

Фиг. 774.

Фиг. 773.



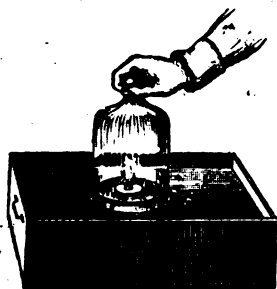
Всего легче можно добыть кислородъ, въ чистомъ видѣ, изъ краснаго порошка, названнаго подъ именемъ *красной ртутной окиси*, и

состоящаго изъ кислорода и ртути. Обыкновенно берутъ продолговатый и не слишкомъ узкій стеклянный стаканчикъ (фиг. 774), въ который, положимъ, всыпано 109 грановъ красной ртутной окиси. Стаканчикъ затыкаютъ пробкою, въ которую вставляется однимъ концемъ изогнутая стеклянная трубка, погруженная другимъ концемъ въ чашку съ водою. Съ помощію проволоки, или особеннаго рода деревянныхъ щипцовъ, устанавливаютъ трубку въ положеніи, показанномъ на чертежѣ. Послѣ того нагреваютъ стаканчикъ на спиртовой лампѣ до тѣхъ поръ, пока не изчезнетъ вся ртутная окись. Ртутная окись при нагреваніи мало по малу чернѣетъ, между тѣмъ какъ изъ открытаго конца стеклянной трубки начинаютъ показываться пузырьки газа, которые первоначально суть ни что иное, какъ нагрѣтый въ стаканчикѣ воздухъ. Чтобы узнать, когда дѣйствительно начнутъ отдѣляться пузырьки кислорода, надъ отверстиемъ газоотводной трубки, нѣсколько выходящемъ изъ воды, надобно держать тлѣющую лучинку, которая при появленіи кислорода тотчасъ вспыхнетъ. Тогда опускаютъ конецъ трубки въ воду и ставятъ надъ нимъ опрокинутую стеклянку съ водою. Вода въ стеклянкѣ остается до тѣхъ поръ, пока не взойдутъ въ нее пузырьки кислорода, которые, проходя черезъ воду, поднимаются кверху. Когда вся вода выйдетъ изъ стеклянки, то стеклянку закупориваютъ пробкою и снимаютъ. Потомъ ставятъ другую стеклянку, третью и т. д. до тѣхъ поръ, пока не прекратится отдѣленіе газа.

Верхняя часть стаканчика покрывается блестящимъ металлическимъ слоемъ, который есть ни что иное, какъ ртуть — другая составная часть ртутной окиси. Если по окончаніи опыта, т. е. тогда, когда вся ртутная окись изчезла, собрать осторожно ртуть опушкою пера, то мы получили бы ртути 101 гранъ, а кислорода 8 грановъ.

Если хотятъ сохранить кислородъ въ сосудѣ, напр. въ бутылкѣ, то бутылку крѣпко закупориваютъ и опрокидываютъ вверхъ дномъ.

Доказать присутствіе кислорода въ атмосферномъ воздухѣ очень легко, не только качественнымъ, но и количественнымъ образомъ. Стоитъ только налить въ большое блюдо воды и положить на воду пробочный кружокъ, на которомъ укрѣпленъ небольшой огарокъ восковой свѣчи. Если покрыть свѣчу небольшимъ стекляннымъ колоколомъ, имѣющимъ на поверхности своей дѣленія, и погружать его открытымъ концемъ въ воду, то мы увидимъ, что воздухъ, находящійся подъ колоколомъ, заставитъ понизиться поверхность заключенной въ немъ воды



выбѣстъ со свѣчею. Продолжая этотъ опытъ, мы увидимъ, что свѣча будетъ горѣть въ теченіе нѣсколькихъ минутъ; послѣ чего блескъ ея начнетъ постепенно слабѣть и, наконецъ, спустя нѣкоторое время, свѣча погаснетъ совершенно. Если мы потихоньку будемъ поднимать

колоколъ кверху, то увидимъ, что вода взойдетъ въ него и займетъ одну пятую часть его объема. Такимъ образомъ мы видимъ, что въ воздухѣ находятся два газа, изъ которыхъ одинъ поддерживаетъ горѣніе, а другой препятствуетъ ему; первый изъ этихъ газовъ и есть кислородъ, а второй азотъ. Изъ этого же опыта видно, что кислородъ составляетъ одну пятую часть, по объему, атмосфернаго воздуха, а азотъ четыре пятыхъ. Если, вмѣсто свѣчи, покроемъ колоколомъ какое нибудь маленькое животное, то увидимъ, что оно по истеченіи нѣкотораго времени задохнется; слѣд. кислородъ, составляющій необходимое условіе для горѣнія, служитъ также и для поддержанія дыханія животныхъ.

Скажемъ теперь нѣсколько словъ о самомъ процессѣ горѣнія.

Весьма долгое время объ горѣніи существовали самыя неудовлетворительныя и неясныя понятія.

До конца прошедшаго столѣтія полагали, что всякое горючее тѣло содержитъ въ себѣ особенное, неполучаемое въ отдѣльномъ состояніи, вещество *флогистонъ*, которое и отдѣляется изъ него при горѣніи; такимъ образомъ сѣра и фосфоръ состоятъ изъ сѣрной и фосфорной кислотъ и кромѣ того изъ флогистона; металлы суть известковыя тѣла (по нашему окиси) въ соединеніи съ флогистономъ, который сообщаетъ имъ блескъ и твердость. Если продуктъ, полученный при горѣніи металла, накалывать съ углемъ, то изъ послѣдняго переходитъ флогистонъ къ первому и снова получается металлъ.

Теорія эта вполне удовлетворительна, если не обращать вниманія на вѣсъ сжигаемаго тѣла до горѣнія и послѣ него. Такъ напр. при горѣніи металла получается тѣло, которое вѣситъ болѣе сгорѣвшаго металла, чего уже нельзя согласить съ отдѣленіемъ флогистона. Въ 1792 году Лавуазье доказалъ, что при горѣніи сгорающее тѣло соединяется съ одною изъ составныхъ частей воздуха, и посредствомъ точнаго взвѣшиванія показалъ, что вѣсъ тѣла при этомъ увеличивается на столько, сколько теряетъ воздухъ въ своемъ вѣсѣ. Другая же часть атмосфернаго воздуха не принимаетъ никакого участія при горѣніи. Когда въ 1794 году Англичанинъ Пристлей добылъ кислородъ въ отдѣльномъ видѣ, то Лавуазье, сжигая въ немъ различныя тѣла, ясно увидѣлъ, что это и есть тотъ самый газъ, который соединяется при горѣніи съ горящими тѣлами. Поэтому Лавуазье и назвалъ сперва этотъ газъ *огненнымъ воздухомъ*, а когда увидѣлъ, что онъ входитъ въ составъ почти всѣхъ кислыхъ тѣлъ — *кислородомъ*.

Водо-
родъ.

Водородъ открытъ въ концѣ XVII ст.; свойства его въ первый разъ описаны въ 1776 г. Кавендишемъ; онъ получилъ свое названіе отъ того, что входитъ въ составъ воды. Водородъ есть самый легчайшій изъ всѣхъ газовъ (въ $14\frac{1}{2}$ разъ легче воздуха), и потому употребляется для наполненія аэростатовъ; не имѣетъ ни цвѣта, ни вкуса, ни запаха, не поддерживаетъ ни дыханія, ни горѣнія, но самъ воспламеняется и горитъ слабымъ пламенемъ, развивающимъ апро-

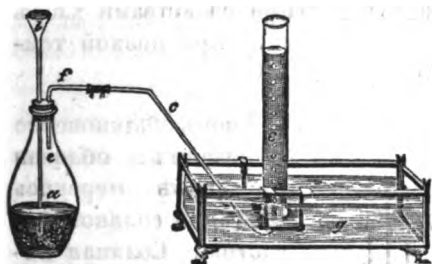
чемъ значительное количество теплоты. Въ смѣшеніи съ кислородомъ даетъ газъ (*тресучій азотъ*), воспламеняющійся съ сильнымъ взрывомъ; взрывъ бываетъ въ особенности силенъ, если смѣсь содержитъ въ себѣ на 2 ч. водорода 1 ч. кислорода.

Водородъ обыкновенно добываютъ изъ воды, отнимая у сей послѣдней кислородъ какимъ нибудь металломъ, легко соединяющимся съ кислородомъ, лучше всего желѣзомъ или цинкомъ въ присутствіи сѣрной кислоты, состоящей изъ одного пая сѣры и трехъ паявъ кислорода. При этомъ кислородъ воды даетъ съ металломъ соединеніе, которое въ свою очередь соединяется съ сѣрною кислотой и даетъ желѣзный или цинковый купоросъ, а водородъ отдѣляется.

Вода . . .	{ водородъ. кислородъ. . . } окись цинка. . . { сѣрнокислая окись цинкъ. } сѣрная кислота. } цинка.

Для добыванія употребляется приборъ, изображенный на фиг. 776.

Фиг. 776.



Онъ состоитъ изъ колбы, горлышко которой заткнуто пробкою съ 2-мя отверстиями; чрезъ одно проходитъ воронка *a*, чрезъ другое изогнутая газопроводная трубка. Въ колбу кладутъ желѣзо или цинкъ и наливаютъ воды, а чрезъ воронку, по мѣрѣ надобности, приливаютъ сѣрную кислоту; тогда водородъ проходитъ чрезъ

газопроводную трубку въ пневматическую ванну и оттуда въ приемникъ. Водородъ съ кислородомъ образуетъ воду и входитъ въ составъ животныхъ и растений.

Азотъ въ 1-й разъ добытъ въ 1772 году Рутерфордомъ и полу-*Азотъ*. чилъ свое названіе отъ неспособности поддерживать дыханіе животныхъ. Онъ немного легче атмосфернаго воздуха, не имѣетъ ни цвѣта, ни запаха, ни вкуса, не поддерживаетъ ни дыханія, ни горѣнія и самъ не горитъ.

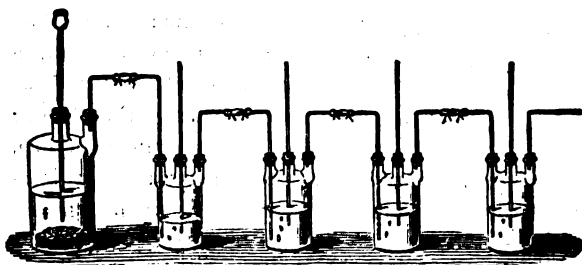
Азотъ можно получить въ отдѣльномъ видѣ изъ атмосфернаго воздуха; для этого стоитъ только пропустить струю атмосфернаго воздуха чрезъ накалившую трубку, въ которой лежатъ мѣдныя опилки. При этомъ мѣдъ соединяется съ кислородомъ воздуха и переходитъ въ окись мѣди; изъ трубки отдѣляется азотъ.

Если тщательно опредѣлить въ предъидущемъ опытѣ вѣсъ азота и вѣсъ кислорода, соединившагося съ мѣдью, то можно опредѣлить, сколько въ атмосферномъ воздухѣ находится кислорода и азота. Такимъ образомъ найдено, что во 100 ч. атмосфернаго воздуха находится по объему 79,1 ч. азота и 20,9 ч. кислорода.

Хлоръ. Хлоръ открытъ въ 1774 году Шееле, но долгое время считался сложнымъ тѣломъ: его принимали за окислъ неизвѣстнаго въ отдѣльномъ видѣ простаго тѣла мурія. Только въ 1809 году Деві доказалъ, что хлоръ есть тѣло простое и далъ ему настоящее названіе по его желтозеленому цвѣту (*chloris*, желто-зеленый); хлоръ не встрѣчается никогда въ природѣ въ чистомъ видѣ, но очень часто въ соединеніяхъ. Самое распространенное хлористое соединеніе есть поваренная соль (соединеніе хлора съ натріемъ). При обыкновенной температурѣ хлоръ имѣетъ видъ газа зеленоватожелтаго цвѣта; плотность его почти въ $2\frac{1}{2}$ больше плотности атмосфернаго воздуха. Хлоръ имѣетъ непріятный запахъ, при вдыханіи производитъ кашель и воспаленіе въ груди; самъ не горитъ, но нѣкоторыя тѣла въ немъ горятъ; если порошокъ сурьмы сыпать въ колбу, наполняемую хлоромъ, то сурьма загорается и падаетъ въ видѣ огненного дождя. Вода поглощаетъ хлоръ, принимая при этомъ свѣтлозеленый цвѣтъ и запахъ хлора.

Хлорная вода обезцвѣчиваетъ большую часть органическихъ красокъ и потому употребляется какъ средство для бѣленія матерій. Кромѣ того хлоръ употребляется для уничтоженія міазмъ, распространенныхъ въ воздухѣ во время заразы. Этими свойствами хлоръ одолженъ большому средству своему къ водороду. При низкой температурѣ хлоръ переходитъ въ жидкое состояніе.

Фиг. 777.



Хлоръ обыкновенно добываютъ, обливая въ колбѣ перекись марганца соляною кислотою. Соляная кислота состоитъ изъ водорода и хлора, а перекись марганца изъ марганца и кислорода.

Водородъ кислоты соединяется съ кислородомъ перекиси и образуетъ такимъ образомъ воду, а хлоръ кислоты частію соединяется съ марганцемъ, а частію переходитъ въ приѣмникъ.

2 пая соляной кислоты.	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ хлора} \dots\dots\dots 1 \text{ хлора.} \\ 1 \text{ хлора} \dots\dots\dots \left\{ \dots\dots\dots \right. \\ 2 \text{ водорода} \dots\dots\dots \left. \begin{array}{l} \text{хлор. марган.} \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\} \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\} 2 \text{ воды.}$
марганцевая перекись.		
	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ марганца} \dots\dots\dots \\ 2 \text{ кислорода} \dots\dots\dots \end{array} \right.$	

Бромъ. Бромъ, открытый въ 1826 году, есть жидкость краснокоричневаго цвѣта и весьма непріятнаго запаха (*Bromus* — вонючій), тяжелѣе воды и при обыкновенной температурѣ отдѣляетъ краснобурные пары. Въ свободномъ состояніи въ природѣ никогда не встрѣчается, но обыкновенно въ соединеніи съ металлами, въ морской водѣ; его соединенія находятся въ значительномъ количествѣ также у насъ въ старорусскихъ водахъ.

Подобно хлору бромъ образуетъ съ кислородомъ кислоты, съ металлами — галогенныя соли.

Іодъ открытъ въ 1812 году парижскимъ фабрикантомъ Куртуа, въ ^{Іодъ.} золя морскихъ растений, а изслѣдованъ былъ въ первый разъ Галюссакомъ. Іодъ есть тѣло твердое, чешуйчатовидное, похожее на графитъ; на кожѣ производитъ желтое пятно; отличается особеннымъ запахомъ, похожимъ на запахъ хлора. Іодъ легко растворяется въ спиртѣ и въ тепломъ мѣстѣ даетъ пары красиваго фіолетоваго цвѣта (^{іодъ} — фіолетовый), откуда и получилъ свое названіе.

Характеристическая особенность этого тѣла состоитъ въ его способности окрашивать крахмалъ въ синій цвѣтъ. Такимъ образомъ крахмалъ можетъ служить прекраснымъ средствомъ для открытія присутствія іода даже въ такихъ растворахъ, которые содержатъ въ себѣ не болѣе 0,000001 ч. іода. Соединенія его сходны съ соединеніями хлора и брома.

Фторъ распространенъ въ природѣ въ довольно значительномъ ко-^{Фторъ.} личествѣ, особенно въ плавленомъ шпатѣ, гдѣ онъ соединенъ съ кальціемъ. Кромѣ того онъ находится въ костяхъ животныхъ, особенно въ эмали зубовъ. Получить его въ чистомъ видѣ чрезвычайно трудно, потому что онъ дѣйствуетъ разрушительно на всѣ тѣ вещества, изъ которыхъ обыкновенно готовятъ химическіе приборы.

Сѣра — давно извѣстное желтое, твердое горючее вещество, не ^{Сѣра.} имѣетъ ни вкуса, ни запаха и не растворяется въ водѣ; въ расплавленномъ состояніи отдѣляетъ удушливые пары. Передъ точкою кипѣнія переходитъ въ тягучее, тѣстообразное вещество темнобураго цвѣта, которое при высшей температурѣ снова дѣлается жидкимъ. Если расплавленную сѣру вылить въ холодную воду, то она принимаетъ видъ бурой, мягкой массы, которая долго не твердѣетъ; въ этомъ видѣ ее употребляютъ для снятія оттисковъ медалей, монетъ и проч.

Сѣра находится въ природѣ въ большомъ количествѣ, нерѣдко совершенно чистая, а иногда въ соединеніи съ металлами, въ видѣ рудъ или въ видѣ купоросовъ. Даже животныя вещества, напр. желчь, содержатъ сѣру. Самородную сѣру очищаютъ перегонкою.

Селенъ. Тѣло это встрѣчается въ природѣ преимущественно въ со-^{Селенъ.} единеніи со свинцомъ. Селенъ открытъ въ 1818 году Берцелиусомъ, имѣетъ темнобурый цвѣтъ, слабо металлическій блескъ и легко распадается въ порошокъ. При нагрѣваніи онъ плавится и наконецъ кипитъ. Пары его темножелтаго цвѣта.

Фосфоръ открытъ въ 1669 году Брандомъ и получилъ свое наз-^{Фосфоръ.} ваніе отъ способности свѣтиться въ потьмахъ. Въ чистомъ видѣ въ природѣ его не находятъ, но въ соляхъ значительно распространенъ; наиболѣе же онъ заключается въ сѣменахъ растений и костяхъ животныхъ. Фосфоръ бѣлаго цвѣта, немного желтоватъ, твердостью похожъ на воскъ; имѣетъ жирный блескъ, въ водѣ не растворяется, но только въ спиртѣ и эфирныхъ маслахъ, легко плавится и заго-

рается. При обыкновенной температурѣ на воздухѣ фосфоръ отдѣляется бѣлые, и въ темнотѣ блестящіе пары. Его сохраняютъ обыкновенно подѣ водою и если онъ долго стоитъ на свѣтѣ, то изъ бѣлаго становится краснымъ и плавится уже гораздо труднѣе. Около 60° Цельсія воспламеняется и горитъ свѣтлымъ, бѣлымъ пламенемъ, превращаясь при этомъ въ фосфорную кислоту. Точно также воспламеняется при треніи объ жесткія поверхности, на чемъ основано употребленіе его для зажигательныхъ спичекъ.

Для приготовленія ихъ погружаютъ деревянные спички сперва въ сѣру, а потомъ въ смѣсь, состоящую изъ фосфора, гумми арабика, селитры и киновари; послѣднее вещество, служащее собственно для окрашенія, можетъ быть замѣнено берлинской лазурью. Фосфоръ принадлежитъ къ сильнѣйшимъ ядамъ и даже въ незначительныхъ приѣмахъ смертеленъ.

Фосфоръ добываютъ изъ кислой фосфорнокислой извести; известь накаливаютъ вмѣстѣ съ углемъ, при чемъ углеродъ соединяется съ кислородомъ, а фосфоръ отдѣляется въ видѣ паровъ и сгущается въ приемникъ подѣ водою. Расплавленный фосфоръ разливаютъ въ стеклянныя трубочки и такимъ образомъ получается фосфоръ въ видѣ палочекъ. Фосфоръ соединяется съ большею частию простыхъ тѣлъ.

Углеродъ.

Углеродъ извѣстенъ съ незапамятныхъ временъ и въ природѣ по большей части находится въ соединеніи съ другими тѣлами во многихъ ископаемыхъ, во всѣхъ растительныхъ и животныхъ тѣлахъ.

Углеродъ есть тѣло твердое, безъ вкуса и запаха, горитъ, не растворяется ни въ какой жидкости. Въ самомъ чистомъ состояніи углеродъ находится въ природѣ въ видѣ алмаза, менѣе чистый въ видѣ графита и каменнаго угля.

Въ ископаемомъ и древесномъ углѣ углеродъ находится въ соединеніи съ кислородомъ и водородомъ; въ животныхъ же и растительныхъ тѣлахъ углеродъ кромѣ того соединенъ съ азотомъ. Всѣ эти тѣла заключаютъ также примѣсь различныхъ другихъ, въ особенности минеральныхъ веществъ, которыя при горѣніи образуютъ остатки, извѣстный подѣ названіемъ золы.

Углеродъ можетъ служить намъ примѣромъ того, что одно и тоже тѣло представляется въ различныхъ состояніяхъ, обладая въ каждомъ изъ нихъ особенными свойствами. Такъ напр. въ алмазѣ углеродъ появляется прозрачнымъ, правильно окристаллованнымъ тѣломъ; въ графитѣ углеродъ непрозраченъ, имѣетъ металлическій блескъ и даетъ мелкіе кристаллы; въ различныхъ родахъ угля онъ появляется непрозрачнымъ чернымъ тѣломъ, не имѣющимъ кристаллической формы. Это свойство, обнаруживаемое нѣкоторыми простыми и многими сложными тѣлами, называется *аллотропіей*.

Если древесный или ископаемый уголь подвергнуть дѣйствию жара въ запертомъ пространствѣ, то отъ нихъ отдѣляются газообразныя

составныя части водородъ и кислородъ. Каменный уголь, подвергну-
тый такому процессу, называе́тъся подъ названіемъ кокса.

Уголь, приготовленный изъ животныхъ и растительныхъ веществъ,
обладаетъ, какъ мы уже говорили выше, свойствомъ поглощать въ
свои поры газы и сгущать ихъ тамъ (въ особенности свѣжепри-
готовленный уголь). Онъ имѣетъ также свойство вбирать въ себя
изъ жидкостей красящія вещества и тѣла, обладающія запахомъ.
Свойство это принадлежитъ животному углю еще въ большей сте-
пени, нежели растительному.

Поэтому употребляютъ уголь, приготовленный изъ крови и костей
животныхъ, для очищенія и обезцвѣчиванія сахара, для очищенія
уксуса, водки и т. п.

Какъ уголь предохраняетъ отъ гніенія, то обыкновенно обжигаютъ
тѣ части столбовъ, которыя вкапываются въ землю. Точно также
обугливаются внутреннія части бочекъ, назначенныхъ для сохране-
нія воды въ морскихъ путешествіяхъ.

Уголь обладаетъ значительнымъ сродствомъ къ кислороду и пре-
восходитъ въ этомъ отношеніи, въ особенности при возвышенной
температурѣ, другія тѣла. На этомъ основаніи уголь употребляется
весьма часто для выдѣленія тѣлъ изъ соединений ихъ съ кислоро-
домъ, какъ напр. при добываніи металловъ, при полученіи калия,
фосфора и др. тѣлъ.

Плотный уголь, какъ напр. коксъ принадлежитъ къ числу трудно
сгораемыхъ тѣлъ; горѣніе его можетъ быть поддерживаемо только
при помощи мѣховъ. Алмазъ сгораетъ въ кислородѣ, а въ атмосфер-
номъ воздухѣ только при содѣйствіи значительнаго жара. Въ пер-
вый разъ сожжены были алмазы въ 1694 году во Флоренціи при
посредствѣ сферическихкихъ зеркалъ, о которыхъ мы будемъ говорить
впоследствии. Пористый же уголь, добываемый изъ растительныхъ
веществъ, загорается весьма легко.

Углеродъ составляетъ главнѣйшую часть матеріаловъ, употребляемыхъ для
топки — дерева, торфа, каменнаго угля и др. Чѣмъ болѣе заключается въ нихъ
углерода, тѣмъ и самая теплота, выдѣляемая ими, бываетъ значительнѣе. Де-
рево, въ сухомъ состояніи, заключаетъ въ себѣ меньшую половину углерода;
остальная же половина состоитъ изъ кислорода и водорода, которые соедине-
ны здѣсь въ томъ же отношеніи какъ и въ водѣ. Кромѣ того дерево заклю-
чаетъ небольшую часть минеральныхъ веществъ. Какъ теплота, отдѣляющая-
ся при горѣніи, есть слѣдствіе соединенія частей дерева, не заключающихъ
кислорода съ кислородомъ воздуха, то очевидно, что части дерева соединен-
ныя съ кислородомъ, не могутъ содѣйствовать развитію теплоты и что слѣдо-
вательно при горѣніи тѣло будетъ тѣмъ менѣе способствовать образованію
теплоты, чѣмъ болѣе содержится въ немъ кислорода. Поэтому каменный уголь
даетъ болѣе теплоты противу дерева, которое заключаетъ относительно болѣе
противу перваго кислорода и менѣе углерода. Самое обугливаніе дерева произ-
водится съ цѣлю выдѣленія изъ него кислорода. Извѣстное количество де-
рева должно уже потому давать менѣе теплоты противу того же самаго коли-
чества древеснаго угля, что въ деревѣ заключается только меньшая половина
углерода; а отчасти и отъ того, что большая часть теплоты, образовавшаяся
при горѣніи дерева, употребляется на превращеніе въ паръ воды какъ заклю-
чавшейся въ деревѣ, такъ и образующейся при горѣніи.

Но должно замѣтить, что при обугливаніи дерева происходитъ также извѣстная потеря въ горючемъ матеріалѣ, потому что часть, заключающагося въ деревѣ водорода, удаляется не въ одномъ соединеніи съ кислородомъ въ видѣ водяныхъ паровъ, но частію также и въ соединеніи съ углеродомъ.

Кремній. Кремній, полученный въ первый разъ Берцеліусомъ въ 1824 году, составляетъ одну изъ наиболѣе распространенныхъ составныхъ частей извѣстной намъ коры земнаго шара. Онъ не встрѣчается впрочемъ нигдѣ въ природѣ въ чистомъ состояніи, но всегда въ соединеніи съ кислородомъ извѣстномъ подъ названіемъ кремневой кислоты. Добытый изъ ней чистый кремній образуетъ бурый порошокъ, который при нагреваніи въ воздухѣ загарается и превращается въ кремневую кислоту.

