

# ПАРАДОКСЫ ПРИРОДЫ.

Книга въ помощь юношеству для объясненія явленій,  
повидимому, противорѣчащихъ повседневному опыту.

---

По доктору В. ГАМПСОНУ  
„PARADOXES OF NATURE AND SCIENCE“.

ОБРАБОТАНО ДОКТ. К. ШЕФФЕРОМЪ.

---

Переводъ К. ГЮКЕ и Л. ЭНГЕЛЬГАРДТЪ  
со второго нѣмецкаго изданія,  
заново переработаннаго и дополненнаго 9  
новыми главами.

---

Съ тремя таблицами и 77 чертежами.

Подъ редакціей преподав. Городскаго Университета имени А. Л. Шанявскаго

**В. И. Романова.**



НАУКУ ВСЕМ!  
Шедевры научно-популярной литературы

В. Гампсон, К. Шеффер

# ПАРАДОКСЫ ПРИРОДЫ

Книга в помощь юношеству  
для объяснения явлений,  
по-видимому, противоречащих  
повседневному опыту

Перевод со второго  
переработанного и дополненного  
немецкого издания  
К. Гюке и Л. Энгельгардт

Под редакцией В. И. Романова

Издание второе,  
исправленное и дополненное



Гампсон В., Шеффер К.

**Парадоксы природы: Книга в помощь юношеству для объяснения явлений, по-видимому, противоречащих повседневному опыту.**

Пер. с нем. / Под ред. В. И. Романова. Изд. 2-е, испр. и доп.

М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. — 200 с.

(НАУКУ — ВСЕМ! Шедевры научно-популярной литературы.)

В предлагаемой читателю книге приведены физические, химические, биологические и психологические парадоксы, различные по тематике и степени трудности. Цель этой неоднократно выходившей в свет на разных языках книги — показать, что даже в наше время стремительного прогресса науки в поисках удивительного и необычайного вовсе не обязательно отправляться куда-то далеко (например, в космос!). Ведь и в обыденной жизни нас окружают загадочные явления, над которыми мы не задумываемся лишь потому, что они для нас привычны.

Содержание книги охватывает все то, что привлекает к себе внимание юных естествоиспытателей в окружающем мире, а изложение ее настолько просто и занимательно, что с ее помощью читатель легко сможет понять природу окружающих его предметов и явлений, а также по-новому взглянуть на вещи, ранее казавшиеся привычными и обыденными.

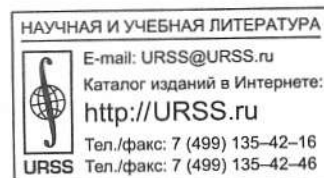
Книга адресована самому широкому кругу читателей, равнодушных к естественным наукам, в первую очередь из числа учащихся старших классов.

Издательство «Книжный дом «ЛИБРОКОМ»».  
117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 9.  
Формат 60×90/16. Печ. л. 12,5. Зак. № 2954.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД».  
117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 11А, стр. 11.

ISBN 978–5–397–01158–7

© перевод на русский язык, 1914, 2009

© Книжный дом «ЛИБРОКОМ»,  
оригинал-макет, оформление, 2009

6295 ID 107467



## Оглавление

От издательства .....	9
От редактора .....	10
Вступление .....	11
<i>Часть первая</i>	
<b>Физические парадоксы .....</b>	<b>13</b>
<b>Глава 1. Повозки и другие способы передвижения .....</b>	<b>14</b>
1. Повозка, которая на горизонтальной плоскости легче передвигается с грузом, чем без него .....	14
2. Если поезд движется со скоростью 90 километров в час, то какие части поезда движутся в обратном направлении с приблизительно той же скоростью в 15 километров в час? .....	17
3. Кажущаяся польза от ломаного шатуна у велосипедов .....	20
<b>Глава 2. Движения катящихся и летящих тел .....</b>	<b>24</b>
1. Разумные бильярдные шары .....	24
2. Бросание шара за угол .....	27
3. Бумеранги .....	32
4. Путь птицы в воздухе .....	39
<b>Глава 3. Мнимое уничтожение силы тяжести .....</b>	<b>43</b>
1. Твердые тела, которые не подчиняются силе тяжести ( <i>движение волчка</i> ) .....	43
2. Жидкости, которые не падают. Вода, текущая вверх .....	49
3. Тело, катящееся в гору, а не под гору .....	55
4. Еще о воде, текущей на гору .....	57

<b>Глава 4. Выгодное использование веса</b> .....	<b>63</b>
1. Фунт уравнивает сто фунтов (гидравлический пресс) .....	63
2. Без поршня и рычага с одним килограммом воды можно производить давлений 10–100 килограммов ..	67
3. Увеличение веса независимо от массы (центробежная сила) .....	74
<b>Глава 5. Замерзание и таяние</b> .....	<b>78</b>
1. Таяние льда, сопровождающееся его охлаждением ..	78
2. Таяние льда без сообщения ему тепла и без понижения температуры .....	80
3. Как разрезать лед, в то же время оставляя его цельным? .....	81
4. Лед, который не тает в сосуде с кипящей водой ....	84
5. Увеличение и уменьшение объема от одной и той же причины .....	85
6. Разрушительное действие замерзающей воды .....	88
<b>Глава 6. Испарение и кипение</b> .....	<b>90</b>
1. Разрушительная сила нагретой воды .....	90
2. Взрыв или разрушение под влиянием других причин? ..	93
3. Как можно вскипятить воду посредством охлаждения ..	94
4. Как заморозить жидкость, заставляя ее кипеть .....	97
5. Как можно скорее охладить какой-нибудь предмет малым количеством воды, чем большим .....	100
<b>Глава 7. Теплопроводность</b> .....	<b>103</b>
1. Сосуд, который слишком горяч для того, чтобы кипятить в нем воду .....	103
2. Кто опустит руку в растопленный свинец? .....	105
3. Хождение по раскаленным докрасна камням .....	105
4. Кто может пересекать рукою горячую струю пара ..	107
5. Может ли лед дать теплоту? .....	108
<b>Глава 8. Замечательные воздушные течения и паровые струи</b> ..	<b>110</b>
1. Чудесное колесо, которое вращается без видимых причин .....	110
2. Отталкивание и притяжение, вызванные одной и той же причиной .....	114
3. Как слабый побеждает сильного .....	118

<b>Глава 9. О вечном движении (<i>perpetuum mobile</i>)</b> .....	<b>120</b>
1. Постоянно движущаяся мельница .....	120
2. Жидкий воздух и «вечно продолжающееся движение» ..	122
3. Неисчерпаемый источник энергии .....	124
4. Никогда не останавливающееся часы .....	125

### Часть вторая

### Химические парадоксы .....

<b>Глава 1. Парадоксальные явления при горении</b> .....	<b>130</b>
1. Огонь как источник воды .....	130
2. Доказательство того, что все вещества