Боръ. Боръ, открытый Деви въ 1807 году, весьма мало распространенъ въ природѣ и встрѣчается преимущественно въ бурѣ. Добытый въ чистомъ видѣ онъ образуетъ зеленоватобурый порошокъ, который, при нагреваніи въ воздухѣ, загарается и даетъ борную кислоту.

Общая
свой-
ства хи-
мическ.
соедин.

§ 229. Доселѣ мы рассматривали только въ отдѣльности металлоиды. Перейдемъ теперь къ различнымъ соединеніямъ ихъ, но прежде изложимъ общія свойства химическихъ соединеній.

Химическія соединенія состоятъ преимущественно изъ двухъ, трехъ или четырехъ и весьма рѣдко изъ большаго числа простыхъ тѣлъ. Большею частію простые тѣла соединяются съ простыми, а сложные со сложными; рѣже встрѣчаются соединенія простыхъ тѣлъ со сложными. Тѣла, состоящія изъ двухъ простыхъ тѣлъ, называютъ *парными соединеніями* или *соединеніями перваго порядка*; отъ химическаго соединенія тѣлъ перваго порядка происходятъ *соединенія втораго порядка* и т. д.

Наибольшее число соединеній относится къ первому и ко второму порядкамъ; соединенія третьаго порядка весьма немногочисленны.

Къ составнымъ тѣламъ перваго порядка принадлежатъ многія тѣла извѣстныя подъ названіемъ *кислотъ* и *основаній*; ко второму порядку относятся *соли*, происходящія отъ соединенія кислотъ съ основаніями.

Кислоты отличаются большею частію кислымъ вкусомъ; растворы ихъ въ водѣ имѣютъ свойство фіолетовыя растительныя цвѣта, какъ напр. лакмусовую тинктуру, фіалковой сиропъ и др. окрашивать краснымъ цвѣтомъ. Нѣкоторыя тѣла не растворяются въ водѣ, не измѣняютъ синяго цвѣта лакмуса въ красный, а между тѣмъ принадлежатъ къ кислотамъ, потому что онѣ соединяются съ основаніями; опытъ же показываетъ, что одно и тоже тѣло не можетъ произойти отъ соединенія двухъ одинаковаго свойства тѣлъ. Если два сложные тѣла перваго порядка соединены между собою и мы захотѣли бы опредѣлить, какое тѣло занимаетъ въ соединеніи мѣсто кислоты, а какое мѣсто основанія, то должно привести это тѣло въ соединеніе съ какою нибудь сильною и уже извѣстною кислотою или съ какимъ нибудь сильнымъ основаніемъ. Когда тѣло приведено въ

соединеніе съ сильною кислотою, то она вытѣснитъ изъ соединенія слабѣйшую кислоту и само займетъ ея мѣсто; слѣдовательно выдѣлившееся тѣло есть кислота.

Основываясь на томъ, что только подобныя тѣла оказываютъ подобныя дѣйствія, мы можемъ вывести слѣдующее правило: въ тѣлѣ, состоящемъ изъ кислоты и основанія, кислота можетъ быть замѣнена только кислотою, а основаніе — основаніемъ.

Здѣсь должно замѣтить, что одно и тоже соединеніе перваго порядка въ одномъ тѣлѣ можетъ играть роль кислоты, а въ другомъ роль основанія. И при этомъ, въ случаѣ нерастворимости соединенія въ водѣ, должно сравнивать его съ кислотами и основаніями, свойства которыхъ хорошо извѣстны. Если соединеніе образуетъ соль съ извѣстнымъ уже основаніемъ, то значитъ, что оно принадлежитъ къ кислотѣ и на оборотъ.

Весьма часто для открытія свойствъ соединеній, прибѣгаютъ къ помощи электричества. Не входя въ подробности этого предмета, который будетъ нами развитъ впоследствии, скажемъ здѣсь только, что съ помощію извѣстнаго прибора, называемаго гальваническою батареею, можно разлагать соединенія на простыя тѣла ихъ составляющія, въ томъ случаѣ, когда батарея сильна; при менѣе сильной батарее соединенія двухъ тѣлъ втораго порядка распадаются на кислоты и основанія, изъ которыхъ первыя отдѣляются на части батареи, называемой *анодомъ*, а вторыя на противоположной части, называемой *катодомъ*. И въ этомъ случаѣ можетъ повториться уже сказанное нами: одно и тоже тѣло изъ одной соли можетъ отдѣлиться на катодѣ, а изъ другой на анодѣ.

Многія кислоты происходятъ отъ соединенія кислорода съ металлоидами, которые принимаютъ въ этомъ случаѣ названіе *радикаловъ*, такъ напр. въ кислотѣ, состоящей изъ сѣры и кислорода и называемой сѣрною кислотою, радикалъ есть сѣра. Другія же кислоты, встрѣчаемыя преимущественно въ органическихъ тѣлахъ, суть соединенія кислорода со *сложнымъ радикаломъ*. Такъ напр. почти все растительныя кислоты — уксусная кислота, лимонная кислота и др., состоятъ изъ кислорода и сложнаго радикала, состоящаго въ свою очередь изъ углерода и водорода. Кислоты, происшедшія отъ соединенія кислорода съ радикаломъ, называются собственно кислородными кислотами.

Многія кислородныя кислоты сохранили въ наукѣ тѣ названія, которыя усвоены имъ въ обыкновенной жизни; такъ напр. азотная кислота называется иногда селитряною, потому что она получается изъ селитры; сѣрную кислоту называютъ купороснымъ масломъ, потому что она даетъ соли, называемыя купоросами, и имѣетъ нѣкоторое сходство съ масломъ.

Въ химіи же принято называть кислородныя кислоты слѣдующимъ образомъ.

Если радикалъ даетъ съ кислородомъ только одну кислоту, то названіе радикала обыкновенно превращается въ прилагательное и ставится передъ него слово кислота, такъ напр., желая означить кислоту, произшедшую отъ соединенія бора съ кислородомъ, говорятъ — борная кислота.

Если же радикалъ даетъ съ кислородомъ двѣ или три кислоты, то кислота, заключающая большее количество кислорода, получаетъ названіе *соединенія*

виду, изложенному нами выше, т. е. радикалъ превращается въ прилагательное и за нимъ ставится слово кислота, такъ напр. при кислотахъ, образуемыхъ азотомъ съ кислородомъ, соединеніе, заключающее высшую степень кислорода, называется азотной кислотой NO_5 , а для соединеній низшихъ степеней NO_3 и NO_2 измѣняютъ окончанія прилагательныхъ, такъ напр. первую изъ послѣднихъ называютъ азотною кислотой (NO_3), а послѣднюю азотистою кислотой (NO_2).

Кислородная кислота можетъ образовать соль съ какимъ нибудь металломъ только въ томъ случаѣ, когда образуетъ соединеніе съ кислородомъ, что достигается различнымъ образомъ: или разлагается часть кислоты и кислородъ ея соединяется съ металломъ, или послѣдній извлекаетъ кислородъ у третьяго тѣла, находящагося въ соединеніи съ кислотою (обыкновенно у воды).

Нѣкоторыя кислоты происходятъ отъ соединенія водорода съ другими простыми и сложными тѣлами. Такія кислоты называются *водородными*. При наименованіи этихъ кислотъ, за названіемъ радикала, слѣдуютъ обыкновенно слова: водородная кислота, напр. хлористо-водородная, называемая обыкновенно соляною, потому что она получается изъ соли.

Водородныя кислоты во многомъ сходны съ кислородными, но при образованіи солей съ окислами металловъ, обладаютъ слѣдующимъ свойствомъ. Если привести въ соединеніе водородную кислоту съ окисломъ металла, то радикалъ кислоты соединяется съ металломъ, а водородъ кислоты съ кислородомъ металла даетъ воду. Соединеніе радикала кислоты съ металломъ есть соль, изъ которой нагрѣваніемъ можетъ быть удалена вода.

Сѣбра относится къ другимъ тѣламъ точно также, какъ кислородъ и водородъ, и потому даетъ кислоты подобно имъ

(Основанія представляютъ уже менѣе сходственныхъ признаковъ. Они отличаются отъ кислотъ, съ которыми легко соединяются для образованія солей, меньшимъ содержаніемъ кислорода и особеннымъ дѣйствіемъ своимъ на растительныя цвѣта. На бумажку, окрашенную лакмусомъ, основанія не дѣйствуютъ; но если лакмусовая бумажка отъ кислоты уже измѣнила свой цвѣтъ въ красный, то при дѣйствіи основанія, снова принимаетъ фіолетовый цвѣтъ. Желтыя бумажки, окрашенныя корнемъ куркумы, отъ основанія измѣняютъ свой цвѣтъ въ коричневый.

Основанія возстановляютъ цвѣта, измѣненные дѣйствіемъ кислотъ. Основанія, нерастворимыя въ водѣ и поэтому не дѣйствующія на лакмусовую бумажку, можно отличить отъ кислотъ точно также, какъ это дѣлается съ подобными кислотами и о чемъ мы уже говорили прежде, т. е. надобно прибавить къ соединенію такого основанія, съ другимъ окисломъ, какого нибудь сильнаго основанія, какъ-то кали и натръ; выдѣлившееся тѣло будетъ основаніе.

Большая часть основаній принадлежитъ соединенію металловъ съ кислородомъ.

Если тѣло, соединяющееся съ кислородомъ, даетъ только одно основаніе, то послѣднее называютъ *окисью*; если же два, то одно называется окисью, а другое, содержащее менѣе кислорода, называется *закисью*, такъ наприм. существуютъ закись желѣза (FeO) и окись желѣза (Fe_2O_3). Есть такіе окислы, которые соединяясь съ кислотою

для образованія соли, отдѣляютъ при этомъ часть своего кислорода; есть напротивъ и такіе, которые при соединеніи съ кислотою принимаютъ въ себя кислородъ. Первые окислы называются *перекислями*, напр. перекись марганца (MnO_2), а вторые — *недокислями*.

Тѣло, образовавшее основаніе, отъ соединенія своего съ кислородомъ, называется *радикаломъ основанія*.

Основанія получаютъ также отъ соединенія съры съ металлическими радикалами.

Водородъ въ соединеніи съ азотомъ даетъ сильное основаніе, известное подъ названіемъ *амміака* (NH_3).

Соли, какъ мы уже сказали, суть соединенія кислотъ съ основаніями. Какъ, за небольшимъ исключеніемъ, каждая кислота съ основаніемъ и, на оборотъ, каждое основаніе съ кислотою, можетъ образовывать соль, то число солей значительно.

Соли суть тѣла твердыя, имѣющія свой особенный вкусъ; нѣкоторые изъ нихъ растворимы въ водѣ, но растворимость соли не зависитъ ни отъ свойствъ кислоты, ни отъ свойствъ основанія.

Нѣкоторыя соли, по частому своему употребленію, сохранили народныя названія и въ наукѣ; такъ напр. сѣрнокислыя соли желѣза и мѣди называются желѣзнымъ и мѣднымъ купоросами и т. д.

Одна и таже кислота можетъ образовывать съ однимъ и тѣмъ же основаніемъ нѣсколько солей, различающихся между собою только количествомъ кислоты или основанія. Такія соли дѣлятъ на *среднія*, *кислыя* и *основныя*.

Если въ соли находится значительно большее количество кислоты противу основанія, то ясно, что послѣднее не въ состояніи уничтожить дѣйствія сильной кислоты; точно также, какъ дѣйствіе сильного основанія не можетъ быть уничтожено слабою кислотою. Поэтому дѣйствіе соли на окрашенные реактивы (лакмусъ, куркумъ), зависитъ отъ относительной силы кислоты и основанія, составляющихъ ее. Но есть и такія соли, въ которыхъ дѣйствія кислоты и основанія взаимно уравниваются; такія соли, относительно окрашенныхъ реактивовъ, называются *средними*. Соль, содержащую на одно и то же количество основанія больше кислоты противу средней, принято называть *кислою*; ту же соль, въ которой на одно и то же количество кислоты заключается больше основанія противу средней, принимаютъ за *основную*.

Кромѣ того дѣлятъ соли на *амфидыя* и *галондыя*. Первые соли состоятъ изъ соединеній кислоты съ основаніемъ; а ко второму разряду относятся соединенія хлора, брома, іода и фтора съ металлами; слѣдовательно соли эти относятся къ соединеніямъ перваго рода. Четыре тѣла, дающія галондыя соли, называются *галондами*, т. е. тѣлами, образующими соли (*галъ* значитъ соль). Обыкновенная поваренная соль есть соль галондная и происходитъ отъ соединенія хлора съ натріемъ. Къ галонднымъ же солямъ относятся хлористый кальцій, іодистый калий, іодистый натрій и др.

Соединеніе двухъ амонныхъ или кислородныхъ солей называется двойною солью: такъ наприм. квасцы есть двойная соль.

Обозрѣ-
ніе важ-
нѣйш.
химич.
соеди-
неній.

§ 230. Перейдемъ теперь къ частному разсмотрѣнію главнѣйшихъ соединеній и начнемъ съ воды, какъ соединенія, которое въ иныхъ тѣлахъ играетъ роль кислоты, а въ другихъ роль основанія.

Водородъ соединяется въ двухъ пропорціяхъ съ кислородомъ: низшая степень его соединенія есть вода, а высшая *перекись водорода*. Что вода состоитъ изъ водорода и кислорода, въ этомъ легче всего можно убѣдиться, пропуская струю водороднаго газа въ трубку съ накаленною окисью мѣди. Водородъ соединяется здѣсь съ кислородомъ окиси мѣди и превращается въ воду, а въ остаткѣ получается металлическая мѣдь. Образовавшуюся такимъ образомъ воду можно собрать и взвѣсить. Разность, между вѣсомъ взятой для опыта окиси мѣди и вѣсомъ оставшагося металла, покажетъ намъ вѣсъ кислорода, вошедшаго въ составъ воды. Вычитая изъ вѣса полученной воды вѣсъ заключающагося въ ней кислорода, получимъ вѣсъ вошедшаго въ составъ воды водорода. Такимъ образомъ найдено, что во 100 частяхъ воды содержится: по вѣсу — 88,89 ч. кислорода и 11,11 ч. водорода; по объему — 1 ч. кислорода и 2 ч. водорода.

Чистая вода есть тѣло прозрачное, безъ вкуса и запаха; если каплю чистой воды нагрѣвать на платиновой пластинкѣ, то она, испарившись, не оставитъ послѣ себя никакого слѣда; она легко растворяетъ многія вещества и поглощаетъ многіе газы. Дождевая вода содержитъ нѣсколько углекислоты, и послѣ паденія на землю, еще болѣе поглощаетъ углекислоты изъ растительныхъ остатковъ, образующейся при гніеніи растений. Такимъ образомъ вода, поглотивъ углекислоту, проходитъ съ поверхности земной внутрь земли и потомъ выходитъ снова на поверхность земную въ видѣ ключей; вотъ почему ключевая вода всегда содержитъ въ себѣ значительное количество углекислоты.

Вотрѣвая на пути своемъ известъ, углекислая вода растворяетъ ее; кромѣ того она отчасти растворяетъ гипсъ и нѣкоторые другія вещества и потомъ уже снова выходитъ на земную поверхность. Ключевая вода, содержащая въ значительномъ количествѣ известъ и гипсъ, называется *жесткою водою*; свободная же отъ этихъ тѣлъ, или заключающая ихъ въ себѣ въ весьма маломъ количествѣ — *мягкою водою*.

Жесткая вода составляетъ пріятное питье своимъ охлаждающимъ вкусомъ, но для стирки бѣлья не годится, потому что известъ, соединяясь съ жирными частицами мыла, даетъ нерастворимое мыло, которое плаваешь въ водѣ въ видѣ комочковъ. Точно также она неудобна для варки кушанья и чая, потому что при кипяченіи углекислая известъ изъ воды выдѣляется и слѣдовательно известъ уже не будетъ въ растворѣ, а начнетъ осѣдять на стѣнки сосудовъ. Это обстоятельство должны имѣть въ видѣ вѣзъ заставляющіе паровыми машинами. Если для дѣйствія паровой машины употребляется же-

откая вода, те на стѣнкахъ пароваго котла образуется известковый слой, который, при достаточной толщинѣ, совершенно отдѣлитъ воду отъ стѣнокъ котла и поэтому нужно будетъ сильнѣе нагрѣвать котелъ для полученія паровъ такой же упругости, которой они прежде достигали при слабѣйшемъ нагрѣваніи. Если теперь отъ возвышенія температуры, котелъ сильно увеличится въ своемъ объемѣ, тогда слой извести внутри котла разорвется, вода придетъ въ непосредственное соприкосновеніе съ котломъ, начнетъ испаряться болѣе надлежащаго и котелъ можетъ лопнуть. Прибавляя въ воду крахмала, солода, сиропа, вообще вещества, приводящаго воду въ слизистое состояніе, мы тѣмъ самымъ будемъ препятствовать образованію осадка.

Дождевая и снѣговая вода принадлежать къ числу мягкихъ водъ; ключевая вода, находясь нѣсколько времени въ прикосновеніи съ атмосфернымъ воздухомъ, теряетъ часть углекислоты, известъ садится на дно ключа и вода мало по малу превращается въ мягкую.

Самая чистая вода есть дождевая, падающая въ мартѣ или апрѣлѣ, когда воздухъ не слишкомъ наполненъ испареніями, но и она, какъ мы видѣли, содержитъ въ себѣ углекислоту. Для освобожденія воды отъ примѣсей подвергаютъ ее перегонкѣ или дистиллированію. Если вода очень богата содержаніемъ какихъ нибудь солей, то ее называютъ *минеральною водою*.

Со многими тѣлами вода соединяется въ опредѣленной пропорціи и образуетъ съ ними настоящія химическія соединенія такъ называемые *идраты*, по свойствамъ своимъ совершенно отличныя отъ воды и отъ дажнаго тѣла. Такъ напр. безводная окись мѣди чернаго цвѣта; напротивъ *водная окись мѣди* имѣетъ красивый синій.

Органическія вещества разлагаются въ водѣ большею частію и сообщаютъ послѣдней непріятный вкусъ и запахъ. Это даже замѣтно тогда, если вода сохраняется въ только что сдѣланной деревянной посудѣ; если она стоитъ въ довольно тепломъ мѣстѣ, то нѣкоторыя части дерева, разлагаясь, сообщаютъ водѣ непріятный вкусъ. Поэтому часто деревянныя кружки смолятъ, бочки внутри обжигаютъ; второе особенно тѣмъ полезно, что уголь не только не разлагается, но еще вбираетъ въ себя различныя органическіе остатки. Въ желѣзныхъ сосудахъ вода сохраняется также хорошо, какъ и въ обугленныхъ. Если разложеніе органическаго вещества въ водѣ совершенно окончилось и осадокъ сѣлъ на дно, тогда вода становится годною для употребленія. Для очищенія воды отъ постороннихъ частицъ и отъ органическихъ остатковъ, пропускаютъ ее чрезъ мелкій песокъ и уголь; тогда первыя частицы остаются между песчинками, а вторыя всасываются углемъ.

Разсмотримъ теперь важнѣйшія *кислородныя кислоты*, происходящія ^{Азотная кислота.} отъ соединенія кислорода съ *азотомъ, серою, углеродомъ, фосфоромъ и кремніемъ*. Между кислотами, происходящими отъ соединенія кислорода съ азотомъ, наиболѣе замѣчательна *азотная кислота* ($\text{NO}_5.\text{HO}$). Кислота эта получается отъ обливанія селитры (азотнокалиевого кали) серною

кислотою, которая соединяясь съ кали, выделяетъ азотную кислоту. Кислота эта на вкусъ весьма кисла и обладаетъ непріятнымъ запахомъ; она сгущаетъ водяные пары воздуха, находящагося въ прикосновеніи съ нею и поглощаетъ ихъ въ себя, отдѣляя при этомъ извѣстное количество теплоты: вотъ почему кислота эта, выставленная на воздухъ, всегда кажется покрытою туманомъ. Она отличается отъ другихъ кислотъ своею способностію сообщать животной кожѣ, шелку, шерсти, перьямъ, рогу, дереву и раствору индиго прочную желтую краску. На этомъ основаніи употребляютъ азотную кислоту для окрашенія дерева, стволовъ гусиныхъ перьевъ и т. п. Какъ кислота эта не измѣняетъ краски берлинской лазури, то въ употребленіи какъ средство, для отличія этой краски отъ индиго. Если азотная кислота заключаетъ болѣе одного пая воды, то получаетъ названіе *кряпкой водки*, которую употребляютъ для отдѣленія нѣзъ сплавовъ металловъ золота и платины, остающихся безъ измѣненія въ кислотѣ, тогда какъ прочіе металлы растворяются ею. Это раствореніе происходитъ слѣдующимъ образомъ: часть кислоты разлагается на отдѣляющійся тотчасъ газъ, азотную окись NO_2 , и на кислородъ, который соединяется съ металломъ и превращаетъ его въ окисель. Окисель этотъ соединяется съ неразложеною кислотою и образуетъ соль. Эфирныя масла, какъ напр. гвоздичное и др. поглощаютъ кислородъ у сгущенной кислоты съ такою быстротою, что воспламеняются и сгораютъ быстро, при чемъ остается смолистый уголь.

Если хлопчатую бумагу погрузить въ смѣсь равныхъ частей по вѣсу сгущенной азотной и сѣрной кислоты, и потомъ перемывать нѣсколько разъ въ чистой водѣ до тѣхъ поръ, пока бумага не сдѣлается бѣлою и свободною отъ кислоты, и потомъ высушить совершенно, то по воспламененіи своемъ бумага дѣйствуетъ около пяти разъ сильнѣе противу пороха, но уступаетъ послѣднему въ томъ отношеніи, что легче воспламеняется отъ нагрѣванія или удара и болѣе противу пороха дѣйствуетъ на каналъ орудій. Если растворить приготовленную такимъ образомъ бумагу въ обыкновенномъ продажномъ сѣрномъ эфирѣ, разведенномъ немного спиртомъ, то получаютъ густую жидкость, извѣстную подъ названіемъ *коллодіума*.

Если покрыть коллодіумомъ какую нибудь поверхность, то по испареніи эфирна на послѣдней остается прозрачная плева. Это свойство коллодіума доставило ему примѣненіе въ медицинѣ для стягиванія ранъ.

Мы уже сказали выше, что металлы окисляются на счетъ кислорода извѣстной части азотной кислоты, при чемъ отдѣляется газообразная *азотная окись* (NO_2). Газъ этотъ безцвѣтенъ, но въ прикосновеніи съ атмосфернымъ воздухомъ образуетъ золотисто-красныя пары; при этомъ онъ поглощаетъ въ себя кислородъ и переходитъ въ *азотистую кислоту* (NO_3). Азотная кислота, въ смѣшеніи съ азотистой, принимаетъ желтый цвѣтъ и называется *дымящейся азотной кислотою*, потому что находящаяся съ нею азотистая кислота весьма летуча и даетъ на воздухъ красныя пары.

Перейдемъ теперь къ соединеніямъ кислорода съ сѣрою.

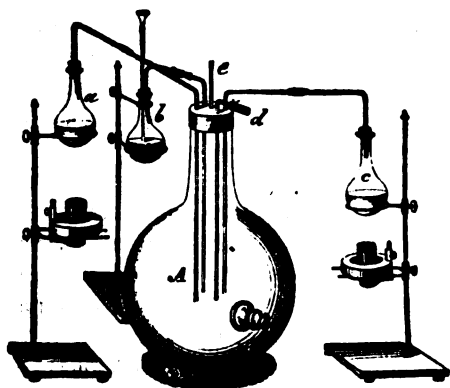
Сѣра даетъ много соединеній съ кислородомъ, изъ которыхъ мы <sup>Сѣрни-
стая</sup> ограничимся только разсмотрѣніемъ *сѣрнистой кислоты* (SO_2) и *сѣрной кислоты* (SO_3).

Сѣрнистая кислота есть газъ, происходящій отъ соединенія сѣры съ чистымъ кислородомъ, находящимся въ какомъ нибудь приемникѣ надъ ртутью, а не надъ водою, которая легко растворяетъ ее. Газъ этотъ занимаетъ тотъ же самый объемъ какъ и кислородъ, служившій для его образованія. Онъ безцвѣтенъ, неспособенъ поддерживать ни дыханія, ни горѣнія и самъ не горитъ. Охлажденный ниже 16°P . онъ сгущается въ ясную, легко подвижную и на видъ подобную водѣ жидкость; жидкость эта вскипаетъ уже при $+16^\circ \text{P}$. и по причинѣ быстрого ея испаренія охлаждаетъ значительно тѣла, смоченныя ею. Газъ этотъ можетъ быть приведенъ въ жидкое состояніе даже и при обыкновенной теплотѣ воздуха, съ помощію давленія. Онъ поглощается въ значительномъ количествѣ водою, которая принимаетъ въ такомъ случаѣ запахъ и вкусъ кислоты, но не измѣняетъ своего цвѣта.

Сѣрнистая кислота разрушаетъ растительныя и животныя краски, а потому и употребляютъ ее частію въ видѣ газа, а частію въ соединеніи съ водою, для бѣленія органическихъ тѣлъ, какъ наприм. соломы, шелку, шерсти, рога и слоновой кости. Но это обезцвѣчиваніе мало по малу пропадаетъ и первоначальные цвѣта появляются снова, такъ что обезцвѣченные вещества должны опять быть подвергаемы дѣйствию сѣрнистой кислоты. Въ иныхъ случаяхъ сѣрнистая кислота, при обезцвѣчиваніи, соединяется съ тѣлами. Лепестки розы, обезцвѣченные сѣрнистой кислотою, принимаютъ прежній цвѣтъ при погруженіи ихъ въ сѣрную кислоту.

Сѣрная кислота (SO_3) бываетъ двухъ родовъ: такъ называемая <sup>Сѣрная
кислота.</sup> *англійская* ($\text{SO}_3 + \text{HO}$) и *дымлящаяся* или *нордгаузенская*.

Для полученія англійской кислоты употребляютъ въ лабораторіяхъ приборъ, представленный на фигурѣ 778-й.



приборъ, представленный на фигурѣ 778-й. Въ большой, наполненный воздухомъ, шаръ А, проводятъ 1) сѣрнистую кислоту (SO_2), получаемую въ колбѣ а отъ обливанія мѣди крѣпкою сѣрною кислотою; 2) азотную окись (NO_2), отдѣляющуюся изъ колбы b отъ обливанія мѣдныхъ опилокъ слабою азотною кислотою ($\text{NO}_3 + \text{HO}$); 3) водяные пары изъ колбы с.

Азотная окись, по прикосновенію съ воздухомъ, привлекаетъ изъ него кислородъ и превращается вслѣдствіе того въ азотноватую кислоту (NO_3), которая при содѣйствіи водяныхъ паровъ разлагается

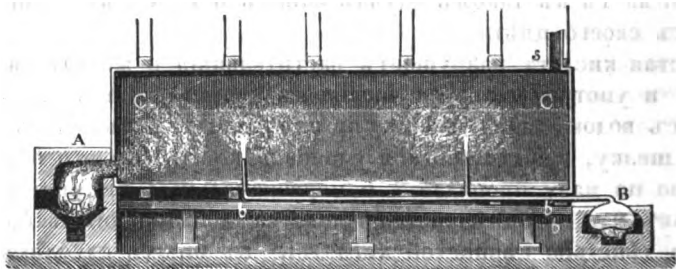
на водную азотную кислоту и на азотную окись. При этомъ сѣрнистая кислота поглощаетъ изъ образовавшейся азотной кислоты количество кислорода, необходимое для превращенія своего въ сѣрную кислоту. После отдѣленія кислорода азотная кислота превращается въ азотоватую, которая въ прикосновеніи съ водою повторяетъ описанный нами выше процессъ, т. е. опять содѣйствуетъ новому количеству сѣрнистой кислоты превратиться въ сѣрную, и т. д.

Какъ въ шарѣ А уменьшается количество кислорода, то по временамъ проводятъ этотъ газъ внутрь шара чрезъ трубку d.

Понятно, что въ этомъ опытѣ азотная окись можетъ быть съ выгодною замѣщена соединеніемъ азота, заключающимъ высшую степень кислорода, какъ напр. азотною кислотою.

При добываніи сѣрной кислоты въ значительномъ количествѣ на фабрикахъ, шаръ А замѣняется одною или нѣсколькими деревянными камерами, выложенными внутри свинцовыми листами (фиг. 779).

Фиг. 779.



Въ этомъ случаѣ сѣра, сжигаемая въ большой печи, поглощаетъ изъ воздуха количество кислорода, необходимое для превращенія ея въ сѣрнистую кислоту, которая проводится въ камеры и подвергается тамъ описанному нами выше процессу. Какъ въ камерахъ для содѣйствія процессу находится вода, то сѣрная кислота получается въ соединеніи съ водою и потому ее сгущаютъ въ стеклянныхъ или платиновыхъ сосудахъ. При этомъ остается въ сѣрной кислотѣ одинъ пай воды и потому эта кислота, (одинъ пай которой разведенъ 1 паемъ воды) называется *водною сѣрною кислотою* ($SO_3 + HO$).

По удаленіи воды отъ сѣрной кислоты, она превращается въ безцвѣтную асбестовидную массу, называемую *безводною сѣрною кислотою*.

Если смѣшать такую безводную кислоту съ англійскою или водною, то получается буроватаго цвѣта жидкость, извѣстная подъ названіемъ *дымлящей сѣрной кислоты* или *купороснаго масла*. Безводная сѣрная кислота, заключающаяся въ купоросномъ маслѣ испаряется весьма легко и, соединяясь съ водяными парами воздуха, превращается въ англійскую, которая обнаруживается въ видѣ бѣловатаго дыма.

Замѣчательно свойство сѣрной кислоты поглощать въ себя воду. Она извлекаетъ изъ растительныхъ и животныхъ веществъ кисло-

родъ и вородородъ и соединяется съ послѣдними. Поэтому если обжечь сѣрною кислотою напр. дерево, то оно разрушается и принимаетъ буроватый видъ, потому что въ деревѣ остается только углеродъ. Дерево обугливается сѣрною кислотою точно также, какъ и послѣ обжиганія. Одинаковымъ образомъ дѣйствуетъ она и на животныя тѣла.

Сѣрная кислота растворяетъ многіе металлы и имѣетъ большое сродство ко всѣмъ металлическимъ окисламъ. Если привести сѣрную кислоту въ прикосновеніе съ металлическими окислами, соединенными съ другими кислотами, какъ напр. углекислотою и нѣкоторыми другими, то послѣднія изгоняются изъ соединенія сѣрною кислотою. На этомъ основано многоразличное примѣненіе сѣрной кислоты, которая употребляется для выдѣленія и полученія другихъ кислотъ изъ ихъ соединений.

Сѣрная кислота дѣйствуетъ на желудокъ какъ сильный ядъ, и потому если бы кто нибудь по неосторожности проглотилъ сѣрной кислоты, то должно тотчасъ принять магnezіи смѣшанной съ водою. Магnezія соединяется съ сѣрною кислотою. Сѣрная кислота весьма часто подмѣшивается въ уксусъ для приданія послѣднему кислаго вкуса; для открытія этой подмѣси достаточно покрыть нижнюю часть фарфороваго блюдечка растворомъ сахара и держать блюдечко надъ парами кипящей воды; послѣ того наливается на растворъ небольшое количество испытуемаго уксуса; если растворъ почернѣетъ, то значить въ уксусѣ есть примѣсь сѣрной кислоты, потому что эта кислота обладаетъ свойствомъ обугливать сахаръ.

Углеродъ соединяется съ кислородомъ въ различныхъ отношеніяхъ; главнѣйшее изъ этихъ соединений есть углекислота (CO_2), которая обыкновенно извѣстна въ газообразномъ состояніи. Углекислота.

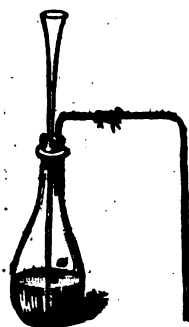
Углекислота значительно распространена въ природѣ и находится въ атмосферномъ воздухѣ, хотя въ незначительномъ количествѣ. Въ нѣкоторыхъ странахъ, какъ напр. въ Пирмонтѣ, въ извѣстной собачьей пещерѣ близъ Неаполя и другихъ мѣстахъ, въ особенности близъ вулкановъ, она выходитъ постоянно изъ земли. Углекислота попадаетъ также въ водѣ источниковъ; нѣкоторые изъ нихъ, заключая ее въ значительномъ количествѣ, какъ напр. зельцерская вода, называются *кислыми источниками*. Углекислота попадаетъ въ природѣ весьма часто въ соединеніи съ основаніями. Известковый шпатъ, мраморъ, мѣлъ и обыкновенный известнякъ, заключаютъ въ себѣ углекислоту. Углекислые кали и натръ составляютъ главную основную часть поташа и соды. Многія изъ этихъ соединений отдѣляютъ углекислоту посредствомъ нагреванія, какъ это бываетъ при обжиганіи известковыхъ плитъ.

Обожженная известь есть ни что иное какъ известнякъ, освобожденный отъ углекислоты; въ известъ заключаются впрочемъ многія постороннія примѣси, какъ напр. кремневая кислота, глиноземъ. Должно замѣтить, что известь, долго лежащая на воздухѣ, снова поглощаетъ изъ него углекислоту.

Углекислота образуется при горѣніи тѣлъ, заключающихъ углеродъ, какъ наприм. алмаза, графита, каменнаго угля, дерева и др., при дыханіи животныхъ, при гніеніи органическихъ тѣлъ, при броженіи вина, пива и т. п.

Какъ углекислота есть собственно слабая кислота, то весьма легко изгоняется изъ своихъ соединений съ основаниями посредствомъ другихъ кислотъ; такъ напр. она получается легко отъ обливанія порошка мѣла въ стеклянномъ сосудѣ а (фиг. 780)

Фиг. 780.



разведенной азотной кислотой. Углекислота отдѣляется чрезъ газопроводную трубку въ какойнибудь пріемникъ, а въ растворъ получается азотно-кислая мѣсель.

Въ аэростатикѣ мы говорили о приборахъ, употребляемыхъ для насыщенія водъ различными газами: такъ называемая зельцерская вода, заключающая углекислоту, получается изъ порошка, состоящаго изъ двойнаго углекислаго натра ($1\frac{1}{2}$ унцій) и винной кислоты ($3\frac{1}{2}$ драхмы).

Углекислота есть безцвѣтный газъ, окрашивающій смоченную лакмусовую бумажку, въ $1\frac{1}{2}$ раза тяжелѣе противу атмосфернаго воздуха, не поддерживаетъ горѣнія тѣлъ и сама не горитъ. Какъ эта кислота тяжелѣе атмосфернаго воздуха, то ее можно переливать изъ одного сосуда въ другой; точно также можно потушить свѣчу, если вылить на нее изъ стакана извѣстное количество углекислоты. Углекислота вредна для дыханія, производитъ головокруженіе и обморокъ; отъ вдыханія чистой углекислоты животныя и люди умираютъ; опасности этой подвергаются люди въ погребахъ, гдѣ происходитъ броженіе пива, вина или водки. Даже если въ воздухѣ заключается отъ 1 до 2 процентовъ углекислоты, то люди ощущаютъ удущье.

Углекислота при давленіи 40 атмосферъ превращается въ жидкость и при посредствѣ весьма сильнаго искусственнаго холода получается даже въ видѣ снѣгообразной твердой массы.

Одинъ объемъ воды поглощаетъ одинъ объемъ углекислоты.

При процессахъ дыханія и горѣнія кислородъ постоянно извлекается изъ атмосфернаго воздуха и какъ показываютъ опыты, послѣдній принимаетъ въ себя объемъ углекислоты на каждый объемъ выдѣлившагося кислорода. Но этотъ обмѣнъ газовъ, повидимому угрожающій атмосферѣ совершеннымъ израсходованиемъ заключающагося въ ней кислорода, вознаграждается слѣдующими явленіями. Вредный для дыханія людей углекислый газъ поглощается водою въ значительномъ количествѣ; извлекается дождемъ изъ различныхъ частей атмосферы и вмѣстѣ съ послѣднимъ падаетъ на землю, гдѣ служитъ для питанія растений. Растенія втягиваютъ въ себя углекислоту и при содѣйствіи свѣта разлагаютъ ее: углеродъ входитъ въ составъ ихъ, а кислородъ болѣею частію выдѣляется въ воздухъ.

Кромѣ того кислородъ образуетъ кислоты съ фосфоромъ: фосфорную и фосфористую кислоту. Для полученія первой сжигаютъ фосфоръ на воздухѣ, или въ кислородѣ, причемъ онъ отдѣляетъ бѣлые густые пары, которые сгущаясь, принимаютъ видъ бѣлаго порошка, представляющаго собственно фосфорную кислоту. При слабомъ доступѣ кислорода во время сжиганія фосфора получается фосфористая кислота.

Фосфорная и фосфористая кислоты

Кислородъ, въ соединеніи въ кремнѣ, даетъ *кремневую кислоту* ^{или} (SiO_2) , которая въ чистомъ видѣ встрѣчается въ природѣ въ гор-^{ная} ныхъ хрусталяхъ и въ обыкновенномъ кварцѣ; въ примѣси съ различными веществами — въ аметистѣ, халцедонѣ, кремнѣ и другихъ минералахъ. Кроме того она встрѣчается въ соединеніи со многими окислами металловъ, извѣстныхъ подъ названіемъ щелочей. Почти всѣ растенія принимаютъ въ себя кремневую кислоту изъ почвы; въ особенности богатъ кремневою кислотой стебель травъ и зерновыхъ растений. Въ животныхъ встрѣчаются слѣды кремневой кислоты, но въ особенности богаты ею инфузоріи. Кремневая кислота въ чистомъ видѣ, какъ напр. въ горномъ хрусталѣ, прозрачна, тверда, плавится только при сильномъ содѣйствіи кислорода и при большомъ жарѣ; въ водѣ и во всѣхъ кислотахъ, за исключеніемъ хлористо-водородной кислоты, нерастворима. Если же кремневая кислота отдѣлена изъ ея соединеній мокрымъ путемъ, то тотчасъ по полученіи она представляетъ просвѣчивающую студенистую массу, растворимую въ водѣ преимущественно въ той, которая содержитъ углекислоту. Этимъ объясняется появленіе ея въ водѣ источниковъ, колодезѣй и въ растеніяхъ. Въ особенности она встрѣчается въ значительномъ количествѣ въ горячихъ источникахъ Исландіи.

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію главнѣйшихъ *водородныхъ* ^{или} *хлористыхъ* ^{или} *соляныхъ* кислотъ. Водородъ обладаетъ сильнымъ сродствомъ къ хлору. Если смѣшать въ темнотѣ одинъ объемъ хлора съ однимъ объемомъ водорода и потомъ подвергнуть смѣсь дѣйствію свѣта, то оба газа соединяются между собою, съ сильнымъ взрывомъ. Продуктъ этого соединенія есть *хлористо-водородная* или *соляная кислота* (HCl) . Одинъ объемъ хлора и одинъ объемъ водорода даютъ два объема газообразной соляной кислоты.

Обыкновенно же соляная кислота получается отъ обдѣлыванія поваренной соли (хлористаго натрія) сгущенной сѣрной кислотой. Вода, соединенная съ сѣрной кислотой, дѣлается при этомъ свободною; кислородъ ея соединяется въ металломъ натріемъ и превращаетъ послѣдній въ окиселъ, извѣстный подъ названіемъ натра, который даетъ въ сѣрной кислотѣ сѣрнокислый натръ (глауберову соль). Въ тоже самое время, выдѣлившійся изъ воды водородъ соединяется съ хлоромъ и даетъ хлористо-водородную кислоту. Кислота эта есть безцвѣтный газъ, поглощаемый сильно водою. Одинъ объемъ воды можетъ принять въ себя до 464 объемовъ газообразной соляной кислоты. Поглощенная водою кислота эта обыкновенно употребляется въ продажѣ и въ этомъ видѣ называется соляной кислотой. Газообразная соляная кислота имѣетъ острый сильный запахъ, вредна для дыханія, сама не горитъ и не поддерживаетъ горѣнія. При весьма значительномъ давленіи превращается въ жидкость.

Въ такъ называемой жидкой соляной кислотѣ растворяются многіе металлы, какъ напр. цинкъ, олово, желѣзо. При этомъ металлы соединяются съ хлоромъ, а водородъ дѣлается свободнымъ.

Жидкая соляная кислота дѣйствуетъ разрушительно на животныя и растительныя вещества, въ особенности на послѣднія.

Царская
водка.

Если смѣшать одну часть по вѣсу азотной кислоты съ 2 частями соляной кислоты, то получается, такъ называемая, *царская водка*: названіе это произошло вслѣдствіе способности ея растворять золото, которое алхимики считали царемъ металловъ. Подобно золоту царская водка растворяетъ и платину.

При смѣшеніи обѣихъ кислотъ происходитъ слѣдующее разложене: хлоръ отдѣляется, а водородъ (отъ одной части соляной кислоты) и кислородъ (отъ одной части азотной кислоты) соединяются между собою и даютъ воду. Это разложене обѣихъ кислотъ продолжается до тѣхъ поръ, пока заключающаяся въ нихъ вода не будетъ насыщена хлоромъ. Если погрузить золото въ царскую водку, то оно соединяется съ хлоромъ въ моментъ его отдѣленія и образуетъ хлористое золото, растворяющееся въ жидкости; вслѣдствіе чего продолжается дальнѣйшее разложене обѣихъ кислотъ, отдѣленіе хлора и образованіе хлористаго золота.

Сѣрни-
сто-во-
дородн.
кислота.

Сѣрнисто-водородная кислота HS получается въ стеклянной ретортѣ (Фиг. 781), отъ обливанія сѣрнистаго желѣза (FeS) англійскою сѣрною кислотою (SO_3):



при чемъ образуется желѣзный купоросъ ($\text{FeO} + \text{SO}_3$), остающійся въ ретортѣ и отдѣляющійся безвѣтный газъ — сѣрнистоводородная кислота. Газъ этотъ обладаетъ весьма непріят-

нымъ запахомъ гнилыхъ яицъ; въ соединеніи съ атмосфернымъ воздухомъ сгараетъ, если воспламенить его. Въ чистомъ видѣ для дыханія ядовитъ, хотя незначительная примѣсь его въ воздухъ и можетъ быть безвредно вдыхаема. Онъ поглощается водою въ значительномъ количествѣ и удерживается въ ней своимъ характеристическімъ омыствомъ. Въ природѣ встрѣчаются минеральныя воды, содержащія въ растворѣ эту кислоту, присутствіе которой узнается легко по запаху этихъ водъ. Серебро, свинецъ, мѣдь и латунь, въ прикосновеніи съ этою кислотою, покрываются темнымъ слоемъ, происходящимъ отъ соединенія металла съ сѣрою. Кислота эта образуется при гніеніи органическихъ тѣлъ, заключающихъ сѣру, такъ напр. при гніеніи яицъ.

Многіе металлы осаждаются изъ растворовъ посредствомъ сѣрнистаго водорода, при чемъ образуются нерастворимые въ водѣ сѣрные металлы; кислородъ же металлическихъ окисловъ соединяется съ водородомъ сѣрнисто-водородной кислоты и образуетъ воду. На этомъ основаніи весьма часто употребляютъ сѣрнистый водородъ, какъ средство для узнаванія присутствія металловъ въ растворахъ.

Если къ водѣ, заключающей въ растворѣ незначительное количество свинцоваго сахара, прилить воду, поглотившую сѣрнисто-водородную кислоту, то тотчасъ образуется темный осадокъ сѣрнистаго свинца. Если писать на бумагѣ растворомъ свинцоваго сахара въ водѣ, то буквы, по высушеніи, дѣлаются

незамѣтными. Но если держать написанную такимъ образомъ бумагу надъ поверхностію воды, поглотившей сѣрнистый водородъ, то буквы принимаютъ темнотурный цвѣтъ. Такой растворъ называется симпатическими чернилами.

Фторъ образуетъ съ водородомъ *фтористоводородную* или *плавиковую кислоту* (HF). Она получается отъ разложенія плавиково-^{Фтористого-водорода.} шпата крѣпкою сѣрною кислотою. Какъ плавиковая кислота разъѣдаетъ стекло, фосфоръ и большую часть металловъ, то ее добываютъ въ платиновыхъ или свинцовыхъ приборахъ. Кислота эта принадлежитъ къ числу сильнѣйшихъ ядовъ: капля кислоты даетъ на тѣлѣ сильное воспаленіе, сопровождающееся лихорадочными припадками. Значительный ожогъ можетъ даже причинить смерть. Кислота эта въ безводномъ состояніи имѣетъ видъ безцвѣтной жидкости; не замерзаетъ ни при какомъ холодѣ и на воздухѣ отдѣляетъ густые бѣлые пары, происходящіе отъ соединенія паровъ ея съ парами воды; имѣетъ сильное сродство къ водѣ и смѣшивается съ послѣднею во всѣхъ пропорціяхъ; разведенная въ достаточномъ количествѣ, она не дымится на воздухѣ.

Плавиковая кислота разъѣдаетъ стекло и потому употребляютъ ее для травленія различныхъ рисунковъ на стеклѣ. Для этого покрываютъ стекло воскомъ и на послѣднемъ чертятъ рисунокъ такъ, чтобы въ мѣстахъ, соотвѣствующихъ рисунку, стекло было обнажено. Рисунокъ покрываютъ на нѣсколько минутъ слабымъ растворомъ плавиковой кислоты или держатъ его надъ парами, отдѣляющимися изъ нагрѣтаго сосуда, въ которомъ находится смѣсь мелкостолченного плавиково-го шпата и крѣпкой сѣрной кислоты. При употребленіи жидкой кислоты штрихи получаются прозрачные, а при газообразной — матовые; дѣленія на трубкахъ термометровъ вытравливаются преимущественно газообразною кислотою.

Рассмотримъ здѣсь главнѣйшія соединенія углерода съ водородомъ.

Углеродистый *двуводородный* газъ, называемый также *болотнымъ* ^{Болотный газъ.} (H_2C), образуется весьма часто въ каменоломняхъ, въ водахъ, гдѣ происходитъ гніеніе органическихъ тѣлъ, въ болотахъ, и выходитъ въ значительномъ количествѣ изъ земли въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ находятся слои каменнаго угля, такъ напр. близъ Рейна у Эмса.

Газъ этотъ не имѣетъ ни вкуса, ни запаха, тяжелѣе атмосфернаго воздуха, не поддерживаетъ дыханія и горитъ голубымъ, слабымъ свѣтомъ. Смѣшанный съ атмосфернымъ воздухомъ, и преимущественно съ кислородомъ, сгараетъ онъ съ сильнымъ взрывомъ. Взрывы эти, происходящіе въ каменоломняхъ, вслѣдствіе зажиганія этого газа пламенемъ лампъ, весьма часто сопровождаются самыми опасными послѣдствіями. Для отвращенія опасности употребляютъ въ каменоломняхъ, такъ называемую, Девіеву предохранительную лампу; пламя этой лампы находится во внутренности пролонговатаго цилиндра, состоящаго изъ металлической сѣтки, которая препятствуетъ загоранію болотнаго газа, находящагося съ наружной стороны ея.

Углеродисто *водородный* или, такъ называемый, *маслородный* ^{Маслородный газъ.} газъ (HC), заключаетъ на тоже количество водорода вдвое большее количество углерода противу болотнаго газа. Названіе свое онъ полу-

чить отъ того, что въ соединеніи съ хлоромъ даетъ маслообразную жидкость; онъ легче атмосфернаго воздуха, имѣетъ непріятный запахъ и горитъ яркимъ пламенемъ.

Отъ этого газа преимущественно зависитъ яркость пламени газоваго освѣщенія и пламени свѣчь и лампъ. Для приготовленія газа, употребляемаго въ городахъ для освѣщенія улицъ, накалываютъ каменные уголья въ чугунныхъ ретортахъ, или же вливаютъ постепенно масло или растопленную смолу въ раскаленные чугунные цилиндры, въ которыхъ происходитъ разложеніе масла или смолы. Черезъ это получается смѣсь многихъ газовъ, въ особенности маслороднаго, богатнаго и соединеній кислорода съ углеродомъ; а также различные парообразные продукты. Всѣ полученные такимъ образомъ газы и пары проводятся въ охладительный приборъ, въ которомъ осаждаются вода и деготь; изъ охладительнаго прибора газы проходятъ въ сосуды съ известію, отнимающею у нихъ углекислоту. Освобожденный отъ примѣсей газъ проводится въ большой газометръ, описаніе котораго было сдѣлано нами въ статьѣ о движеніи газовъ.

Обыкновенныя свѣчи и лампы повторяютъ въ маломъ видѣ тотъ же процессъ, и потому мы считаемъ полезнымъ дать здѣсь понятіе о самомъ процессѣ горѣнія.

Горѣніе, какъ мы уже сказали при описаніи кислорода, есть собственно соединеніе горючаго тѣла съ кислородомъ.

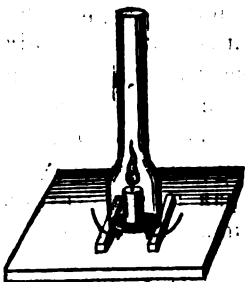
Поэтому для полученія горѣнія необходимо:

1) *присутствіе горючаго тѣла*, какъ напр. угля, водорода, фосфора, сѣры, желѣза, дерева и другихъ горючихъ тѣлъ.

2) *присутствіе кислорода или атмосфернаго воздуха, содержащаго кислородъ*. Опытъ показываетъ намъ, что въ безвоздушномъ пространствѣ пневматической машины тотчасъ погасаетъ горящая свѣча.

3) Если на дощечку, посыпанную пескомъ, поставить зажженный огарокъ свѣчи и покрыть его стекляннмъ цилиндромъ, то пламя погаснетъ вскорѣ, не взирая на то, что цилиндръ стирять сверху. Это происходитъ отъ того, что газы, образующіеся при горѣніи, будучи нагрѣты, занимаютъ верхнюю часть цилиндра и препятствуютъ такимъ образомъ кислороду наружнаго воздуха достигать до пламени; а что при горѣніи дѣйствительно образуются газы, мы это покажемъ ниже при разсмотрѣніи пламени. По той же самой причинѣ

Фиг. 782.

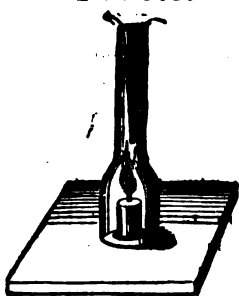


пламя гаснетъ въ томъ случаѣ, если цилиндръ, поставленный на два брусочка (фиг. 782), покрыть сверху дощечкой, препятствующей выходу образовавшихся газовъ. Когда же оставить цилиндръ на брускахъ, не покрывая его дощечкой, то горѣніе продолжается. Если погасить восковой фитиль и поднести его къ верхнему краю стекляннаго цилиндра, то по направленію дыма можно убѣдиться въ поднятіи воздуха. Тотъ же самый фитиль, поднесенный къ нижнему отверстію цилиндра, показываетъ, что воздухъ устремляется въ послѣдній. Изъ этихъ опытовъ мы заключаемъ, что снизу притекаетъ къ пламени атмосферный воздухъ, кислородъ его поглощается горящею свѣчею, чрезъ что образуются газообразныя соединенія, выходящія чрезъ верхнее отверстіе цилиндра. Вслѣдствіе того притекаетъ къ пламени свѣчее количество воздуха и

повторяется тотъ же процессъ. Причина же поднятія воздуха заключается въ томъ, что онъ нагревается пламенемъ свѣчи и дѣлается поэтому легче.

Слѣдовательно, для поддержанія горѣнія необходимы притокъ снѣжаго количества воздуха; притокъ этотъ доставляетъ пламени новое количество кислорода, которое расходуется на горѣніе.

Въ необходимости свободнаго теченія воздуха при горѣніи убѣждаетъ насъ Фиг. 783.



также опытъ, представленный на фиг. 783-й. Свѣча продолжаетъ горѣть, не взирая на прикосновеніе нижней части цилиндра къ доскѣ въ томъ случаѣ, если мы вставимъ въ верхнюю часть стекла дощечку, которая доставляетъ возможность получить струю входящаго и выходящаго воздуха. По той же причинѣ, хорошо устроенныя печи должны обладать надлежащей тягой воздуха; самые дрова и уголья должны класть такъ, чтобы кислородъ нѣлгъ къ нимъ свободный доступъ. Узкія трубы обладаютъ большей тягой противу широкихъ, потому что въ первыхъ воздухъ скорѣе нагревается и дѣлается легче.

4) Всякое тѣло для воспламененія должно быть нагрѣто до известной температуры. Одни тѣла требуютъ при этомъ болѣе низкой, а другія болѣе высокой температуры, фосфоръ загорается отъ теплоты, доставляемой солнечными лучами. Сѣра требуетъ уже большаго нагрѣванія; а дерево для воспламененія требуетъ еще высшей температуры. Горѣніе прекращается съ пониженіемъ необходимой для того температуры. На этомъ основано употребленіе холодной воды для тушенія пожаровъ.

5) Съ помощью горѣнія получается развитіе теплоты, достигающее у нѣкоторыхъ тѣлъ до значительной степени. Если зажечь конецъ лучинки на свѣчѣ, то лучинка продолжаетъ горѣть далѣе безъ содѣйствія свѣчи. Горящая часть лучинки развиваетъ такое количество теплоты, которое достаточно для нагрѣванія слѣдующихъ частей лучинки. Поэтому въ началѣ должно держать лучинку такъ, чтобы пламя могло обхватывать еще незагорѣвшіяся части и нагрѣвать ихъ. Теплота, развиваемая при горѣніи, употребляется на приготовленіе лѣтъ, на отопку комнатъ и т. д.

6) При каждомъ горѣніи образуется новое тѣло или нѣсколько тѣлъ. Вновь образовавшійся продуктъ всегда есть соединеніе кислорода съ стараемыми веществами. Такъ напр. при горѣніи желѣза образуется желѣзная окись; при горѣніи фосфора фосфорная кислота, при сѣрѣ сѣрнистая кислота, при углѣ углекислота, при водородѣ вода и т. д. Многія горящія тѣла, въ соединеніи съ кислородомъ, даютъ газообразные продукты, удаляющіеся при самомъ горѣніи.

Твердыя тѣла только накаляются при горѣніи, а газообразныя при горѣніи даютъ пламя. Металлы и чистый уголь накаляются, не образуя пламени. Если мы и замѣчаемъ пламя при горѣніи каменнаго угля, то это происходитъ отъ заключающагося въ немъ водорода, который отдѣляется при горѣніи въ видѣ горящаго газа. Онъ увлекаетъ за собою тончайшія частицы угля, накаляющіяся въ его пламени.

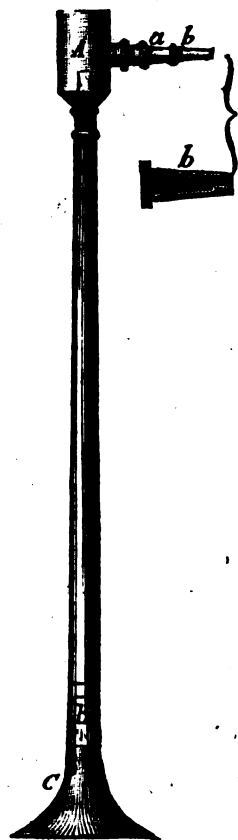
Перейдемъ теперь къ рассмотрѣнію горѣнія свѣчей и лампъ.

Сало, равно какъ и воскъ, суть сложныя тѣла, состоящія изъ кислорода, водорода и углерода. Если зажечь свѣтильню сальной свѣчи, то вслѣдствіе теплоты сперва растаивается сало; по приведеніи въ жидкое состояніе сало вбирается свѣтильною и поднимается вверхъ. Здѣсь отъ теплоты зажженного фитиля оно разлагается на свои составныя части. Кислородъ, водородъ и углеродъ дѣлаются свободными. При этомъ водородъ соединяется снова какъ съ отдѣлившимся кислородомъ, такъ и тѣмъ, который притекаетъ къ пламени и по соединеніи съ нимъ образуетъ воду. Углеродъ же увлекается вверхъ нака-

ливается въ пламени и, соединяясь съ кислородомъ, даетъ углекислоту. При внимательномъ наблюденіи у каждаго пламени можно различить три части **Фиг. 784.** (фиг. 784). Посрединѣ темное ядро *a* — это поднятые, газообразные продукты разложенія горючаго матеріала, которымъ для горѣнія не достаетъ кислорода. Возлѣ этого темнаго ядра нетрудно замѣтить свѣтлую часть *c*; въ этой части по недостатку надлежащаго притока кислорода воздуха, горитъ преимущественно водородъ, въ которомъ находятся раскаленные частицы углерода; раскаленное состояніе послѣднихъ служитъ причиною яркости этой части пламени. Наконецъ можно отличать еще снаружы слабо свѣтящуюся оболочку *dd*, въ которой отдѣляющийся углеродъ вступаетъ въ непосредственное прикосновеніе съ кислородомъ и даетъ углекислоту. Свѣтящая способность пламени зависитъ преимущественно отъ накаливанія твердыхъ частей углерода, потому что газообразный водородъ при горѣніи даетъ только слабый свѣтъ.



Тоже самое явленіе повторяется при горѣніи лампъ. Чтобы доставить притокъ воздуха и внутренней части пламени, употребляются полныя свѣтильни, и самимъ лампамъ доставляется двойной притокъ воздуха (**Фиг. 785.** **Фиг. 786.** **Фиг. 787.**). Здѣсь должно замѣтить, что теченія воздуха совершаются удобнѣе, если пламя окружено цилиндромъ, самое пламя бываетъ въ этомъ случаѣ гораздо ярче, нежели безъ цилиндра. Вышина и ширина стекляннаго цилиндра оказываютъ большое вліяніе на яркость пламени: притокъ воздуха не долженъ быть слишкомъ силенъ, потому что въ такомъ случаѣ углеродъ не станетъ приходить въ былое калильное состояніе, а будетъ сгорать тотчасъ по отдѣленіи своемъ, вслѣдствіе того произойдетъ сильнѣйшій жаръ, но яркость пламени уменьшится.



Увеличеніе жара пламени увеличеніемъ притока воздуха лучше всего доказывается употребленіемъ *наальной трубки*. Она состоитъ изъ небольшой конической суживающейся трубки (**Фиг. 786**) отъ 6 до 8-ми дюймовъ длиною; трубка эта входитъ суженнымъ концомъ въ небольшое цилиндрическое вмѣстительство *A*, въ которое владывается, такъ называемая, выдувная трубочка *ab*, обыкновенно снабжаемая плати-

Фиг. 787.



новымъ наконечникомъ. Если посредствомъ этого прибора вдуть сгущенный воздухъ въ средину пламени масляной или спиртовой лампы (**Фиг. 787**), то сгараніе разложенныхъ продуктовъ горѣнія ускоряется и жаръ сильно увели-

чивается. Внѣшній видъ пламени претерпѣваетъ при этомъ измѣненіе; свѣтлая часть пламени, состоящая изъ раскаленныхъ частичекъ угля, замѣтно уменьшается, между тѣмъ какъ та, въ которой происходитъ полное горѣніе, при содѣйствіи воздуха (проникающаго во внутреннюю часть ея), значительно увеличивается. Дѣйствіе пламени паяльной трубки двоякое: въ той части пламени, гдѣ доступъ воздуха значителенъ, происходитъ совершенное горѣніе и сильный жаръ. Если внести въ эту часть тѣло способное соединяться съ кислородомъ или, какъ говорятъ, *окисляться*, то оно дѣйствительно соединяется съ кислородомъ. Если же внести окисленное тѣло въ ту часть пламени, гдѣ не происходитъ полного горѣнія, то оно, вслѣдствіе находящихся тамъ сильно нагрѣтыхъ углерода и водорода, лишается своего кислорода и слѣдовательно *раскисляется*. Поэтому въ пламени паяльной трубки различаютъ дѣйствіе окисляющее и раскисляющее.

Дымъ, образующійся при горѣніи масла въ обыкновенныхъ лампахъ, при горѣніи дерева и каменнаго угля, происходитъ отъ того, что не весь уголь сгораетъ совершенно. Эти несожженные частицы угля въ раздробленномъ состояніи уносятся восходящими слоями теплаго воздуха. Чѣмъ менѣе воздухъ имѣетъ свободнаго доступа къ пламени, тѣмъ несовершеннѣе сгораетъ уголь и тѣмъ болѣе будетъ отдѣляться дымъ. Несожженный уголь этотъ осаждается на поверхности твердыхъ тѣлъ; какъ напр. трубъ, и даетъ сажу.

Мы дуемъ на свѣчку для того, чтобы потушить пламя: въ этомъ случаѣ происходитъ удаленіе пламени отъ свѣтильни, которая доставляетъ пламени питаніе. Глѣющая свѣтильня не даетъ обыкновенно такой теплоты, которая бы могла способствовать воспламененію газовъ, отдѣляющихся отъ растопленнаго сала.

Если опустить частую сѣтку (фиг. 788) на пламя, то послѣднее опускается книзу, а чрезъ сѣтку проходитъ только одинъ дымъ; это происходитъ вслѣдствіе поглощенія сѣткою теплоты пламени. И въ самомъ дѣлѣ, если сѣтка раскалится, то дымъ воспламеняется тотчасъ. На этомъ охлажденіи пламени основано устройство Девіевой предохранительной лампы, о которой мы говорили выше. Если въ рудоконѣ при употребленіи Девіевой лампы и случается взрывъ, то воспламеняется только тотъ газъ, который заключается внутри сѣтчатой оболочки лампы. Такимъ образомъ рабочіе имѣютъ время уйти отъ опасности. Весьма часто для воспламененія глѣющей свѣтильни мы дуемъ быстро на нее: въ этомъ случаѣ мы доставляемъ пламени усиленный притокъ воздуха, который содѣйствуетъ сильнѣйшему сожженію свѣтильни; вслѣдствіе того возвышается температура, и газы воспламеняются.

Фиг. 788.



свѣтъ. 788.

§ 231. Прежде нежели перейдемъ къ описанію основаній и солей, скажемъ нѣсколько словъ объ металлахъ, потому что большая часть основаній и солей происходятъ отъ различныхъ соединеній нѣкоторыхъ металловъ.

Металлы отличаются отъ всѣхъ прочихъ простыхъ тѣлъ плавкостію, непрозрачностію, блескомъ, плотностію и легкою проводимостію теплоты и электричества.

Относительно плавкости металловъ замѣтимъ, что въ этомъ отношеніи между ними находится большое различіе. Ртуть напр. приходитъ въ жидкое состояніе при -32°P. , а желѣзо и платина плавятся только при самыхъ высокихъ температурахъ.

О непрозрачности металловъ можно сказать, что они всѣ непрозрачны; впрочемъ золото въ тонкихъ листочкахъ пропускаетъ значительное количество зеленыхъ лучей.

Блескомъ обладаютъ весьма многіе металлы, какъ то: серебро, ртуть, золото и др. Блескъ есть ни что иное, какъ слѣдствіе непрозрачности металловъ, потому что чѣмъ меньше какое нибудь тѣло пропускаетъ лучей, тѣмъ болѣе оно ихъ отражаетъ.

Большая плотность не есть общее свойство металловъ, потому что есть металлы легче воды, каковы калий и натрій, а есть и такіе, которые плотнѣе воды въ 21 (платина) и даже въ 23 (иридій) раза. Металлы хорошо проводятъ теплоту и электричество; первымъ свойствомъ особенно обладаютъ золото и серебро, а вторымъ серебро и мѣдь.

Металлы раздѣляются на ковкіе и хрупкіе. Къ болѣе ковкимъ и тягучимъ относятся желѣзо, мѣдь, платина, серебро, золото, олово, цинкъ, свинецъ.

Нѣкоторые металлы обладаютъ необыкновенною твердостію, какъ наприм. иридій, платина. О химическихъ свойствахъ металловъ замѣтимъ слѣдующее:

а) Всѣ металлы соединяются съ кислородомъ, нѣкоторые скоро и при обыкновенной температурѣ, напр. калий; для иныхъ нужна высшая температура, какъ напр. для цинка и желѣза; для соединенія золота съ кислородомъ необходимо еще болѣе повышеніе температуры. Нѣкоторые металлы соединяются съ кислородомъ только на поверхности, напр. свинецъ и мѣдь. *Благородными* металлами называютъ тѣ металлы, которые при накаливаніи отдѣляютъ кислородъ, если были прежде соединены съ нимъ; таковы золото, серебро, платина и иридій. Остальные металлы называются *неблагородными*. Если металлъ соединяется съ кислородомъ и потомъ снова отдаетъ его, то процессъ этотъ называется *редуцированіемъ*. Редуцированіе или возстановленіе неблагородныхъ металловъ возможно только въ присутствіи тѣлъ, имѣющихъ сильное сродство къ кислороду. Въ большой части случаевъ употребляется для этой цѣли уголь.

б) Металлы также соединяются и съ другими металлоидами, особенно съ сѣрою, и называются тогда *сѣрнистыми* металлами.

с) Металлы соединяются между собою двоякимъ образомъ: или въ определенныхъ содержаніяхъ или въ произвольномъ количествѣ. Соединеніе перваго рода произойдетъ, если мы возьмемъ накаленный тонкій платиновый листокъ, опустимъ его въ растопленное олово и потомъ станемъ держать на пламени свѣчи; при чемъ мы увидимъ, что листокъ расплавится при сильномъ отдѣленіи свѣта. Соединенія втораго рода называются *сплавами*, которые для выдѣлки разныхъ вещей гораздо удобнѣе, нежели металлы ихъ составляющіе. Всѣ сплавы безъ исключенія плавятся легче, нежели чистые металлы; есть сплавы, которые плавятся въ кипящей водѣ, такъ напр. сплавъ Розе, содержащій въ себѣ 2 части висмута, 1 часть свинца и 1 часть олова. Кромѣ того сплавы отличаются отъ чистыхъ металловъ тѣмъ, что они легче соединяются съ кислородомъ, чѣмъ послѣдніе. Ртуть соединяется съ весьма многими металлами при обыкновенной температурѣ и даетъ *амальгамы*.

д) Металлы очень рѣдко встрѣчаются въ природѣ въ чистомъ видѣ, но по большой части въ соединеніи съ кислородомъ, сѣрою и мышьякомъ. Соединенія эти называются *рудами*. Руды находятся наиболѣе въ жилахъ древнихъ горныхъ породъ; также въ наносахъ, рѣчномъ пескѣ. Посредствомъ различныхъ химическихъ процессовъ изъ рудъ добываются чистые металлы.

Назовемъ имена нѣкоторыхъ металловъ и покажемъ ихъ раздѣленіе на группы:

1. *Легкіе металлы:*

- а) Металлы щелочей: калий, натрій, литій.
- б) Металлы щелочныхъ земель: барій, стронцій, кальцій, магній.
- с) Металлы собственно земель: глиній, бериллій, цирконій, иттрий, церій, эрбій, тербій, торій, норій, лантанъ, диимій.

2. *Тяжелые металлы:*

А) Неблагородные металлы:

- а) *трудноплавкіе*: марганецъ, желѣзо, никель, кобальтъ, уранъ, мѣдь.
- б) *легкоплавкіе*: цинкъ, кадмій, свинецъ, висмутъ.

В) Благородные металлы: ртуть, серебро, палладій, платина, иридій, рутеній, родій, осмій, золото.

3. *Металлы въ соединеніи съ кислородомъ дающіе кислоты:*

Олово, сурьма, мышьякъ, теллуръ, титанъ, ніобій, танталъ, цезій, вольфрамъ, молибденъ, ванадій, хромъ, селенъ.

Металлы первого отдѣла называются легкими, потому что плотность ихъ не превышаетъ 5,0; металлы второй группы *тяжелыми* по причинѣ ихъ большой плотности.

§ 232. При описаніи главнѣйшихъ основаній, мы будемъ говорить о свойствахъ и о важнѣйшихъ соляхъ.

1) Кали (K₂O) въ соединеніи съ водою (ѣдкое кали) образуетъ бѣлое, твердое тѣло, состоящее изъ соединенія кислорода съ металломъ калиемъ, который, будучи брошенъ на воду, окисляется быстро и даетъ красное пламя. При этомъ поглощеніи кислорода изъ воды происходитъ освобожденіе водорода, который можетъ быть поэтому собранъ въ особый пріемникъ. Кали легко плавится и при высокой температурѣ обращается въ пары; легко растворяется въ водѣ и спиртѣ, даже притягиваетъ воду изъ воздуха, вслѣдствіе чего расплывается. Ѣдкое кали дѣйствуетъ разъѣдающимъ образомъ на животныя вещества: волосы, шерсть, шелкъ, рогъ и кожу; оно размягчаетъ ихъ и какъ будто покрываетъ жиромъ.

Кали, соединенное съ углекислотою, даетъ соль, называемую *поташемъ*. Поташъ находится въ золѣ деревьевъ. Для полученія поташа пропускаютъ чрезъ золу горячую воду, которая растворяетъ поташъ и уноситъ его съ собою. Если послѣ того выпарить жидкость, то она оставляетъ сѣрую массу, называемую *сырымъ поташемъ*. Изъ очищенного поташа добываютъ кали, прибавляя въ водяной растворъ

обозрѣ-
ніе замѣ-
тлывш.
основа
лія и
солей.
Кали и
солей
его.

поташа жженой извести до тѣхъ поръ, пока она не извлечетъ изъ поташа всей углекислоты.

Известь превращается при этомъ въ углекислую известь и осаждается въ видѣ бѣлаго порошка, между тѣмъ какъ жѣдкое кали остается въ растворѣ и добывается изъ него послѣ выпариванія воды.

Кали въ соединеніи съ углекислотою даетъ *сѣрниокислосе кали*, одну изъ составныхъ частей квасцовъ. Соединеніе кали съ хлорною кислотою называется *хлорноватокислосе кали* или бертолетова соль ($\text{K}\text{aO} + \text{ClO}_3$). Одна изъ важныхъ солей, заключающихъ кали, есть *азотнокислосе кали* ($\text{K}\text{aO} + \text{NO}_3$), обыкновенно называемое *селитрою*, которая, какъ извѣстно, входитъ въ составъ пороха. Послѣдній представляетъ смѣсь изъ 76 частей селитры, 11 частей сѣры и 13 частей угля; впрочемъ составъ пороха нѣсколько уклоняется отъ показанной нами пропорціи, сообразно различнымъ цѣлямъ. При сжиганіи пороха образуются мгновенно многіе газы: азотъ, углекислота, сѣрнистая кислота; они стремятся къ быстрому занятію гораздо большаго пространства. Азотъ и углекислота, уже при 0°P. , занимаютъ въ 450 разъ большее пространство противу пороха, изъ котораго они получились. При образованіи своемъ въ каналѣ орудій, газы находятся въ стѣсненномъ пространствѣ; вслѣдствіе чего увеличивается ихъ упругость и они пріобрѣтаютъ возможность бросать тяжелые снаряды на значительное разстояніе, доставляя имъ огромную начальную скорость.

Если расплавить кали съ пескомъ, заключающимъ кремневую кислоту, то получается *кремнекислосе кали*. Вмѣсто кали для той же цѣли можно брать поташъ, потому что кремневая кислота изгоняетъ углекислоту изъ поташа и сама соединяется съ заключающимся въ немъ кали. Изъ кремнекислаго кали готовится стекло. Кремнекислосе кали входитъ въ составъ многихъ минераловъ, а именно: полевого шпата, при вывѣтриваніи котораго атмосферная углекислота разлагаетъ кремнекислосе кали и даетъ углекислосе кали.

Натръ
и соли
его.

2) *Натръ* (NaO) есть соединеніе металла натрія съ кислородомъ. Натрій, по свойствамъ своимъ весьма подобенъ калию; въ соединеніи съ хлоромъ натрій образуетъ *поваренную соль* (NaCl). Брошенный на воду натрій воспламеняется подобно калию и горитъ голубымъ пламенемъ. Если растворить поваренную соль въ водѣ и потомъ дать водѣ испариться въ какомъ нибудь тепломъ мѣстѣ, то соль получается въ кристаллическомъ видѣ. Точно также получаютъ поваренную соль изъ соляныхъ источниковъ.

Если облить поваренную соль сѣрною кислотою, то хлоръ соединяется съ водородомъ воды, а сѣрная кислота соединяется съ образовавшимся при этомъ натромъ и даетъ *сѣрниокислый натръ* ($\text{NaO} + \text{SO}_3$), называемый по имени изобрѣтателя *глауберовою солью*. Соль эта заключаетъ въ себѣ много воды, по удаленіи которой она распадается въ порошокъ.

Если освобожденную отъ воды глауберову соль смѣшать съ порошкомъ угля и нагревать смѣсь на кускѣ угля, съ помощію паяльной

трубки, то уголь извлекаетъ кислородъ какъ изъ натра, такъ и изъ сѣрной кислоты и образуетъ улетающую окись углерода. Натрій же соединится съ сѣрою и дастъ, такъ называемую, *сѣрную печень*.

Если растереть сѣрную печень въ ступкѣ съ равнымъ количествомъ мѣлу, нагревать смѣсь, то получается густая масса, которую варятъ въ водѣ и потомъ процеживаютъ. Но выпариваніи процеженной жидкости остается бѣлый порошокъ, называемый *углекислымъ натромъ* или содою. Известь, заключавшаяся въ мѣлѣ, соединилась съ сѣрою бывшей въ сѣрной печени, а углекислота мѣла образовала съ натріемъ соду. Обыкновенно для полученія соды накалываютъ глауберовую соль съ углекислою известію. Въ такомъ случаѣ натръ соли соединяется съ углекислою углекислой извести и даетъ соду.

Сода готовится въ значительномъ количествѣ на фабрикахъ и подобно поташу служить для приготовленія мыла.

Если расплавить соду вмѣстѣ съ пескомъ (кремневою кислотою), то получается кремнекислый натръ, стеклообразное тѣло, на подобіе кремнекислаго кали.

Искусственнымъ образомъ приготовленное стекло состоитъ изъ кремнекислаго кали или кремнекислаго натра и кремнекислой извести. Для приготовленія его расплавляютъ смѣсь кварцу (песку) поташу или соды и извести. Различные роды стекла зависятъ какъ отъ различія отношеній между тѣлами его составляющими, такъ и отъ примѣси различныхъ металлическихъ окисей. Такъ напр. зеленый цвѣтъ обыкновеннаго оконнаго и бутылочнаго стекла зависитъ отъ примѣси желѣзной закиси (FeO), потому что для приготовленія этого стекла обыкновенно употребляютъ кварцъ съ примѣсью водной окиси желѣза. Стекло молочнаго цвѣта получается отъ примѣси угля добытаго изъ костей. Родъ стекла, извѣстный подъ названіемъ *флинтгласа*, состоитъ изъ кремневой кислоты, кали и окиси свинца; богемское же стекло или *кромгласъ* состоитъ изъ кремневой кислоты, натра или кали и известняку.

3) *Амміакъ* (NH_3) есть газъ, состоящій изъ соединенія азота съ *Амміакъ* водородомъ и обладающій рѣзкимъ непріятнымъ запахомъ; онъ безцвѣтенъ, при сильномъ давленіи сгущается въ жидкость, не поддерживаетъ дыханія и поглощается въ значительномъ количествѣ водою: одинъ объемъ воды въ состояніи поглотить до 670 амміака, при чемъ жидкость сильно расширяется и вѣсъ ея увеличивается почти на половину. Продуктъ этого соединенія есть жидкій амміакъ, извѣстный въ продажѣ подъ названіемъ *нашатырнаго спирта* ($NH_3 + HO$). Амміакъ отдѣляется при гніеніи животныхъ тѣлъ; онъ получается между прочимъ отъ нагреванія нашатыря (хлористоводороднаго амміака) съ тѣдкою известію.

Самый же нашатырь или хлористоводородный амміакъ получается слѣдующимъ образомъ. Если прокалывать животныя вещества, такъ чтобы воздухъ не имѣлъ къ нимъ доступа, то получается въ пріемникѣ значительное количество углекислаго амміака. Если растворить углекислый амміакъ въ хлористоводородной кислотѣ, то по выпариваніи получается бѣлая соль, которая есть ни что иное какъ хлористоводородный амміакъ или *нашатырь* ($NH_3 + ClH$). Подобнымъ же образомъ амміакъ соединяется и съ другими кислотами:

углекислотой, азотной кислотой и др. и даетъ съ ними различные соли.

Соли эти, образующіяся при гніеніи животныхъ и растительныхъ тѣлъ, служатъ весьма важными питательными веществами для растений.

Известь. 4) *Окись кальція или известь* (CaO) есть извѣстный родъ земли, составляющей основное начало цементовъ, употребляемыхъ въ строительномъ искусствѣ для связки камней и кирпичей. Въ соединеніи съ кислотами она составляетъ одну изъ значительныхъ частей земной коры, какъ напр. въ углекислой и сернокислой извести, въ простыхъ известнякахъ. Самый же кальцій есть металлъ съ виду похожій на серебро; онъ плавится при высокой температурѣ; на воздухѣ быстро окисляется, разлагаетъ воду при обыкновенной температурѣ съ отдѣленіемъ водорода, а самъ превращается при этомъ въ водную известь. Обыкновенные известняки, равно какъ мрамръ и мѣль, состоятъ изъ *углекислой извести* ($CaO + CO_2$). Отъ обжиганія въ большихъ известковыхъ печахъ обыкновенныхъ известняковъ отдѣляется изъ нихъ углекислота и получается известь, называемая *ѣдкою* или *обоженной известію*, отличающеюся сероватымъ цвѣтомъ. Обоженная известь имѣетъ большое сродство къ водѣ и соединяется съ послѣднею при сильномъ развитіи теплоты: вотъ почему должно обходиться осторожно съ ѣдкою известію. Известь, соединенная въ воду, называется *гашеною известію* ($CaO + HO$). Отъ прилитія воды къ послѣдней получается бѣлаго цвѣта жидкость, называемая *известковымъ молокомъ*. Вода же, бывшая въ прикосновеніи въ известію и заключающая въ растворѣ небольшое количество ея, называется *известковою водою*.

Для употребленія извести въ цементы смѣшиваютъ ее съ пескомъ. Известь, положенная въ промежуткѣ между камнями стѣны, поглощаетъ углекислоту изъ воздуха и превращается въ твердую массу, состоящую изъ водной углекислой извести.

Углекислая известь растворится въ водѣ только тогда, если послѣдняя заключаетъ углекислоту. Какъ всѣ источники заключаютъ извѣстное количество углекислоты, то поэтому въ каждомъ изъ нихъ встрѣчается примѣсь углекислой извести. По удаленіи углекислоты изъ воды углекислая известь осаждается.

Углекислая известь входитъ въ составъ костей животныхъ, скорлупы яицъ и т. д. и поэтому принимается многими животными вмѣстѣ съ пищею. Многія растения заключаютъ въ себѣ также углекислую известь.

Известь, въ соединеніи съ серною кислотою, даетъ *сернокислую известь* или *гипсъ* ($CaO + SO_3$), а какъ въ гипсѣ заключается вода, то точнѣе означать его формулой: ($CaO SO_3 + 2HO$). Гипсъ попадаетъ въ природѣ весьма часто въ видѣ сплошныхъ зернистыхъ массъ и извѣстенъ въ такомъ случаѣ подъ названіемъ *алебаstra*. Вода, заключающаяся въ гипсѣ, можетъ быть удалена изъ него съ помощію умѣренного нагреванія. Истолченный, обоженный гипсъ,

приведенный съ водою въ тѣстообразное состояніе, даетъ матеріалъ для такъ называемыхъ гипсовыхъ фигуръ. Онъ соединяется тогда съ водою химически, а спустя известное время даетъ твердую массу. Гипсъ употребляется также для удобренія полей.

Хлорноватистокислая известь есть бѣлый порошокъ, употребляемый для бѣленія тканей; онъ разлагается отъ дѣйствія углекислоты воздуха, при чемъ выдѣляется хлоръ, о вліяніи котораго на растительныя тѣла мы уже говорили. Смѣсь хлорноватистокислой извести съ хлористымъ кальціемъ и тѣкою известью известна въ торговлѣ подъ названіемъ *хлорной* или *бѣлильной извести*. Известь эту употребляютъ для бѣленія бумажныхъ и льняныхъ тканей и для уничтоженія дурнаго запаха, происходящаго вслѣдствіе разложенія животныхъ организмовъ.

Фосфорнокислая известь составляетъ главную часть животныхъ костей, *кремнекислая известь* употребляется при изготовленіи стекла.

5) *Оксъ барія* или *баритъ* (BaO) есть соединеніе кислорода съ бѣлымъ, блестящимъ и похожимъ на серебро металломъ *баріемъ*. Барій имѣетъ сильное сродство къ кислороду; на воздухѣ онъ окисляется быстро; даже при низкой температурѣ разлагаетъ воздухъ отдѣленіемъ водорода. *Сѣрниокислый баритъ* встрѣчается въ природѣ въ значительномъ количествѣ въ окристаллизованномъ видѣ и извѣстенъ подъ названіемъ *тяжелая шпата*. Оксъ барія.

6) *Магнезія* (MgO) есть окисъ металла магнезія; она распространена въ природѣ въ составѣ горныхъ породъ. *Кремнекислая магнезія* въ соединеніи съ водою образуетъ морскую пѣнку и талькъ. *Сѣрниокислая магнезія* заключается во многихъ минеральныхъ источникахъ; *углекислая магнезія* въ соединеніи съ углекислою известью составляетъ доломитъ. Магнезія.

Глиноземъ (Al_2O_3), представляющій единственное соединеніе металла глинія въ кислородомъ, подобно кремневой кислотѣ и извести составляетъ главную часть многихъ минераловъ. Такъ напр. *сафиръ* есть чистый глиноземъ. Глиноземъ.

Сѣрниокислый глиноземъ въ соединеніи въ сѣрниокислымъ кали образуетъ квасцы, употребляемые въ красильныхъ и въ типографіяхъ. Обыкновенная *глина* состоитъ изъ *кремнекислаго глинозема* съ примѣсью другихъ металлическихъ окисловъ. Отъ различія этихъ примѣсей происходятъ различные роды глины: горшечная, трубочная и т. д.; глина употребляется на изготовленіе различной посуды, вслѣдствіе свойства ея принимать въ мягкомъ видѣ различную форму, которую она сохраняетъ послѣ обжиганія. Отъ различной степени обжиганія и отъ чистоты глиняной массы зависятъ различныя названія, даваемые изготовляемымъ изъ нея надѣламъ (*фаянсъ*, *фарфоръ* и др.).

§ 233. Что же касается до тяжелыхъ металловъ, то мы ограничимся здѣсь только указаніемъ общихъ приѣмовъ ихъ добыванія. Только весьма немногіе металлы находятся въ природѣ въ чистомъ видѣ, такъ чтобы они не требовали дальнейшей обработки для упо- Общие приѣмы добычи металловъ.

требленія ихъ на различныя надѣлія. Почти всегда мы встрѣчаемъ въ природѣ металлы въ соединеніи или съ кислородомъ или съ сѣрою и при томъ вмѣстѣ съ тою жильною породой, изъ которой руды эти добываются. Хотя добываніе каждаго металла представляетъ нѣкоторыя частныя особенности, тѣмъ не менѣе есть общіе приемы, болѣе или менѣе употребляемые при добываніи всѣхъ вообще металловъ. Возьмемъ для примѣра двѣ руды; положимъ что одна изъ нихъ есть соединеніе желѣза съ кислородомъ, т. е. окись желѣза, и что эта окись находится въ соединеніи съ кремнекислотою (съ кварцемъ). Для другаго примѣра возьмемъ руду, извѣстную подъ названіемъ *свинцоваго блеска*, который состоитъ изъ соединенія свинца съ сѣрою. Чтобы изъ первой руды, т. е. изъ кремнекислой окиси желѣза, получить чистое желѣзо, смѣшиваютъ ее съ углемъ и известью, потомъ накаливаютъ эту смѣсь въ особенныхъ печахъ (доменныхъ печи). При высокой температурѣ кремнеземъ, нашедшійся въ желѣзной рудѣ, соединяется съ известью, образуетъ жидкую массу, которая стекаетъ внизъ и по охлажденіи представляетъ стекловидную массу, которую называютъ *шлакомъ*. Такимъ образомъ, при помощи извести въ печи, образовалась желѣзная окись, которая въ присутствіи съ углемъ разлагается на чистое желѣзо и кислородъ, соединяющійся съ углеродомъ и образующій окись углерода; послѣдній, какъ тѣло газообразное, улетаетъ, а желѣзо получается въ чистомъ видѣ. Металлургическій процессъ, имѣющій цѣлью отдѣленіе металла отъ кислорода, называется, какъ мы уже говорили, *возстановленіемъ* металла.

Если же руда состоитъ изъ соединенія металла съ сѣрою, какъ напр. въ свинцовомъ блескѣ, то возстановленію металла должно предшествовать обжиганіе руды. При высокой температурѣ и при доступѣ воздуха свинцовый блескъ, состоящій, какъ мы видѣли, изъ свинцу и сѣры, разлагается; сѣра соединяется съ кислородомъ, образуетъ сѣрнистую кислоту, которая улетучивается въ видѣ газа; свинецъ также соединяется съ кислородомъ и даетъ свинцовую окись. Дальнѣйшая же обработка производится точно также какъ и въ предъидущемъ случаѣ. Надобно замѣтить, что добываніе многихъ металловъ въ чистомъ видѣ не такъ легко, какъ въ приведенныхъ нами примѣрахъ, хотя общіе приемы при этихъ работахъ болѣе или менѣе приводятся къ однимъ началамъ.

Свой-
ство ор-
ганич.
соедин-
еній.

§ 234. Какъ мы уже говорили въ самомъ введеніи, всѣ тѣла принадлежатъ къ двумъ родамъ: къ неорганическимъ и органическимъ, и къ первымъ относятся минералы, а къ послѣднимъ растенія и животныя.

Главнѣйшее отличіе органическихъ тѣлъ въ химическомъ отношеніи заключается въ томъ, что тѣла эти, при дѣйствіи на нихъ различныхъ силъ, разлагаются на составныя части легче противу тѣлъ неорганическихъ. Чѣмъ изъ большаго числа простыхъ тѣлъ состоитъ органическое соединеніе, тѣмъ легче послѣднее разлагается отъ дѣйствія одной и той же причины. Чтобы опредѣлить химическія

свойства и самый составъ органическихъ тѣлъ, химики подвергали ихъ дѣйствию различныхъ веществъ и силъ, такъ напр. дѣйствию кислорода, хлора, брома, іода, дѣйствию кислотъ, щелочей и окисловъ тяжелыхъ металловъ. Точно также подвергали органическія тѣла вліянію теплоты. Въ краткомъ обзорѣ мы не можемъ здѣсь показать результатовъ, производимыхъ каждымъ вліяніемъ, но должны ограничиться главнѣйшими изъ нихъ.

Между органическими тѣлами, подобно тому какъ и между неорганическими, есть много такихъ, которыя, вслѣдствіе дѣйствія теплоты, не разлагаясь, переходятъ въ пары. Но если полученные пары пропускать чрезъ сильно накаленную трубку, то они разлагаются на неорганическія составныя части, напр. воду, окись углерода, углекислоту, углеродъ, водородъ, азотъ и т. д.

Отъ примѣси песку, кремнія и др. подобныхъ тѣлъ, органическія тѣла, вслѣдствіе дѣйствія теплоты, подвергаются легчайшему разложенію; это происходитъ отъ того, что примѣси нагрѣваются сильнѣе остальной массы и потому дѣйствуютъ на образовавшіеся пары точно такъ, какъ сильно накаленная трубка.

Но болѣе важное вліяніе для химическаго анализа оказываютъ на органическія тѣла металлическіе окислы и преимущественно такіе, которые при нагрѣваніи легко освобождаютъ кислородъ. При нагрѣваніи и при содѣйствіи кислорода органическія тѣла совершенно разлагаются на неорганическія части: углекислоту, воду, азотъ и др. Съ помощію подобныхъ изслѣдованій нашли, что органическія тѣла состоятъ изъ слѣдующихъ простыхъ тѣлъ: углерода, водорода, кислорода и азота; углеродъ встрѣчается рѣшительно во всѣхъ органическихъ тѣлахъ, въ соединеніи съ кислородомъ или водородомъ; азотъ рѣже входитъ въ составъ органическихъ соединеній, чѣмъ кислородъ и водородъ, еще рѣже сѣра или фосфоръ и, наконецъ, чрезвычайно рѣдко находятъ въ органическихъ тѣлахъ хлоръ, бромъ, іодъ, мышьякъ и въ некоторыя другія тѣла.

§ 235. Покажемъ здѣсь ходъ количественнаго анализа органическихъ тѣлъ. Мы уже сказали, что отъ сжиганія органическихъ тѣлъ съ металлическими окислами, легко отдѣляющимися кислородъ, происходитъ разложеніе органическихъ тѣлъ на неорганическія части. Это совершается слѣдующимъ образомъ. Отдѣляющійся кислородъ металлическаго окисла соединяется съ водородомъ и углеродомъ органическаго тѣла: съ первымъ онъ даетъ воду, а съ послѣднимъ углекислоту. Чтобы опредѣлить оба послѣдніе продукта, приводятъ изслѣдуемое тѣло въ соединеніе съ такими веществами, которыя легко поглощаютъ какъ воду, такъ и углекислоту; для воды берутъ хлористый кальцій или кристальную сѣрную кислоту, а для углекислоты — ѣдкое кали. Приращенія ѣдка хлористаго кальція и ѣдкаго кали укажутъ, какое количество воды и углекислоты образовалось при сжиганіи органическаго тѣла.

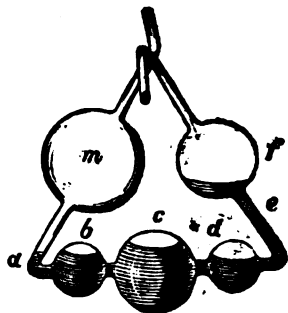
Часть I.

74

Самый же анализъ производится слѣдующимъ образомъ. Данное органическое тѣло стираютъ въ порошокъ, высушиваютъ, взвѣшиваютъ, смѣшиваютъ съ извѣстнымъ количествомъ вѣса мѣдной окиси (CuO) и всыпаютъ въ стеклянную трубку, запаивную съ одного конца. Трубка эта кладется въ особенную печь, гдѣ она подвергается нагрѣванію (фиг. 789). Открытый конецъ этой трубки сообщается



Фиг. 789.



Фиг. 790.

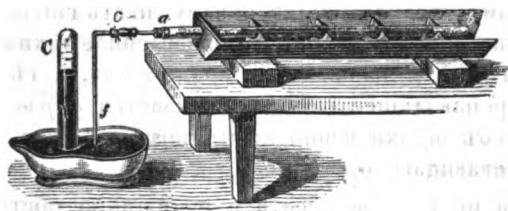
щается съ другою трубкою bb' , въ которой находится хлористый кальцій; послѣдняя трубка въ свою очередь соединяется, посредствомъ каучука, съ изогнутою трубкою, имѣющею 5 шариковъ (фиг. 790). Въ трехъ изъ этихъ шариковъ налито ѣдкое кали. По установленіи надлежащимъ образомъ прибора, трубка, заключающая мѣдную окись и органическое тѣло, накаливается; при чемъ окись разлагается на мѣдъ и кислородъ. Одна часть кислорода, въ соединеніи съ водородомъ органическаго тѣла, образуетъ воду, пары которой поглощаются хлористымъ кальціемъ въ средней трубкѣ, а другая часть кислорода даетъ, въ соединеніи съ углеродомъ, углекислоту, превращающую ѣдкое кали въ углекислое кали. По окончаніи опыта, т. е. когда углекислота уже не отдѣляется, взвѣшиваютъ трубки съ хлористымъ кальціемъ и ѣдкимъ кали. Если приборы эти были взвѣшены до начала опыта, то легко опредѣлить вторичнымъ взвѣшеніемъ, сколько образовалось углекислоты и воды при сжиганіи органическаго тѣла. Зная пай каждаго изъ этихъ тѣлъ, легко уже опредѣлить вычисленіемъ, сколько въ данномъ тѣлѣ было по вѣсу водорода и углерода.

Если данное органическое тѣло состоитъ только изъ углерода, водорода и кислорода, то количество послѣдняго опредѣляется разностию между вѣсомъ всего органическаго тѣла, опредѣленнымъ до опыта, и вѣсомъ найденныхъ въ немъ углерода и водорода.

Если же органическія вещества заключаютъ въ тоже время азотъ, то опредѣленіе водорода и углерода требуетъ нѣкоторыхъ особенныхъ предосторожностей. Часть азота дѣлается свободною при сжиганіи органическаго тѣла вмѣстѣ съ окисью мѣди и не мѣшаетъ дальнѣйшему ходу анализа. Другая же часть азота превращается въ азотную окись, которая, въ прикосновеніи съ кислородомъ воздуха, даетъ азотистую кислоту. Послѣдняя кислота, въ видѣ газа, перехо-

дѣть частію къ хлористому кальцію, а частію къ ѣдкому кали, и сгущаясь тамъ, мѣшаетъ точности анализа. Обстоятельство это устраняютъ помѣщеніемъ возле открытаго отверстія накаливаемой трубки слоя металлической мѣди (фиг. 791).

Фиг. 791.



Послѣдняя, накаливаясь, разлагаетъ азотную окись и дѣлаетъ свободнымъ азотъ; образовавшаяся же вода и углекислота не претерпѣваютъ отъ мѣди никакого измѣненія. Стоитъ только приставить газопроводную трубку и собрать тогда азотъ надъ ртутью подъ

колоколь, раздѣленный на мѣры равной емкости.

Прочія простыя тѣла, какъ напр. сѣра, фосфоръ и др., встрѣчаются очень рѣдко въ органическихъ соединеніяхъ и потому мы умалчиваемъ объ анализѣ ихъ.

§ 236. Кромѣ описанныхъ нами разложеній, въ органическихъ тѣлахъ происходитъ также, такъ называемое, *свободное разложеніе органическихъ тѣлъ*. Свободное разложеніе органич. тѣлъ.

Самыя сложныя органическія соединенія, при извѣстныхъ обстоятельствахъ, подобно нѣкоторымъ неорганическимъ тѣламъ, распадаются на составныя части, которыя въ свою очередь могутъ также разлагаться при вліяніи новыхъ обстоятельствъ. Это, такъ сказать, свободное разложеніе органическихъ тѣлъ называютъ *гниеніемъ*. Для образованія гниенія необходимы извѣстныя условія, съ отсутствіемъ которыхъ не происходитъ обнаруженія его. Такъ напр. гниеніе совершается только при извѣстной температурѣ, между 0° и 100° Ц., и преимущественно между 20—30° Ц. Оно прекращается при температурѣ замерзанія и кипѣнія; происходитъ только въ присутствіи воды и требуетъ участія кислорода, хотя при самомъ началѣ своемъ; такъ напр., если началось гниеніе, то удаленіе кислорода отъ разлагающагося тѣла не остановитъ разложенія его. На изложенныхъ нами началахъ основанъ способъ сбереженія пищи, предложенный Аппертомъ и заключающійся въ сохраненіи веществъ, подверженныхъ гниенію, въ герметически закупоренныхъ жестяныхъ ящикахъ. Для этого подвергаютъ вещества кипяченію и по удаленіи паровъ, которые выгоняютъ воздухъ изъ ящика, быстро закупориваютъ послѣдній герметически. Находящіяся въ ящикахъ вещества сохраняются до тѣхъ поръ, пока кислородъ не имѣетъ къ нимъ доступа; съ прикосновеніемъ же кислорода начинается гниеніе, которое прекращается съ нагрѣваніемъ пищи до температуры кипѣнія.

Къ веществамъ наиболѣе подверженнымъ гниенію относятся составныя части животныхъ и растений, обладающія преимущественно азотомъ и сѣрою, и извѣстныя подъ названіемъ *бѣлковинныхъ веществъ*, какъ напр. бѣлковина, казеинъ, мускулы и т. д.

Продукты, получаемые при гніеніи, подобны тѣмъ, которые происходятъ отъ дѣйствія на тѣже тѣла сильныхъ кислотъ и оснований. Соединеніе тѣлъ, подверженныхъ гніенію, съ металлическими солями предотвращаетъ разложеніе.

**Броже-
ніе.** § 237. Если тѣло во время гніенія привести въ прикосновеніе съ другимъ органическимъ тѣломъ, неспособнымъ обнаруживать гніенія, то и послѣднее тѣло подвергается разложенію. Произведенное такимъ образомъ разложеніе втораго тѣла называютъ *броженіемъ*, а тѣло находящееся въ гніеніи и производящее гніеніе называется *ферментомъ*. Ферментъ самъ по себѣ обыкновенно не принимаетъ участія въ разложеніи тѣла, обнаруживающаго броженіе.

Одно и тоже тѣло, смотря по роду фермента и по вліянію обстоятельствъ, бываетъ подвержено разнообразнымъ разложеніямъ и даетъ поэтому различные продукты броженія. Такъ напр. тростниковый сахаръ, отъ прикосновенія съ различными ферментами, превращается въ виноградный сахаръ, въ маннитъ, въ сиртъ и др. тѣла.

Для опредѣленнаго, извѣстнаго разложенія, каждое тѣло требуетъ извѣстнаго состоянія самаго фермента.

Но кромѣ самаго фермента на продукты, образующіеся при броженіи, имѣетъ значительное вліяніе и температура.

Если тѣло, находящееся въ состояніи гніенія, прикасается къ кислороду, то послѣдній принимаетъ участіе въ разложеніи и тѣло, при пониженіи температуры, подвергается окисленію. Такъ напр. спиртъ при подобныхъ обстоятельствахъ переходитъ въ уксусъ. Обстоятельства благопріятствующія этому окисленію суть: 1) ферментъ, 2) присутствіе кислорода и 3) извѣстная температура. Всѣ обстоятельства, уничтожающія гніеніе, прекращаютъ также и окисленіе.

**Изомер-
ность
органич.
соедин.
неній.** § 238. Въ тѣлахъ неорганической природы попадаются соединенія *изомерныя*, т. е. соединенія, которыя при одинаковомъ химическомъ составѣ и одинаковомъ вѣсѣ составныхъ частей, имѣютъ различныя свойства и различный видъ. Въ тѣлахъ органическихъ такіа соединенія попадаются весьма часто. Какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ различіе основывается, по всей вѣроятности, на самомъ различіи группировки атомовъ.

**Теорія
органич.
соедин.
неній.** § 239. Изученіе органическихъ соединеній, по ихъ разнообразію, гораздо труднѣе изученія состава тѣлъ неорганическихъ. Какъ всякое изученіе становится лишь тогда только удобнымъ, когда оно приведено въ систему, поэтому и органическія тѣла старались привести въ систематическій порядокъ, который очевидно долженъ основываться на различіи составныхъ частей этихъ тѣлъ и на различіи расположенія послѣднихъ. Объ образѣ соединенія составныхъ частей органическихъ тѣлъ, въ настоящее время, существуютъ 3 теоріи:

- 1) Теорія радикаловъ.
- 2) Теорія замѣщений или типовъ.
- 3) Теорія ядеръ.

Изслѣдованія Берцеліуса и потомъ Либиха привели ихъ къ тому заключенію, что органическія вещества составлены по тѣмъ же простымъ законамъ, какъ и тѣла неорганическія, такъ напр. можно принять, что простая группа

атомовъ углерода и водорода составляетъ какъ бы начало, совершенно подобное по своимъ соединеніямъ съ простымъ тѣломъ или радикаломъ химіи неорганической. Для примѣра сравнимъ калий со сложнымъ радикаломъ земли, котораго химическій составъ = C_2H_4 , и обозначается знакомъ Ae.

Калій.

Окись калия (кали)
Водное кали
Двусѣрноокислосое кали
Уксуснокислосое кали

Земля.

Окись земли (земля)
Водная окись земли (спиртъ)
Двусѣрноокислая окись земли
Уксуснокислая окись земли (уксусный
земля)
Хлористый земля (голяной) земля.

Хлористый калий.

Значить сложный радикалъ, въ органической химіи, составляетъ совершенную аналогію съ простымъ радикаломъ химіи неорганической; поэтому, если бы мы могли найти радикалы всѣхъ органическихъ тѣлъ, тогда бы изложеніе органической химіи, было бы совершенно сходно съ изложеніемъ химіи неорганической, потому что, придерживаясь теоріи радикаловъ, сначала говорить объ его свойствахъ и добываніи радикаловъ, а потомъ объ соединеніяхъ ихъ между собою. Нѣкоторые сложные радикалы состоятъ изъ углерода и водорода, какъ напр. формиль, ацетиль и др. Есть радикалы иштетическіе, т. е. такіе, которые до сихъ еще не получены въ чистомъ видѣ; но тѣмъ не мѣнѣе существуютъ соединенія этихъ радикаловъ. Нѣкоторые радикалы рассматриваются какъ металлоиды, таковы напр. синеродъ; другіе же какъ металлы, напр. вольф, мессиль и др.

Теорія типовъ, оложенная своимъ происхожденіемъ французскому химіку Дюма, заключается въ слѣдующемъ: если изъ какого нибудь органическаго соединенія выдѣлится какая либо часть его, состоящая изъ простаго или сложнаго тѣла (исключая углерода) и мѣсто выдѣлившейся части заступитъ другое какое нибудь тѣло или соединеніе по числу паевъ равное съ выдѣлвшимся, то соединеніе вновь образовавшееся съ прежнимъ, относится къ одному типу; потому что тѣла эти обыкновенно имѣютъ сходныя физическія и химическія свойства. Слѣдовательно къ одному типу относятся собственно тѣла, имѣющія одинаковое число и расположеніе паевъ, на примѣръ альдегидъ и хлораль принадлежать къ одному типу.

Французскій химикъ Лоранъ относитъ тѣла, взаимно превращающіяся другъ въ друга и содержащія одинаковое число паевъ углерода, къ одному первоначальному тѣлу, которое и называетъ *лоромъ*. Ядро называется основнымъ, если оно состоитъ изъ углерода и водорода; если же водородъ весь или отчасти замѣненъ какими нибудь другими тѣлами, то ядро называется *производнымъ*. Всѣ химическія соединенія по теоріи ядеръ, происходятъ слѣдующимъ образомъ: а) отъ замѣненій, совершившихся въ самомъ ядрѣ, но съ сохраненіемъ того же типа; б) отъ соединенія ядра съ другими веществами и с) отъ того и другаго вѣстѣ.

Теорія ядеръ или зеренъ развита уже изъ теоріи типовъ.

§ 240. Не входя въ ближайшее изслѣдованіе органическихъ соединеній, мы дадимъ здѣсь понятіе о составныхъ частяхъ главнѣйшихъ растительныхъ и животныхъ тѣлъ и объяснимъ процессъ питания какъ растений, такъ и животныхъ.

Всѣ части растенія состоятъ изъ *клеточекъ*. Каждая клеточка имѣетъ видъ небольшого замкнутого со всѣхъ сторонъ пузырька, форма котораго при самомъ началѣ бываетъ шарообразная. Съ помощію увеличительнаго стекла нашли, что всѣ части растенія, невзирая на свое разнообразіе, образуются отъ соединенія множества клеточекъ, имѣющихъ различный видъ. Вещество, изъ котораго состоятъ клеточки, называется *древесной*.

При дальнѣйшемъ изслѣдованіи находятъ, что внутри клѣточекъ заключаются жидкости, въ которыхъ растворены различныя тѣла. Часто находятъ въ растительныхъ клѣточкахъ также твердыя частицы, отдѣляющіяся изъ жидкости.

На этомъ основаніи изслѣдованіе растительныхъ тѣлъ должно собственно заключаться въ разсмотрѣніи *древесины* и *веществъ* *наполняющихъ внутренность клѣточекъ*.

Древесина, составляющая главнѣйшую массу въ растеніяхъ, не разлагается ни въ водѣ, ни въ другой жидкости. На этомъ основана возможность отдѣлять отъ древесины прочія вещества, заключающіяся въ растеніи и растворимыя или въ водѣ, или въ другой жидкости. Очищенная вата и солома представляютъ уже довольно чистую древесину. При химическомъ анализѣ находятъ, что она состоитъ изъ 6 ч. углерода, 5 ч. водорода и 5 ч. кислорода ($C_6O_5H_5$). Древесина отъ дѣйствія огня сгораетъ и даетъ различныя газообразныя соединенія (воду и углекислоту), оставляя золу въ томъ случаѣ, если въ древесинѣ заключились неорганическія части. Но и при обыкновенной температурѣ происходитъ измѣненіе древесины, вслѣдствіе содѣйствія воздуха и воды. Если древесина въ видѣ дерева, соломы или листьевъ находится долгое время на воздухѣ, то она поглощаетъ въ себя влажность и принимаетъ постепенно бурый цвѣтъ. Образующійся при этомъ процессъ одинаковъ съ горѣніемъ, съ тою только разницею, что послѣдній совершается скоро, а первый весьма продолжительно.

При разложеніи, происходящемъ на воздухѣ, образуется также вода и углекислота.

Бурая или темная масса, происходящая отъ разложенія растительныхъ веществъ, какъ напр. травы, соломы, листьевъ и корней растений, называется *черноземомъ*.

Черноземъ, весьма важный для хлѣбопашества, образуется постоянно тамъ, гдѣ происходитъ разложеніе растительныхъ веществъ, такъ напр. въ лѣсахъ отъ разложенія падающихъ листьевъ и на такихъ поляхъ, гдѣ не собираютъ растений. Мало по малу разлагаются и черноземъ, оставляя послѣ себя небольшой остатокъ неорганическихъ тѣлъ, которыя остаются послѣ горѣнія въ видѣ золы.

Если растенія находятся въ водѣ и разложеніе происходитъ подъ водою, препятствующею доступу наружнаго воздуха, какъ напр. въ прудахъ и болотахъ, то въ такомъ случаѣ совершается *гниеніе*. И въ этомъ случаѣ кислородъ, находящійся въ древесинѣ, образуетъ съ водородомъ воду, а съ углеродомъ углекислоту. Но какъ этого кислорода находится немного и воздухъ, находящійся надъ водою, не можетъ пополнять количества его, то часть водорода соединяется съ кислородомъ и даетъ болотный газъ. Поэтому послѣ гніенія растеніе разлагается на воду, углекислоту и болотный газъ. И при этомъ случаѣ получается остатокъ, подобный чернозему и называемый торфомъ, который въ теченіи годовъ продолжаетъ также свое разложеніе. Что торфъ дѣйствительно происходитъ отъ гніенія болотныхъ

растений, мы можемъ убѣдиться на молодомъ торфѣ, гдѣ бывають даже видны слѣды растений, изъ которыхъ онъ образовался.

Древесина имѣетъ много примѣненій въ общежитіи: изъ ней приготавливаются ткани для бѣлья, бумага и многія другія издѣлія.

§ 241. Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію веществъ, заключающих-
ся въ клѣтчаткѣ. Для отдѣленія ихъ истирають и толкутъ части-
растений, и потомъ обливають водою или другими жидкостями, ко-
торыя въ состояніи растворить вещества, содержащія въ клѣточкѣ.

Если растереть нѣсколько картофельныхъ клубней по облитіи водою, выжимать, полученную такимъ образомъ, массу въ холщевой тряпочкѣ, то получимъ мутную жидкость, которая по отстоѣ дѣлается прозрачною и даетъ на днѣ сосуда осадокъ, называемый *крахмаломъ*. Жидкость удаляется прочь, а полученный осадокъ высушивается.

Если кипятить слитую жидкость, то при началѣ закипанія она мутится и при дальнѣйшемъ кипѣніи даетъ клочкообразное сѣроватое тѣло, которое отдѣляется отъ остальной жидкости съ помощію процеживанія. Полученное такимъ образомъ тѣло называется *растительной бѣлковиной*. Такимъ образомъ картофель, кромѣ древесины, оставшейся въ тряпочкѣ, заключаетъ два другія тѣла, изъ которыхъ одно нерастворимо въ водѣ — крахмалъ, а другое свертывается при кипяченіи воды — растительная бѣлковина. Первое изъ этихъ двухъ тѣлъ состоитъ изъ углерода, водорода и кислорода, а послѣднее, т. е. растительная бѣлковина, кромѣ того заключаетъ еще азотъ.

Если оставить на нѣсколько дней въ водѣ горсть гороху, то она разбухнетъ, послѣ того растирають горохъ и приливають столько воды, чтобы получилась масса на подобіе жидкой каши. Массу эту выжимають въ тряпочкѣ и поступая по предъидущему, получаютъ крахмалъ и растительную бѣлковину. Если же въ жидкость, изъ которой въ осадкѣ получился крахмалъ, а по кипяченіи и процеживаніи — растительная бѣлковина, влить нѣсколько капель кислоты, то отдѣляется еще тѣло, имѣющее видъ бѣлыхъ клочьевъ и называемое *растительнымъ казеиномъ*. Тѣло это содержитъ также азотъ, но не можетъ быть отдѣлено подобно бѣлковинѣ чрезъ кипяченіе, а требуетъ для своего образованія участія кислоты.

Если сдѣлать тѣсто изъ пшеничной муки и воды и потомъ выжимать его въ тряпочкѣ, постоянно приливая воды до тѣхъ поръ, пока стекающая жидкость не утратитъ молочнаго цвѣта, то мы найдемъ въ послѣднемъ присутствіе крахмала и растительной бѣлковины. Въ тряпочкѣ же выѣстъ съ древесиной остается вязкая, клейкая масса, называемая *растительнымъ клеемъ*. Растительный клей содержитъ также азотъ, но не растворяется въ водѣ.

Мы выбрали нарочно такіе опыты, которые могли познакомить насъ съ растительными веществами, играющими важнѣйшую роль между тѣлами, служащими пищею человѣку и животнымъ.

Они раздѣляются на

1) *безазотистыя тѣла*:

древесина и
крахмалъ;

2) *азотистыя тѣла*:

растительная бѣлковина,
казеинъ и
растительный клей.

Вещества эти заслуживаютъ особеннаго вниманія.

§ 242. О древесинѣ мы уже говорили выше.

Безазо-
тистыя
тѣла.

Крахмалъ = $C_6H_{10}O_5$ заключается во многихъ частяхъ растений, преимущественно зернахъ хлѣбныхъ растений, въ картофели, во многихъ плодахъ (яблокахъ, грушахъ), въ сердцевинѣ пальмы, въ меньшемъ количествѣ въ корѣ и сердцевинѣ другихъ деревьевъ, равно какъ и въ корняхъ (отъ осени до весны).

Въ холодной водѣ крахмалъ нерастворимъ, а въ кипяткѣ даетъ студенистую массу, которая, какъ извѣстно, употребляется для склеиванія и для бѣлья; крахмалъ, находящійся въ торговлѣ, преимущественно добывается изъ картофеля и пшеничной муки.

Крахмалъ есть собственно чистѣйшая мука.

Если нагревать смоченный крахмалъ въ ложкѣ, постоянно мѣшая его до тѣхъ поръ, пока онъ не будетъ сухъ, то получаются твердые шарики, которые отъ облитія водою взбухаютъ и дѣлаются студенистыми — это *саго*. Разбуханіе риса и другихъ растительныхъ веществъ, употребляемыхъ для питанія, основано на содержащіхъ въ нихъ азота.

Крахмалъ превращается въ камедь и сахаръ: это достигается съ помощію нагреванія крахмала съ водою и участія сѣрной кислоты, которая удаляется потомъ отъ прибавленія къ нагреваемой жидкости мѣлу; послѣдній даетъ съ сѣрной кислотой нерастворимый осадокъ — *гипс*. Для полученія камеди необходимо слабое, а для сахара — сильнѣйшее нагреваніе; въ первомъ случаѣ нагревается вода съ крахмаломъ и приливается потомъ кислота, а во второмъ случаѣ прибавляется крахмалъ къ смѣси воды съ сѣрной кислотой.

Камедь есть вещество, дающее въ водѣ прозрачный, клѣйкій растворъ.

Въ зернахъ хлѣбныхъ растений находится вещество *диастазъ*, обладающее также способностію превращать крахмалъ въ камедь и сахаръ. Вещество это получается на пивоваренныхъ заводахъ изъ солода.

Подобныя измѣненія совершаются сами собою въ растеніяхъ, такъ напр. яблоки и груши въ неспѣломъ состояніи заключаютъ крахмалъ. По созрѣваніи ихъ крахмалъ исчезаетъ и сладкій вкусъ плодовъ показываетъ, что онъ превратился въ камедь и сахаръ.

Азоти-
стыя
тѣла.

§ 243. *Азотистыя вещества*, называемыя также *бѣлковинными*, сходны между собою въ томъ отношеніи, что кромѣ углерода, водорода и кислорода заключаютъ азотъ и незначительное количество

сѣры, а иногда и фосфора. На 100 частей одного изъ этихъ тѣлъ находится 53 ч. углерода, 7 ч. водорода, 22 ч. кислорода, 16 ч. азота и $\frac{1}{2}$ —2 ч. сѣры.

Замѣчательно, что эти тѣла, подобно предъидущимъ, заключаются не только въ растеніяхъ, но входятъ въ составъ мяса, мозга и другихъ животныхъ веществъ.

Въ растеніяхъ и животныхъ они первоначально растворены въ водѣ, слѣдовательно находятся въ жидкомъ состояніи; при вліяніи же химической дѣятельности, совершаемой въ организмъ, и при содѣйствіи теплоты они переходятъ въ твердое, нерастворимое состояніе.

Бѣлковина, первоначально растворимая въ водѣ, отъ нагрѣванія дѣлается твердою и нерастворимою; она содержитъ въ примѣси незначительное количество фосфора. Овощныя растенія, равно какъ и маслянистыя сѣмена маку, полевой рѣпы, льну, наиболѣе богаты бѣловиной. Въ особенности же изобилуютъ бѣловиной яйца и кровь животныхъ. Она принадлежитъ къ числу питательныхъ веществъ и мы употребляемъ ее подъ различными формами.

Казеинъ, отличающійся отъ бѣловины тѣмъ, что онъ свертывается въ водѣ только отъ содѣйствія кислоты, входитъ въ составъ гороху, бобовъ, чечевицы и вообще растеній покрытыхъ шелухой. Молоко заключаетъ также значительное количество казеина. Послѣдній свертывается тотчасъ отъ прилитія къ молоку нѣсколькихъ капель кислоты. Если молоко скиснетъ, то казеинъ превращается тотчасъ въ твердое состояніе. Свертываніе молока предупреждаютъ прилитіемъ къ нему нѣсколькихъ капель ѣдкаго кали.

Растительный клей въ водѣ совершенно не разлагается; онъ входитъ въ значительномъ количествѣ въ составъ зеренъ хлѣбныхъ растеній. Въ животныхъ тѣлахъ, подъ именемъ фибрина, онъ составляетъ красную массу мускуловъ или мяса. Изъ крови онъ отдѣляется при охлажденіи послѣдней.

§ 244. Всѣ эти тѣла подвержены также свободному разложенію. Возьмемъ немного гороху, заключающаго преимущественно растительный клей и казеинъ, и обольемъ его въ бутылкѣ водою. Бутылку эту посредствомъ стеклянной трубки соединяютъ съ другою, въ которой налито немного воды. Если оставить обѣ бутылки въ тепломъ мѣстѣ, то составленная нами масса начнетъ разлагаться, при чемъ въ бутылку съ водою будутъ переходить пузырьки воздуха. Приливая въ послѣднюю бутылку немного известковой воды, найдемъ присутствіе *углекислоты*, а съ помощію другаго приема найдемъ также присутствіе *сѣрнистаго водорода*. Кромѣ того можно доказать, что въ бутылкѣ съ горохомъ происходитъ отдѣленіе *амміака*.

Изъ этихъ опытовъ видно, что азотистыя тѣла должны состоять изъ углерода, кислорода, водорода, азота и сѣры. При разложеніи азотистыхъ веществъ

кислородъ съ углеродомъ даетъ углекислоту,	
водородъ съ сѣрою	» сѣрнистый водородъ,
водородъ съ азотомъ	» амміакъ.

Амміакъ и сѣрнистый водородъ производятъ преимущественно тотъ непріятный запахъ, который обыкновенно распространяется азотистыми тѣлами при гніеніи; по этому запаху узнаются также азотистыя тѣла.

Такимъ образомъ химія показываетъ намъ, что, кромѣ вещества составляющаго клѣтчатку, главнѣйшія составныя части всѣхъ растеній и животныхъ суть:

крахмалъ,	}	безазотистыя вещества,
камедь,		
сахаръ,		
бѣлковина,	}	азотистыя вещества,
казенинъ,		
растительный клей,		

и что эти вещества состоятъ частію изъ углерода, водорода и кислорода, частію также и изъ азота и сѣры (фосфора). Во все продолженіе существованія растенія и животнаго, составъ этихъ веществъ поддерживается взаимною дѣятельностію всѣхъ частей каждаго органическаго тѣла. Съ прекращеніемъ этой дѣятельности или, лучше сказать, съ прекращеніемъ существованія органическаго тѣла, происходитъ разложеніе веществъ, составлявшихъ его. Кислородъ воздуха, вода заключающаяся въ атмосферѣ, и теплота снаружи суть условія, содѣйствующія разложенію и помогающія гніенію растеній и животныхъ. Разложенныя тѣла даютъ снова соединенія уже простѣйшаго состава.

Вещества азотистыя разлагаются еще легче противу безазотистыхъ. Если безазотистое тѣло приходитъ въ прикосновеніе съ азотистымъ, уже находящимся въ гніеніи, то и первое начинаетъ также разлагаться. Замѣчательно при этомъ, что бѣлковина, казенинъ и растительный клей производятъ особенное разложеніе сахара.

§ 245. Мы не останавливаемся здѣсь на этихъ разложеніяхъ, производящихъ превращеніе сахара въ винный спиртъ, уксусъ и эфиръ, а переходимъ къ краткому обозрѣнію тѣхъ *особенныхъ частей*, которыя принадлежатъ исключительно каждому роду растеній и обуславливаютъ особенный запахъ, вкусъ и другія качества послѣднихъ. Число этихъ частей, раздѣляемыхъ обыкновенно по химическимъ ихъ свойствамъ на кислоты, основанія, жиры, летучія масла, смолы и красящія вещества, весьма велико и мы только укажемъ на свойства важнѣйшихъ изъ нихъ.

§ 246. *Органическія кислоты*, встрѣаемыя въ растеніяхъ, узнаются по кислому вкусу, который онѣ утрачиваютъ по соединеніи съ другими веществами. Многія изъ этихъ кислотъ, какъ напр. уксусная, весьма рѣдко попадаютъ готовыми въ сокъ растеній, но получаютъ какъ продуктъ гніенія и сухой перегонки дерева или другихъ веществъ. Къ извѣстнѣйшимъ кислотамъ принадлежатъ: винная кислота $C_4H_4O_6$, лимонная кислота $C_{12}H_{10}O_{11}$, яблочная кислота $C_4H_4O_4$, дубильная кислота $C_6H_8O_5$ и т. д.

§ 247. Къ *органическимъ основаніямъ* относятся тѣла легко соеди- Органи-
ческія
основа-
нія.
няющіяся съ кислотами, для образованія составнаго тѣла. Они со-
стоятъ почти всѣ изъ 3 или 4 простыхъ тѣлъ: углерода, водорода,
азота и кислорода; нерастворимы въ водѣ; растворимы въ винномъ
спиртѣ; не имѣютъ ни цвѣта, ни запаха; но большею частію горьки
на вкусъ. Почти всѣ попадаютъ въ растенійхъ отличающихся или
ядовитыми или целѣбными своими свойствами; это заставляетъ насъ
предполагать, что свойства послѣднихъ зависятъ отъ качествъ, за-
ключающихся въ нихъ основаній. Въ растеніяхъ они соединены съ
органическими кислотами и для полученія въ чистомъ видѣ должны
быть отдѣлены отъ послѣднихъ. Къ числу основаній принадлежатъ
хининъ, морфинъ, кофеинъ, никотинъ (въ табакѣ).

§ 248. *Жиръ и жирныя масла* извѣстны каждому, даже незави- Жиръ и
жирныя
масла.
мому химіею. Вещества эти употребляются въ пищу и для
освѣщенія; въ жидкомъ состояніи ихъ называютъ *жирными маслами*,
въ мягкомъ — собственно *жирами* и, наконецъ, въ болѣе твердомъ —
саломи.

Они отличаются своею липкостію; не растворяются въ водѣ, а рас-
творяются въ спиртѣ и преимущественно въ эфирѣ. Масла на воз-
духъ поглощаютъ кислородъ и пріобрѣтаютъ чрезъ то прогорклый
запахъ и вкусъ; нѣкоторые изъ нихъ при этомъ густѣютъ, а другія
твердѣютъ и высыхаютъ. Первые изъ нихъ употребляются для под-
мазки, а послѣднія для лаковъ.

Масло испаряется затруднительно, даже и при содѣйствіи тепло-
ты. При сильной степени жара начинаетъ оно кипѣть и переходитъ
въ пары, состоящіе изъ разложеннаго масла. Въ этомъ состояніи
оно горитъ, отдѣляя свѣтлое пламя; вотъ почему и употребляютъ
масла для освѣщенія. Водой нельзя потушить горящаго масла или
сала, потому что вода, вслѣдствіе жара, превращается мгновенно въ
пары.

По химическому составу вещества эти состоятъ изъ углерода, во-
дорода и гораздо менѣе кислорода; слѣдовательно принадлежатъ къ
безазотистымъ веществамъ.

Жирныя кислоты весьма важны въ техническомъ отношеніи по
соединеніямъ ихъ съ натромъ и кали для образованія *мыла*.

§ 249. Кромѣ жирныхъ маселъ встрѣчаются въ растеніяхъ, листь- Летучія
масла.
яхъ, цвѣтахъ и плодахъ, такъ называемыя, *летучія* или *эфирныя*
масла. Самое названіе произошло отъ способности ихъ постепенно
испаряться. Одни изъ нихъ состоятъ изъ углерода и водорода, дру-
гія въ тоже время изъ кислорода, а нѣкоторые, кромѣ этихъ частей,
заклываютъ еще сѣру и азотъ. Къ числу довольно извѣстныхъ маселъ
принадлежатъ терпентинное, гвоадичное, розовое и многія другія.

§ 250. Если летучее масло оставить въ продолженіи извѣстнаго Смоли.
времени на воздухѣ, то оно превращается мало по малу въ *смолу* —
клейкое, нелетучее тѣло. Такъ наприм. если терпентинное масло
 $=C_{10}H_{16}$ подвержено извѣстное время дѣйствию воздуха, то одинъ пай

кислорода съ паемъ водорода даетъ воду и остается $C_{10}H_{15}$. Къ этому присоединяется пай кислорода и получается смола $= C_{10}H_{15}O$.

Смолы распространены въ достаточномъ количествѣ въ растительномъ царствѣ. Если оторвать кусокъ коры отъ ели или сосны, то показываются наружу густыя, жидкія капли смолы, которыя спустя нѣкоторое время твердѣютъ на воздухѣ. Обыкновенно смолы находятся въ смѣшеніи съ летучими маслами, въ которыхъ онѣ растворяются. Этимъ объясняется жидкое состояніе смолъ; на воздухѣ летучія масла улетучиваются и смолы твердѣютъ. Примѣсь летучихъ маселъ служитъ причиною запаха смолъ. Смолы растворимы въ винномъ спиртѣ и не растворяются въ водѣ. Обыкновенно въ смолахъ заключается примѣсь воды, которая удаляется отъ нихъ нагреваніемъ; при этомъ получается прозрачная смола, называемая *канифолью*.

Смолы состоятъ изъ углерода, водорода и кислорода. На этомъ составѣ основывается горючесть ихъ; по причинѣ большаго содержанія водорода онѣ горятъ съ особенно сильнымъ пламенемъ; но въ тоже время даютъ много сажн, потому что при сильномъ горѣніи водорода происходитъ меньшее сгараніе углерода.

Красящія вещества.

§ 251. *Красящія вещества* служатъ причиною разнообразія цвѣтовъ, представляемыхъ намъ различными частями растений. Составныя части ихъ соединены такъ слабо между собою, что разлагаются отъ дѣйствія свѣта и при высыханіи растений. Хлоръ дѣйствуетъ на нихъ разрушительно. Химическій составъ красящихъ веществъ неопредѣленъ еще съ точностію и только немногія изъ нихъ удалось выдѣлить изъ растений въ кристаллическомъ состояніи.

Неорганическія части растений.

§ 252. Но кромѣ изложенныхъ нами веществъ, въ растеніяхъ заключаются еще другія *неорганическія тѣла*.

Мы уже говорили, что многочисленныя растительныя вещества составлены преимущественно изъ ограниченнаго числа простыхъ тѣлъ: кислорода, водорода, азота, углерода, сѣры и фосфора. Всѣ эти вещества при горѣніи соединяются и даютъ воздухообразные продукты. Если бы растенія состояли исключительно изъ этихъ простыхъ тѣлъ, то при горѣніи они бы должны были превращаться совершенно въ воздухообразныя тѣла. Опытъ же показываетъ намъ противное. Такъ напр., сжигая растеніе, мы получаемъ несгораемый остатокъ, называемый обыкновенно золою. По химическомъ изслѣдованіи послѣдней, кромѣ упомянутыхъ выше простыхъ тѣлъ, находимъ въ ней слѣдующія части: кали, натръ; известъ, магнезію, желѣзную окись, также углекислоту, кремневую кислоту, сѣрную кислоту, фосфорную кислоту и соляную кислоту. Всѣ эти парныя соединенія принадлежать къ неорганическимъ тѣламъ. Въ золѣ всѣ они соединены различнымъ образомъ между собою и образуютъ много разныхъ солей. Изъ этого мы заключаемъ, что растенія должны заключать тѣ тѣла, изъ которыхъ образованы соли.

Но при этомъ должно замѣтить, что не во всѣхъ растеніяхъ встрѣчается одинаковое количество этихъ солей: въ одномъ родѣ растений преобладаютъ одні, а въ другомъ — другія соли. Одинаковые же роды растений даютъ одинаковыя соли и большею частию приблизительно въ одинаковомъ количествѣ. Изъ этого слѣдуетъ, что каждый родъ растений требуетъ извѣстныхъ неорганическихъ веществъ для поддержанія своей жизни и что онъ не можетъ произрастать на такой почвѣ, гдѣ не заключается веществъ, прямо свойственныхъ роду растенія.

По содержанію золы земледѣльческія растенія раздѣляютъ на 1) *щелочныя растенія*, т. е. такія, въ золѣ которыхъ заключаются преимущественно соли кали и натра, какъ напр. картофель; 2) *известковыя растенія*, напр. горохъ; 3) *кремневыя растенія*, къ которымъ принадлежатъ травы, и 4) *фосфорныя растенія*, какъ рожь и пшеница. Но при этомъ раздѣленіи не должно предполагать, чтобы въ щелочныхъ растеніяхъ заключались только соли кали и натра, а въ известковыхъ растеніяхъ — известковыя соли. Кромѣ того не должно упускать изъ виду, что составныя части золы всегда составляютъ только малую часть всего вещества растеній.

§ 253. Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію *питанія растеній*.

Питаніе
расте-
ній.

Изъ разсмотрѣнія состава растеній слѣдуетъ, что они подобно животнымъ должны принимать въ себя пищу. Это принятіе пищи совершается въ растеніяхъ чрезъ множество тонкихъ отверстій, невидимыхъ для глаза, неворуженнаго увеличительнымъ стекломъ. Изъ земли растенія принимаютъ пищу чрезъ посредство корня, между тѣмъ какъ листья служатъ имъ для сообщенія питающихъ веществъ съ атмосферою и для выдѣленія веществъ уже ненужныхъ для организма.

Если поставить корень какого нибудь растенія въ сосудъ съ водою, то мы замѣтимъ, что количество воды уменьшится; если же только что отрубленную отъ дерева вѣтку съ листьями поставить подъ стеклянный колоколъ, то покажется влажность на внутреннихъ стѣнкахъ стекла. Ясно, что убыль воды въ первомъ случаѣ служитъ доказательствомъ поглощенія ея корнемъ, между тѣмъ какъ влажность на стѣнкахъ показываетъ, что листья выдѣляютъ отъ себя водяной паръ.

Только въ недавнее время опредѣлено, изъ какихъ веществъ состоитъ пища, принимаемая растеніями. На этотъ вопросъ ученые могли отвѣтить только тогда удовлетворительно, когда съ точностію были опредѣлены ими вещества, входящія въ составъ растеній.

Въ цѣлой природѣ мы не находимъ ни одного примѣра, чтобы какое нибудь тѣло могло образоваться само собою изъ ничего; тоже самое мы можемъ сказать и о тѣлахъ входящихъ въ составъ растеній, а это приводитъ насъ къ тому заключенію, что *растенія должны принимать въ пищу тѣ самыя тѣла, которыя входятъ составными частями въ ихъ организмъ*.

Всѣ же растительныя тѣла, за выключеніемъ незначительной примѣси неорганическихъ веществъ, встрѣчаемыхъ въ золахъ, состоятъ изъ углерода, водорода, кислорода и азота. Эти-то тѣла и должно принимать въ себя растеніе снаружи. Какимъ же путемъ входятъ въ организмъ растенія эти вещества? Для двухъ изъ нихъ легко найти удовлетворительный отвѣтъ. Каждое растеніе принимаетъ въ себя значительное количество воды, безъ которой оно, какъ показываетъ наблюденіе, существовать не можетъ. Вода же состоитъ изъ кислорода и водорода, и поэтому, принимая воду, растеніе будетъ принимать въ себя и эти вещества. Вотъ почему всякое растеніе требуетъ содѣйствія или дождя или поливанія. Кромѣ того ему служатъ также питаніемъ и водяные пары, заключающіеся въ воздухѣ. Этимъ объясняется важность росы для растеній въ жаркихъ климатахъ, гдѣ бываетъ недостатокъ въ дождяхъ. А какъ во многихъ случаяхъ растенія принимаютъ воды болѣе, нежели сколько нужно для ихъ питанія, то большая часть послѣдней отдѣляется чрезъ листья.

Углеродъ принимаютъ растенія въ видѣ *углекислоты*, доставляемой имъ атмосфернымъ воздухомъ и водою, падающею на нихъ въ видѣ дождя. Кромѣ того мы знаемъ, что черноземъ богатъ углекислотою, образующеюся въ немъ отъ разложенія тѣлъ; въ этомъ случаѣ углекислота всасывается корнемъ.

Количество углекислоты, поглощаемое растеніями изъ воздуха, доставляется послѣднимъ процессомъ дыханія животныхъ, равно какъ горѣніемъ и разложеніемъ различныхъ тѣлъ.

Остается теперь азотъ, необходимый для извѣстныхъ частей растеній. Это тѣло принимаютъ растенія въ видѣ амміака (NH_3), состоящаго, какъ мы уже знаемъ, изъ азота и водорода. При гніеніи и разложеніи органическихъ веществъ, отъ соединенія послѣднихъ тѣлъ всегда образуется амміакъ. Амміакъ этотъ соединяется съ углекислотою и даетъ углекислый амміакъ — газъ улетучивающійся въ воздухъ. Изъ воздуха падаетъ онъ съ дождемъ и снѣгомъ на землю, гдѣ всасывается черноземомъ, глиною и другими почвами, изъ которыхъ извлекается корнями растеній вмѣстѣ съ водою.

Поэтому вещества, составляющія питаніе растеній, состоятъ изъ
 воды,
 углекислоты и
 амміака.

Эти вещества заключаютъ простыя тѣла, необходимыя для образованія растеній. Они разлагаются растеніями, посредствомъ неизвѣстнаго для насъ еще процесса, на простыя тѣла, изъ которыхъ уже образуются новыя вещества: крахмалъ, бѣлковина, растительный клей и др.

Какъ растенія принимаютъ въ себя два вещества, заключающія кислородъ, то легко догадаться, что растенія получаютъ болѣе кислорода, нежели сколько имъ необходимо. И въ самомъ дѣлѣ, излишній кислородъ выдѣляется растеніями. При *содѣйствіи свѣта* происходитъ въ растеніяхъ разложеніе углекислоты и выдѣленіе кислоро-

да. Такимъ образомъ кислородъ, извлекаемый изъ воздуха животными при дыханіи, возвращается снова въ атмосферу растеніями изъ поглощенной ими углекислоты.

Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что всѣ вещества, принимаемыя для питанія растеніями, доставляются имъ воздухомъ. Какимъ же образомъ объяснить себѣ удобреніе полей, доставляющее, какъ показываетъ опытъ, большое пособіе урожаю растеній.

Это основывается на томъ, что растенія преимущественно питаются посредствомъ всасываній, производимыхъ корнями. Этому всасыванію наиболѣе содѣйствуетъ черноземъ, какъ такая почва, которая обнаруживаетъ особенную способность къ поглощенію изъ воздуха водяныхъ паровъ и амміака. Къ тому же должно присовокупить, что въ навозѣ и въ черноземѣ происходитъ постоянное разложеніе, вслѣдствіе котораго въ обоихъ этихъ тѣлахъ образуется вода, углекислота и амміакъ, прямо всасываемые корнями растеній.

Но при этомъ рождается еще вопросъ — отчего же извѣстными родамъ растеній благопріятствуетъ одна, а не другая почва, не взирая на одинаковость климатическихъ условій? Отчего поле послѣ нѣсколькихъ лѣтъ постоянного засѣва дѣлается негоднымъ для извѣстнаго рода растеній, тогда какъ другія растенія могутъ быть съ успѣхомъ обрабатываемы на немъ?

Для отвѣта на эти вопросы мы должны припомнить, что растенія заключаютъ въ себѣ такіа неорганическія части, которыя не могутъ быть уже доставляемы имъ водою, углекислотою и амміакомъ. Мы говоримъ здѣсь о тѣхъ неорганическихъ соляхъ, которыя находятся въ золѣ растеній. Очевидно, что матеріалы и для этихъ тѣлъ должны быть принимаемы растеніями снаружи.

Эти вещества, какъ напр: известъ, кремнеземъ, кали, натръ и др., принимаются растеніями изъ земли. И въ самомъ дѣлѣ, многія земли, находящіяся на земной поверхности, заключаютъ въ себѣ эти тѣла.

Земли подлежатъ процессу постоянного разложенія, при которомъ образуются новыя соединенія, растворимыя въ водѣ; послѣднія же доставляютъ ихъ корнямъ растеній.

Какъ извѣстныя растенія требуютъ преимущественно кали, другія — натра, третія — извести, то очевидно, что каждому изъ этихъ растеній можетъ приличествовать наиболѣе та почва, въ которой заключается достаточное количество соотвѣтствующихъ ему веществъ и что растеніе не можетъ существовать на той почвѣ, гдѣ этихъ веществъ не достаетъ.

Потому, если хотятъ доставить растенію надлежащую почву, то должно сперва опредѣлить, какія соли заключаются въ его золѣ и потомъ изслѣдовать, заключаются ли эти соли въ достаточномъ количествѣ въ извѣстной почвѣ.

Точно также можно легко объяснить, почему извѣстный родъ растеній, дававшій въ продолженіи извѣстнаго времени урожай на одномъ и томъ же полѣ, наконецъ не можетъ произрастать съ успѣхомъ на той же почвѣ. Это прекращеніе успѣшнаго урожая произ-

ходить тогда, когда растенія извлекаютъ изъ почвы всѣ вещества необходимыя для нихъ. Также самая почва очевидно можетъ быть еще годна для другого рода растеній, которые требуютъ другихъ неорганическихъ частей, могущихъ еще заключаться въ почвѣ. Впослѣдствіи на той же почвѣ можетъ произрастать и первый родъ растеній, потому что современемъ, вслѣдствіе разложенія земель, можетъ образоваться въ нихъ новый запасъ веществъ, необходимыхъ этому роду растеній. На этомъ основана, такъ называемая, *плодоперемѣнная система* хлѣбопашества, вслѣдствіе которой послѣ засѣва полей щелочными растеніями, должно сѣять на нихъ вторично кремневыя и т. д.

Чтобы дать почвѣ болѣе возможности къ произрастенію извѣстныхъ родовъ растеній, помогаютъ ей *удобреніемъ*.

Удобреніе заключается собственно въ доставленіи почвѣ такихъ минеральныхъ веществъ, какъ напр. известь, кали, натръ, кремнеземъ, фосфорная кислота и другія. На этомъ основаніи посыпаютъ поля известью, гипсомъ, древесною золою и т. п.; при этомъ очевидно должно имѣть въ виду, какой родъ веществъ соотвѣтствуетъ роду растеній, для котораго предназначается поле.

Помогъ животныхъ заключаетъ также упомянутыя нами выше соли и потому служитъ превосходнымъ средствомъ для удобрения полей и садовъ. Навозъ животныхъ, питающихся овсомъ, наиболѣе служитъ для посѣвовъ овса, потому что въ этомъ навозѣ заключаются именно тѣ соли, которые необходимы для овса.

Питаніе
живот-
ныхъ.

§ 254. Перейдемъ теперь къ химическому разсмотрѣнію животныхъ тѣлъ, и для того бросимъ бѣглый взглядъ на процессъ питанія животныхъ и преимущественно человека.

Жизнь животныхъ подобно жизни растеній представляетъ рядъ постоянныхъ, непрерывныхъ химическихъ процессовъ. Какъ человекъ, такъ и животныя принимаютъ въ себя извѣстные вещества, которые подвергаются въ организмѣ ихъ химическимъ измѣненіямъ и превращаются въ составныя части ихъ организмовъ. Пища, принимаемая ртомъ человека, проводится чрезъ особенный каналъ, называемый *пищеводомъ*, въ желудокъ. Въ самомъ рту пища смачивается слюною, а въ желудкѣ жидкостію, отдѣляемою стѣнками его и называемою *желудочнымъ сокомъ*. При выходѣ изъ желудка пища соединяется съ *желчью*, которая вырабатывается печенью, и съ *сокомъ*, такъ называемою, *поджелудочной желчью*. Кромѣ того самая кишка пищеварительнаго канала сообщаетъ пищѣ различныя жидкости.

Всѣ эти жидкости, приѣмляемыя къ пищѣ, растворяютъ ее и дѣлаютъ жидкою. Жидкости эти состоятъ изъ воды, въ которой растворены различныя кислоты и соли. Частицы пищи, нерастворимыя водою, растворяются кислотами, а части нерастворимыя ими, не могутъ служить для питанія (за выключеніемъ жира). Въ желудкѣ пища превращается въ однородную массу, называемую *кашицею*, которая разрѣшается въ кишечномъ каналѣ и при содѣйствіи, опи-

санныхъ нами жидкостей, преобразовывается наконецъ въ густой бѣлаго (молочнаго) цвѣта сокъ, называемый *млечнымъ сокомъ*. Этотъ сокъ всасывается стѣнками кишокъ, а изъ послѣднихъ особенными *млечными сосудами*, вѣтви которыхъ соединяются въ одинъ общій каналъ, называемый *груднымъ протокомъ*. Грудной протокъ соединяется съ одною изъ жилъ, проводящихъ кровь въ правую половину сердца. Химическое измѣненіе; претерпѣваемое сокомъ въ млечныхъ сосудахъ, постоянно приближаетъ его къ составу крови.

Такимъ образомъ *изъ крови должны находиться составныя части тѣхъ веществъ, которыя мы принимаемъ въ пищу*.

Вслѣдствіе сжиманій сердца кровь, находящаяся въ лѣвой половинѣ его, вливается сперва въ большую жилу называемую *аортою*. Последняя раздѣляется скорѣ на многія меньшія трубки (артерій), изъ которыхъ каждая развѣтвляется на мельчайшія части. Последнія вѣтви аорты; разносящія кровь къ мускуламъ, костямъ, кожѣ и другимъ частямъ организма, по чрезвычайной тонкости своей, называются *волосными сосудами*. Сосуды эти соединяются между собою и изъ соединенія ихъ образуются жилы, называемыя *венами*. Последнія образуютъ два различные ствола (нижній и верхній), изъ которыхъ кровь обратно вливается въ сердце, въ правую его сторону. Но кровь, заключающаяся въ венахъ, отлична отъ крови артерій, въ чемъ уже можно убѣдиться изъ самаго цвѣта ея: во первыхъ, она бываетъ темнокраснаго, а во вторыхъ, свѣтлоокраснаго (алаго) цвѣта. Это преобразование крови произошло въ волосныхъ сосудахъ. Изъ стѣнокъ волосныхъ сосудовъ составныя части крови переходятъ къ частямъ тѣла примыкающимъ къ ихъ стѣнкамъ, мускуламъ, кожи, нервамъ, костямъ и др. Взаимнъ того испорченныя вещества, отдѣляемыя этими частями, переходятъ во внутренность волосныхъ трубокъ и смѣшиваются тамъ съ кровію: такимъ образомъ въ волосныхъ сосудахъ происходитъ постоянное измѣненіе составныхъ частей крови. Вещества артеріальной крови, удѣляемыя волосными сосудами кожѣ, костямъ, претерпѣваютъ въ послѣднихъ дальнѣйшія химическія измѣненія. Изъ нихъ образуются собственно кожа, кости и другія части тѣла. Эти части въ свою очередь подвержены измѣненіямъ: отдѣляемыя отъ нихъ вещества, какъ мы уже сказали, переходятъ въ венозную кровь.

Эти вещества всасываются изъ крови посредствомъ нѣкоторыхъ отдѣльныхъ органовъ и выдѣляются изъ организма (почками и др.). Отъ нѣкоторыхъ же частей кровь освобождается посредствомъ легкихъ. Последнее очищеніе крови совершается слѣдующимъ образомъ. Возвратившаяся въ сердце кровь прежде новаго своего обращенія направляется къ легкимъ. Множество вѣтвей жилъ, приводящихъ ее къ легкимъ, снова соединяются между собою и возвращаются къ лѣвой сторонѣ сердца. Легкія состоятъ собственно изъ вѣтвей дыхательнаго горла, къ которымъ примыкаютъ развѣтвленія тончайшихъ жилъ, идущихъ отъ сердца. Развѣтвленія горла и жилъ разъединяются между собою тончайшими плевами, въ которыхъ происходитъ процессъ эндосмоса

между кровію и наружнымъ воздухомъ, проникающимъ туда посредствомъ вдыханія. Исслѣдованія надъ выдыхаемымъ воздухомъ показали, что онъ отличается большимъ содержаніемъ углекислоты и водяныхъ паровъ и меньшимъ количествомъ кислорода.

Прежде полагали, что образованіе, выделяемой нами, углекислоты происходило въ легкихъ вслѣдствіе соединенія кислорода воздуха съ углеродомъ крови. Но точнѣйшія исслѣдованія, въ позднѣйшее время, показали, что венозная кровь, возвращающаяся къ сердцу, прежде достиженія легкихъ, заключаетъ въ себѣ достаточное количество углекислоты. Слѣдовательно въ легкихъ кровь выделяетъ углекислоту и поглощаетъ кислородъ. По принятіи кислорода кровь принимаетъ алый цвѣтъ и возвращается снова къ сердцу. При дальнѣйшемъ же своемъ движеніи въ волосныхъ сосудахъ кровь, какъ мы уже сказали, отдаетъ различнымъ частямъ тѣла питательныя вещества и въ замѣнъ того принимаетъ выделяющіеся отъ нихъ частицы, при разложеніи которыхъ образуется углекислота и вода.

Изъ всего сказаннаго нами слѣдуетъ, что *всѣ питательныя вещества предварительно превращаются въ кровь, изъ которой въ свою очередь принимаютъ питаніе всѣ части тѣла.*

Поэтому мы займемся прежде всего разсмотрѣніемъ химическаго состава крови.

Кровь. § 255. Кровь состоитъ изъ жидкости, въ которой плаваютъ частію пузырьки, заключающіе красное вещество внутри, а частію бѣлыя, зернистыя шарики. Какъ пузырьки, такъ и шарики, не могутъ быть замѣчены въ крови простымъ глазомъ безъ помощи увеличительнаго стекла.

Если дать отстояться крови отдѣленной отъ организма, то часть ея свертывается въ темнокрасную массу, между тѣмъ какъ осталая часть образуетъ желтую жидкость, называемую сукровицею или пасокою. При ближайшемъ исслѣдованіи темнокрасной массы находятъ, что она состоитъ изъ двухъ веществъ: изъ волокнистаго вещества (животнаго фибрина) и изъ цвѣтнаго вещества или, такъ называемыхъ, кровяныхъ шариковъ. Въ крови собственно свертывается волокнистое вещество, которое, при своемъ свертываніи, принимаетъ въ себя кровяные шарики, доставляющіе ему красный цвѣтъ. Сукровица состоитъ изъ *воды, бѣлковины и солей*. Наконецъ какъ въ темнокрасной массѣ, такъ и въ сукровицѣ, находятъ жиръ. Поэтому кровь состоитъ изъ *волокнистаго вещества, кровяныхъ шариковъ, воды, бѣлковины, солей и жиру*.

Волокнистое вещество или животный фибринъ есть вещество азотистое, имѣющее большое сходство съ растительнымъ клеемъ, называемымъ также растительнымъ фибриномъ. Замѣчательно, что животный фибринъ, во время нахождения своего въ живомъ организмѣ, растворенъ въ крови, по отдѣленіи же отъ организма переходитъ въ твердое состояніе. Если взболтать свѣжую кровь по остываніи, то фибринъ образуетъ волокнистую массу, которая, по смѣшеніи съ водою, дѣлается бѣлою и представляетъ большое подобіе съ

волокнами мускуловъ. Это наводитъ насъ на предположеніе, что изъ фибрина образуется мясо въ животномъ организмѣ и что самый фибринъ въ крови образуется изъ растительнаго клея питательныхъ веществъ.

Кровяные шарики суть пузырьки, состоящіе изъ бѣлой, прозрачной оболочки. Оболочка эта состоитъ изъ бѣлковинныхъ веществъ; внутри же шариковъ заключаются бѣлковина, соли, жиръ и красное окрашивающее вещество, находящееся въ соединеніи съ желѣзомъ и дающее крови красный цвѣтъ.

Бѣлковина, составляющая значительную часть крови, по химическому составу, сходна съ растительной бѣловиной; поэтому мы можемъ легко понять, откуда получается въ крови бѣлковина. Если кипятить сукровицу, то заключающаяся въ ней бѣлковина свертывается точно также, какъ и растительная бѣлковина. Бѣлковина крови свертывается также отъ дѣйствія кислотъ, за выключеніемъ уксусной и фосфорной.

Соли, заключающіяся въ крови, бываютъ различныхъ родовъ, преимущественно фосфорнокислый и углекислый натръ; также сѣрно-кислый натръ, фосфорнокислый, углекислый и сѣрно-кислый кали, фосфорнокислая известь, фосфорнокислая окись желѣза и т. д. Вмѣстѣ съ этими солями находятся хлористый натрій (поваренная соль) и хлористый калий.

Жиръ заключается въ незначительномъ количествѣ въ крови. Жирная кислота находится при этомъ въ соединеніи съ кали или натромъ въ растворенномъ состояніи.

Въ крови человѣка на 1000 ч. вѣса заключается 2 ч. фибрина, 131 ч. шариковъ, 789 ч. воды, 71 ч. бѣлковины, 5 ч. солей и 2 ч. жиру.

§ 256. Всѣ эти части служатъ для питанія различныхъ органовъ ^{Химич. составъ извѣстныхъ твердыхъ частей тѣла.} животного организма, въ чемъ мы можемъ легко убѣдиться ближайшимъ разсмотрѣніемъ послѣднихъ. Начнемъ съ костей. Кости состоятъ собственно изъ $\frac{1}{3}$ ч. костянаго клея, студня и $\frac{2}{3}$ ч., такъ называемой, костяной земли. Последняя получается въ томъ случаѣ, если подвергнуть кости дѣйствию огня до тѣхъ поръ, пока онѣ не сдѣлаются совершенно бѣлыми, т. е. пока не сгоритъ весь клей или наконецъ обливъ кости сильною щелочью, растворяющею клей. Костяная земля состоитъ изъ фосфорнокислой извести и небольшого количества углекислой извести, хлористаго натрія, магnezіи и фтористаго кальція, слѣдовательно костяная земля состоитъ собственно изъ неорганическихъ веществъ.

Если облить кость въ стеклянномъ сосудѣ разведенной соляной кислотой, то послѣдняя растворяетъ мало по малу костяную землю и въ осадкѣ остается прозрачная, хрящеватая масса. Если подвергнуть эту массу кипяченію въ водѣ, то получается обыкновенный *костяной клей*. Онъ состоитъ изъ азота, углерода, водорода, кислорода и незначительной примѣси сѣры, слѣдовательно составъ клея подобенъ бѣлковинѣ.

Подобный же клей получается изъ хрящей и изъ частей, составляющих оболочку мускуловъ, нервовъ и костей.

На 100 лотовъ костей заключается въ нихъ 58,23 л. фосфорнокислой извести, 8,35 л. углекислой извести, 1,03 л. фосфорнокислой магнезии, 0,92 л. растворимыхъ солей и 31,47 л. хрящей и жиру.

Мышцы составляютъ въ организмѣ человѣка массу мяса; они состоятъ изъ пучковъ тонкихъ нитей или волоконъ, отдѣленныхъ другъ отъ друга тончайшею кожицею. На кожицѣ, покрывающей мускулы, находится жиръ. Кромѣ того между мускулами находятся *нервы* и *жилы*, и вся масса мускуловъ пропитана водянистою жидкостью. Для опредѣленія составныхъ частей мускуловъ обливаютъ водою, приведенное въ мелкій видъ, мясо и послѣ извѣстнаго времени выжимаютъ мясо съ помощію холстяной тряпочки; такимъ образомъ отдѣляютъ жидкость отъ оставшейся въ тряпочкѣ твердой части мяса.

Если нагрѣть эту жидкость до 60° Ц., то въ ней образуются волокна, которыя по прощѣживанію представляютъ подобіе свернувшейся *бѣлковины*. Подвергая же нагрѣванію освобожденную отъ бѣловины жидкость, получаютъ снова свернувшееся тѣло — это *фибринъ* и *красящее вещество крови*. Дальнѣйшее химическое изслѣдованіе показываетъ, что оставшаяся за тѣмъ жидкость состоитъ большею частію изъ воды и незначительнаго количества фосфорной кислоты, молочной кислоты, фосфорнокислаго и молочнокислаго кали и нѣкоторыхъ другихъ веществъ.

Для изслѣдованія, оставшейся въ тряпочкѣ, твердой части мяса, кипятятъ его въ теченіи нѣсколькихъ часовъ въ водѣ. Получаютъ растворъ, состоящій изъ клея, незначительнаго количества жиру и бѣлой твердой волокнистой массы, составляющей собственно волокна мяса и имѣющей подобный химическій составъ съ волокнами крови. Волокна образуютъ собственно составную часть мускуловъ, между тѣмъ какъ клей принадлежитъ покровамъ мускуловъ и другимъ частямъ. Бѣловина и красящее вещество крови хотя и попадаютъ въ мускулахъ, но принадлежатъ также крови, пробѣгающей въ жилахъ между послѣдними. Тоже можно отнести и къ жиру.

Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что масса, составляющая мясо, состоитъ изъ *азотистыхъ веществъ* (волокна, собственно бѣловина, клей и др.), изъ *жиру*, различныхъ *солей*, хлорныхъ соединений и значительнаго количества *воды*, т. е. изъ всѣхъ веществъ, входящихъ въ составъ крови. Каждая изъ частей нашего организма беретъ изъ крови тѣ вещества, которыя для ней наиболѣе необходимы; такъ напр. кости извлекаютъ преимущественно фосфорнокислую известь и клей, мускулы — волокна (фибринъ), нервы — бѣловину и жиръ, а мозгъ, кромѣ того, фосфорнокислыя соли, и т. д.

Условія
необхо-
димы для
питат.
всѣхъ
веществъ.

§ 257. Посмотримъ теперь, какимъ условіямъ должны удовлетворять тѣла, употребляемые нами для питания.

Всѣ вещества, изъ которыхъ состоитъ тѣло животнаго, должны быть доставляемы ему посредствомъ пищи, т. е. всѣ вещества, со-

ставляющія тѣло животного, должны находиться въ пищѣ. Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что въ составъ различныхъ частей животнаго тѣла преимущественно входятъ слѣдующія простыя тѣла: азотъ, углеродъ, водородъ, кислородъ, сѣра, фосфоръ, хлоръ, калий, натрій, кальцій, магній, цинкъ, кремній, желѣзо и фторъ.

Значитъ, первое условіе всякой пищи состоитъ въ томъ, чтобы въ ней заключались всѣ упомянутыя нами простыя тѣла.

Здѣсь должно замѣтить, что эти тѣла, какъ мы уже видѣли, входятъ въ организмъ не отдѣльно, но въ составѣ опредѣленныхъ химическихъ соединений, и эти-то химическія соединения не могутъ быть составляемы организмомъ, но должны быть приготовлены въ самой пищѣ. Такъ напр. нашъ организмъ не въ состояніи самъ составить бѣлковину изъ азота, углерода, водорода, кислорода, сѣры и фосфора, но бѣлковина должна быть предварительно составлена для того, чтобы она могла войти въ составъ организма. Подобныхъ соединений мы не въ состояніи составить даже искусственными средствами. Поэтому мы должны питаться или растительными или животными тѣлами, въ которыхъ заключаются эти части. Изъ этого вытекаетъ второе условіе для питательныхъ веществъ: *всѣ упомянутыя нами простыя тѣла должны образовать въ пищу такія соединения, которыя необходимы для питающагося организма.*

На основаніи обоихъ этихъ условій, питательныя вещества раздѣляются на три класса:

- 1) на органическія азотныя питательныя вещества (бѣлковину, казеинъ, клей);
- 2) на органическія безазотныя вещества (сахаръ, жиръ), и
- 3) на неорганическія вещества (соли, хлорныя соединения, воду).

Всѣ эти вещества конечно несовершенно соотвѣтствуютъ составнымъ частямъ крови. Въ этомъ случаѣ органы пищеваренія помогаютъ надлежащему преобразованію пищи. Такъ напр. бѣлковина перерабатывается организмомъ въ фибринъ крови, который отличается отъ бѣлковины тѣмъ, что онъ свертывается по удаленіи отъ организма.

Точно также подвержены преобразованіямъ вещества, доставляющія крови жиръ. Такъ напр. если въ питательныхъ веществахъ мы принимаемъ въ себя крахмалъ, то онъ превращается въ организмѣ сперва въ камедь, изъ камеди въ сахаръ, изъ сахара въ молочную кислоту, изъ молочной въ масляную и, наконецъ, послѣдняя, въ соединеніи съ основаніемъ жира, даетъ собственно жиръ, переходящій потомъ въ кровь. Этимъ послѣднимъ измѣненіемъ помогаютъ слюна и желудочный сокъ, превращающіе крахмалъ въ камедь и сахаръ, и желчь, переводящая сахаръ въ молочную и потомъ въ масляную кислоту.

Послѣ этого легко объяснить себѣ истинное значеніе обыкновенныхъ выраженій: *пища неудобоваримая* и *удобоваримая*; такъ напр. въ предшествовавшемъ примѣрѣ сахаръ болѣе легковаримая пища, нежели крахмалъ, а молочная и масляная кислоты удобоваримѣе са-

хара. Всѣ же составныя части пищи, которыя не могутъ быть преобразованы органами пищеваренія въ составныя части крови, негодны для питанія.

Для всѣхъ преобразованій пищи въ организмъ необходимо, чтобы вещества были растворимы, потому что нерастворимыя вещества не могутъ быть принимаемы кровію. Следовательно, *большая или меньшая удобоваримость питательныхъ веществъ зависитъ отъ большей или меньшей растворимости ихъ въ жидкостяхъ кишечнаго канала.*

Къ этому мы должны присовокупить еще третье условіе для питательныхъ веществъ, опредѣляемое самымъ составомъ крови. Такъ напр. мы должны выбирать пищу, которая включаетъ болѣе бѣлковины нежели солей, болѣе солей нежели жиру или, говоря другими словами, болѣе азотныхъ нежели неорганическихъ и безазотныхъ веществъ. Однимъ словомъ, *питательныя вещества, заключающіяся въ пищу, должны подходить самымъ количествомъ по возможности ближе къ тѣмъ отношеніямъ, въ которыхъ они находятся въ крови.*

Но кромѣ питанія тѣла вещества, принимаемыя животными, имѣютъ также и другое назначеніе, заключающееся въ развитіи *теплоты*, необходимой для жизни животныхъ. Большая часть углерода, перешедшаго питаніемъ въ кровь, служитъ матеріаломъ для образованія углекислоты, и при этомъ соединеніи кислорода съ углеродомъ, какъ и при всякомъ горѣніи, происходитъ отдѣленіе теплоты. Этимъ объясняется то увеличеніе теплоты, которое мы ощущаемъ послѣ употребленія пищи, а равно какъ и то обстоятельство, почему зимою мы требуемъ болѣе пищи, нежели лѣтомъ. Для питанія тѣла служатъ преимущественно вещества богатые азотомъ, какъ напр. мясо животныхъ; для развитія же теплоты преимущественно служатъ вещества, изобилующія углеродомъ, напр. животный жиръ, состоящій почти исключительно изъ углерода и водорода. Между растительными питательными веществами для питанія тѣла способны только азотистыя вещества, мука, стручкообразные плоды, тогда какъ безазотныя и богатые углеродомъ, какъ напр. масло и спиртъ, служатъ болѣе для согрѣванія тѣла животныхъ.

Пита- § 258. Въ заключеніе рассмотримъ нѣсколько подробнѣе важнѣйшіе изъ ро-
 тельныя довь пищи.
 ве-
 щества.
 Молоко.

Между всѣми питательными тѣлами молоко включаетъ въ себѣ наибольшее число веществъ, необходимыхъ для питанія нашего организма, такъ что одного уже молока достаточно для поддержанія жизни, безъ содѣйствія другихъ веществъ.

Молоко есть растворъ казеина, молочнаго сахара и солей въ водѣ съ примѣсью небольшихъ шариковъ жира, могущихъ быть обнаруженными увеличительнымъ стекломъ. Если дать молоку отстояться, то эти шарики поднимаются вверхъ и даютъ на поверхности, такъ называемыя, сливки.

Если снять сливки и влить въ оставшееся молоко нѣсколько капель соляной кислоты, то отдѣляется въ немъ бѣлая волокнистая масса — казеинъ. При кипяченіи освобожденной отъ казеина жидкости, увидимъ, что съ ней свертывается незначительное количество бѣлковины.

Процѣдивъ бѣлковину и подвергнувъ остальную жидкость выпариванію, мы получимъ, послѣ нахожденія ея въ тепломъ мѣстѣ, бѣлые кристаллы молоч-

наго сахара, который по раствореніи въ водѣ легко превращается, при помощи извѣстныхъ средствъ, въ молочную кислоту.

Въ оставшемся молокѣ заключается еще растворъ различныхъ солей, которыя получаются или послѣ сжиганія, или послѣ совершеннаго выпариванія жидкости. Полученный остатокъ состоитъ изъ кали, натра, извести, магнезій, окисла желѣза, фосфорной кислоты, сѣрной кислоты и хлора. Эти составныя части, въ различныхъ сортахъ молока, находятся въ разномъ содержаніи; въ коровьемъ молокѣ на фунтѣ заключается приблизительно $\frac{9}{10}$ фунта воды, $\frac{1}{30}$ — $\frac{1}{40}$ казеина, почти столько же молочнаго сахара, $\frac{1}{20}$ масла и $\frac{1}{300}$ солей.

Молоко подвергается слѣдующимъ измѣненіямъ. Сливки состоятъ, какъ мы уже сказали, изъ шариковъ масла; послѣдніе находятся также въ смѣси съ другими составными частями молока.

Отъ сбиванія молока разрывается оболочка, покрывающая шарики жира, которые вслѣдствіе того соединяются между собою и отдѣляются отъ остальной жидкости. Полученная такимъ образомъ масса называется *масломъ*. Масло состоитъ изъ многихъ родовъ жиру, встрѣчаемыхъ нами также въ растеніяхъ: изъ твердаго жиру (маргарина), изъ жидкаго (олеина) и особеннаго жиру (бутирина); кромѣ того въ маслѣ находится незначительное количество казеину. Послѣдній, легко разлагающійся на воздухѣ, способствуетъ разложенію жира и производить, вслѣдствіе того, прогорѣлость масла. Для предотвращенія этого къ маслу примѣшиваютъ соли, которая втягиваетъ въ себя воду изъ масла и противоѣдѣйствуетъ чрезъ то вліянію казеина. Для удаленія послѣдняго вещества масло подвергаютъ топленію.

Изъ казеина молока готовится сыръ, который получается при свертываніи казеина до отдѣленія масла и послѣ удаленія послѣдняго; въ первомъ случаѣ получается, такъ называемый, жирный, а во второмъ обыкновенный, тощій сыръ. Жидкость, остающаяся по выжатіи сыра, называется *сыворожкой*; она состоитъ изъ раствора молочной кислоты и солей въ водѣ. Обыкновенный сыръ постепенно переходитъ въ броженіе отъ наружной стороны во внутрь и это броженіе есть ни что иное какъ дальнѣйшее химическое разложеніе. При этомъ образуется амміакъ, дающій въ соединеніи съ казеиномъ мылообразную массу, сѣрнистый водородъ, жирную кислоту и т. д. Если остающаяся въ сырѣ сыворотка превращается въ масляную кислоту и углекислоту, то получаютъ внутри сыра пустые пространства.

Молочный сахаръ, при извѣстныхъ условіяхъ, превращается въ виноградный сахаръ и потомъ въ спиртъ и углекислоту. Такимъ образомъ Татары приготавливаютъ кумысъ.

По удобоваримости составныхъ частей, заключающихся въ молокѣ, послѣднее составляетъ превосходную пищу для питанія. Казеинъ принадлежитъ къ наиболѣе растворимымъ бѣлковиннымъ тѣламъ, жиры масла также растворяются удобно, а молочный сахаръ обладаетъ наибольшею удобоваримостію между всѣми родами сахара. Превращеніе его въ жиръ облегчается присутствіемъ масла и казеина. Къ этому должно присовокупить, что всѣ необходимыя для крови питательныя вещества находятся въ молокѣ въ надлежащемъ количествѣ. Между различными родами молока конечно переваривается труднѣе то, въ которомъ заключается большее содержаніе масла; вотъ почему ослиное молоко удобнѣе для перевариванія нежели коровье.

Масло принадлежитъ къ числу менѣе удобоваримыхъ веществъ. Оно можетъ растворяться только сокомъ, выделяемымъ тонкой кишкою; поэтому если мы употребляемъ количество масла соотвѣтственно болѣе того незначительнаго количества сока, который отдѣляется въ тонкой кишкѣ, то растворимость его становится затруднительною. Еще труднѣе растворимо масло, претерпѣвшее отъ нагрѣванія химическія измѣненія: этимъ объясняется трудная сваримость пропитаннаго жиромъ печенаго тѣста. Отличительное свойство масла, какъ питательнаго вещества, заключается въ содѣйствіи его къ превращенію крахмала въ жиръ; вотъ почему изобилующій крахмаломъ хлѣбъ обыкновенно смазывается масломъ.

Сыръ. Сыръ долженъ быть также причисленъ къ трудноваримой пищѣ, потому что заключающіяся въ немъ питательныя части превратились въ другія вещества. Отличительная способность его заключается въ возбужденіи дѣятельности органовъ пищеваренія и въ содѣйствіи превращенію крахмала и сахара въ молочную кислоту и жиръ.

Яйца. *Птичьи яйца* состоятъ, какъ извѣстно, изъ оболочки и скорлупы, въ которой заключается *бѣлокъ* и *желтокъ*. Скорлупа состоитъ изъ 90 процентовъ углекислой извести, незначительнаго количества фосфорнокислой извести и органическихъ веществъ. Бѣлокъ состоитъ изъ клѣточекъ, образованныхъ трудно растворимымъ бѣлковиннымъ веществомъ, въ которомъ заключается собственно растворимая бѣлковина. При выпариваніи получаютъ до $\frac{1}{4}$ твердой бѣлковины, а остальное, значить, была вода. При сжиганіи бѣлковины получается въ остаткѣ углекислый, фосфорнокислый и сѣрнокислый натръ, фосфорнокислая извѣсть и повареная соль. Поэтому бѣлокъ состоитъ изъ *воды*, *бѣлковины* и *солей*. Составныя части яичной бѣлковины одинаковы съ растительной бѣлковиной. *Желтокъ* состоитъ изъ смѣси *бѣлковины* (16 проц.) и *воды* (52 проц.), и желтыхъ шариковъ жиру. Последний, какъ показываетъ химическое изслѣдованіе, состоитъ изъ различныхъ жировъ и заключаетъ въ себѣ фосфоръ.

Изъ разсмотрѣнія состава яицъ слѣдуетъ, что они заключаютъ въ себѣ всѣ части необходимыя для питанія. Къ этому должно присовокупить удобо-растворимость веществъ, составляющихъ бѣлокъ и желтокъ, въ органахъ пищеваренія.

Мясо. Мы уже говорили выше о составѣ мяса; оно служитъ, какъ извѣстно, превосходнымъ питательнымъ веществомъ. Мы скажемъ здѣсь нѣсколько словъ о самомъ приготовленіи мяса. Мясо готовится или посредствомъ *варенія*, или посредствомъ *жаренія*. При каждомъ изъ этихъ способовъ происходитъ особенное химическое измѣненіе въ составѣ мяса.

При вареніи мяса свертываются растворимыя бѣлковинныя вещества, а фибринъ разлагается отъ дѣйствія кислорода и даетъ два новыя соединенія, изъ которыхъ одно легко растворимо въ водѣ. Клѣтчатая ткань превращается при кипѣніи въ клей или студень, а красящее вещество крови принимаетъ буроватый цвѣтъ и утрачиваетъ свойство растворяться въ водѣ. Жиръ расплывается, а соли большею частію растворяются въ водѣ. Такимъ образомъ составныя части сыраго мяса получаютъ частію въ видѣ твердой массы, а частію растворяются въ водѣ.

Но это распредѣленіе бываетъ различно, судя потому, кладется ли мясо на огонь въ холодной или прямо въ горячей водѣ.

Въ первомъ случаѣ проходитъ извѣстное время до тѣхъ поръ, пока вода достигнетъ той степени теплоты, которая необходима для свертыванія бѣлковины. Вслѣдствіе того всѣ растворимыя питательныя вещества, заключающіяся въ мясѣ, извлекаются изъ него водою, при чемъ въ послѣднюю переходить также и растворимая бѣлковина. Когда вода закипаетъ, бѣлковина свертывается въ видѣ бѣлыхъ волоконъ, которыя удаляются вмѣстѣ съ буроватыми частицами красящаго вещества крови. Расплавленный жиръ плаваетъ въ бульонѣ. Поэтому въ настоящемъ случаѣ большая часть питательныхъ веществъ заключается не въ мясѣ, но въ бульонѣ. Обратное происходитъ въ томъ случаѣ, если мясо прямо кладутъ въ кипятокъ. Бѣлковина тотчасъ свертывается и каждая частица мяса покрывается оболочкой свернутой бѣлковины; чрезъ это вода не можетъ уже извлекать изъ мяса тѣхъ частей, которыя она растворяла въ предшествовавшемъ случаѣ.

При жареніи мяса дѣйствіе теплоты сообщается ему преимущественно непосредственно, или при содѣйствіи жара. Наружные слои мяса, отъ разложенія красящаго начала, принимаютъ буроватую кору, которая удерживаетъ въ себѣ большую часть веществъ, испаряющихся изъ мяса. Въ то же время отъ разложенія жира, вслѣдствіе дѣйствія теплоты, образуется молочная кислота, которая способствуетъ, подобно уксусу, разложенію бѣлковинныхъ тѣлъ.

Вотъ почему жаренное мясо легче для пищеваренія противу варенаго. При жареніи большаго куска теплота не проникаетъ совершенно во внутрь и въ такомъ случаѣ мясо сохраняетъ болѣе сочности. Красящее вещество крови остается внутри неразложеннымъ и потому весьма часто показывается внутри большаго изжареннаго куска мяса кровавая жидкость.

Солонина или просоленное мясо труднѣе для пищеваренія и менѣе питательно противу свѣжаго мяса, потому что часть растворимой бѣлковины и необходимыя для пищеваренія молочнокислыя и фосфорнокислыя соли извлекаются изъ мяса въ рассолѣ.

Мяса различныхъ животныхъ не отличаются между собою различіемъ состава. Различіе обуславливается большимъ или меньшимъ содержаніемъ жиру. Какъ спокойное состояніе благоприятствуетъ отложенію жира въ организмъ, а движеніе на открытомъ воздухѣ способствуетъ напротивъ быстрой перемѣнѣ веществъ, то поэтому домашнія животныя богаче жиромъ, но взаимно того бѣднѣе надлежащими составными частями мяса противу дикихъ животныхъ и дичи. Мясо молодыхъ животныхъ отличается большимъ содержаніемъ растворимой бѣлковины противу мяса старыхъ животныхъ, и потому первое удобоваримѣе противу послѣдняго. Большое вліяніе оказываетъ также пища, принимаемая животными, какъ на свойства, такъ и на составъ ихъ мяса. Картофель, свекла, клеверъ увеличиваютъ содержаніе жира. Мясо рыбъ менѣе удобоваримо, по причинѣ незначительности крови и фибрина съ одной стороны и по содержанію большаго количества воды и особеннаго рода жира, заключающаго фосфоръ.

Принимая въ соображеніе, что пища бываетъ тѣмъ легчеваримѣе, чѣмъ она богаче растворимой бѣлковиною, сравнительно съ содержаніемъ фибрина и жира, можно опредѣлить различіе въ удобствѣ для пищеваренія различныхъ родовъ мяса.

На этомъ основаніи куриное мясо удобоваримѣе противу телятины, телятина удобоваримѣе противу обыкновенной говядины, а послѣдняя удобоваримѣе свинины.

Мясная пища наиболѣе способствуетъ питанію мускуловъ.

Питательность растительной пищи можетъ быть легко опредѣлена изъ слѣдующей таблицы.

100 частей, по вѣсу, слѣдую- щихъ пита- тельныхъ ве- ществъ.	безазотистыхъ веществъ.			азотистыхъ веществъ.			неорганичес- кихъ веществъ.	
	крах- малъ.	са- харъ.	жиръ.	бѣлко- вина.	клей.	ка- зеинъ.	фосфор. кислая извѣсть.	вода.
рожь	40	2	—	—	8	—	?	10
пшеница . . .	74	4	—	—	11	—	0,08	10
ячмень	32	3	—	—	5	—	0,24	11
рисъ	85	незна	чит.	—	3,6	—	0,4	6
картофель . .	15	камедь 4	—	1,4	—	—	—	75
бобы	42	незнач.	0,7	—	—	18—20	1,0	23
горохъ	42	2	—	—	—	18	2,0	13

* По новѣйшимъ изслѣдованіямъ извѣстное количество сахара образуется въ мушѣ только спустя нѣкоторое время изъ камеди, и потому не заключается въ свѣжей мушѣ.

Изъ этой таблицы не трудно замѣтить, что въ приведенныхъ растеніяхъ содержаніе азотныхъ (бѣлковинныхъ) веществъ гораздо значительнѣе противу безазотныхъ. А это въ свою очередь ясно говоритъ въ пользу питательности и удобоваримости хлѣба, приготовляемаго изъ муки.

Растительный клей труднѣе растворимъ въ жидкостяхъ органовъ пищеваренія, нежели соответствующій ему фибринъ мускуловъ, поэтому первый для пищеваренія труднѣе послѣдняго. *Крахмалъ* долженъ подвергаться различнымъ преобразованіямъ до перехода своего въ жиръ, который переходитъ въ составъ крови. Какъ собственно питательность зависитъ отъ содержанія бѣлковинныхъ веществъ, то хлѣбъ менѣе питателенъ противу мяса. Конечно хлѣбъ доставляетъ крови крахмалъ, который превращается въ жиръ, но количество послѣдняго не вознаграждаетъ въ хлѣбѣ незначительности содержанія бѣлковины, болѣе потребной для крови нежели жиръ.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что изъ хлѣбныхъ растеній наиболѣе питательны тѣ роды, которые отличаются богатымъ содержаніемъ клея и бѣлковины; одинъ взглядъ на приведенную выше таблицу показываетъ, что хотя рисъ и доставляетъ крови болѣе жиру, но за то значительно уступаетъ въ питательности пшеницѣ.

Изъ неорганическихъ составныхъ частей мы встрѣчаемъ въ различныхъ родахъ растеній всѣ вещества необходимыя для крови. Горохъ, бобы и чечевица, кромѣ неорганическихъ частей необходимыхъ для крови, отличаются богатымъ содержаніемъ бѣлковинныхъ веществъ и превосходятъ, въ этомъ отношеніи, хлѣбныя растенія и даже мясо. Находящійся въ нихъ казеннъ (въ особенности въ горохѣ) растворимъ въ водѣ; при этомъ они снабжены достаточнымъ количествомъ крахмала и камеди, необходимыхъ для образованія жиру. Поэтому приведенные нами стручкообразные плоды принадлежать къ числу питательнѣйшихъ веществъ. Наименѣе питательную часть въ этихъ растеніяхъ составляетъ собственно шелуха.

Картофель отличается уже меньшею питательностію, въ чемъ убѣждаетъ насъ вышеприведенная таблица. Хотя картофель и способствуетъ образованію жира, но съ другой стороны нельзя не замѣтить, что для насыщенія однимъ картофелемъ должно его употреблять въ такомъ количествѣ, которое дѣлается затруднительнымъ для пищеваренія.

Перейдемъ теперь къ *овощамъ и плодамъ*.

Овощи, какъ напр. салатъ, спаржа, капуста и др., весьма бѣдны содержаніемъ бѣлковинныхъ частей, равно какъ крахмала, камеди и другихъ веществъ, необходимыхъ для образованія жиру; около $\frac{1}{10}$ ч. ихъ вѣса занято водою. Поэтому онѣ весьма мало содѣйствуютъ питанію. Но взамѣнъ того онѣ заключаютъ различныя органическія кислоты, растворяющая способность которыхъ содѣйствуетъ перевариванію бѣлковины и фибрина; на этомъ основано самое употребленіе этихъ веществъ.

Плоды хотя и необременены подобно овощамъ водою, но зато бѣднѣе ихъ бѣлковинными веществами. Плоды обладаютъ охлаждающими кислотами и различными летучими маслами, доставляющими имъ пріятный вкусъ. Сладость же ихъ зависитъ отъ содержанія сахара.

Хотя почти всѣ употребляемыя нами въ пищу вещества заключаютъ известное количество хлора и натрія, изъ которыхъ состоитъ поваренная соль, но содержаніе этихъ частей весьма недостаточно для питанія крови и потому мы принуждены примѣшивать къ пищѣ соль, которая помогаетъ также перевариванію бѣлковины и жиру.

Что же касается до пряныхъ растеній и кореньевъ, то они обладаютъ незначительнымъ содержаніемъ бѣлковины, камеди, крахмалу, кислотъ и солей, и потому мало содѣйствуютъ собственно питанію. Повсемѣстное употребленіе пряностей основано на присутствіи въ нихъ известнаго количества летучихъ маселъ, дѣйствующихъ раздражительною образомъ на органы пищеваренія.

Употребляемые нами напитки: пиво, вина и водки, не выполняют сами по себе условий питательныхъ веществъ, въ особенности водки. Пиво заключаетъ въ себя нѣкоторое количество бѣлковины; кромѣ того въ пиво и вино находятся сахаръ, камедь, кислоты, соли и др. вещества. Въ пиво содержится также хмѣльная кислота, въ вино — винный оѵиръ, въ водку — картофельная кислота и др. Винный спиртъ, заключающійся во всѣхъ этихъ напиткахъ, превращается въ крови въ уксусную кислоту и воду, а потомъ въ углекислоту и воду. Эти процессы доставляютъ организму извѣстное количество теплоты.

Чайные листья заключаютъ древесину, бѣлковину, камедь, смолу и, между многими другими неорганическими веществами, дубильную кислоту, летучее масло и тейнъ. Послѣднія три вещества и преимущественно тейнъ, составляютъ особенный характеръ чая. Тейнъ образуетъ съ дубильной кислотой соединеніе, растворимое въ горячей водѣ.

Характеристическія вещества кофе суть: кофейный жиръ, кофейная кислота и кофейнъ. Соединенное съ кофейнымъ жиромъ летучее масло (въ самомъ незначительномъ количествѣ), придаетъ кофе особенный запахъ. Кофейная кислота, при жареніи кофе, измѣняется въ другую кислоту, соединяющуюся съ основаніемъ. Кислота эта легко растворима въ водѣ и придаетъ послѣдней немного кислый вкусъ. Кофейнъ представляетъ по составу и особннымъ свойствамъ сходство съ тейномъ. Жареніе кофе не должно происходить при слишкомъ большомъ жарѣ, потому что въ противномъ случаѣ кофейнъ можетъ улетучиться.

Оба эти напитка — чай и кофе, возбуждаютъ дѣятельность нервовъ, но причина этого дѣйствія до сихъ поръ еще необъяснена совершенно. Обыкновенно приписываютъ это вліянію тейна и кофейна.

КОНЕЦЪ ПЕРВОЙ ЧАСТИ.

ЗАМѢЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ.

<i>Стран.</i>	<i>Строка.</i>	<i>Напечатано:</i>	<i>Должно читать:</i>
64	10 и 11 сверху	противящейся напряженію силы дѣйствующей силы и такъ какъ обѣ эти на осно- ваніи.	противящейся напряженію дѣйствующей силы и такъ какъ обѣ эти силы на основаніи
93	13 снизу	половинѣ линіи AF .	удвоенной линіи AF .
100	14 снизу	уже	уже линіи
	16 снизу	касательныя	касательныя образуютъ
102	4 снизу	$\left(F = \frac{B^2}{2R} \text{ и } f = \frac{B'^2}{2r}\right)$	$\left(F = \frac{B^2}{2R} \text{ и } f = \frac{B'^2}{2r}\right)$
136	21 снизу	нами былъ короче	нами короче
140	13 сверху	точки	точка
143	23 сверху	линіи da	линіи $d'a$
144	19 сверху	силу большую	силу большую или меньшую
155	4 снизу	выражающее	выражающая
169	27 и 28 снизу	то когда послѣдній нахо- дится на прямой линіи съ рукояткою (фиг. 225), то онъ	то во время нахождения шатуна на прямой линіи съ рукояткою (фиг. 225) онъ
171	10 снизу	стрѣлки	стрѣлку
199	25 сверху	тотчасъ займетъ прежнее мѣсто	тотчасъ займетъ по преж- нему самое низкое мѣсто
232	21 и 22 снизу	въ натертомъ тѣлѣ	въ тѣлѣ
240	17 и 18 сверху	нерастворяющейся	нерастворяющей
310	24 сверху	центробѣжная сила	центростремительная сила
312	13 снизу	сродство	сходство
325	9 и 10 снизу	каждый футъ воды резер- вуара усилятся	давленіе выносимое каж- дымъ футомъ воды резер- вуара усилятся
336	2 снизу	сосредоточенною	приложенною

P67

530

Pisarevski

Obshcheponyatnaya fizika.

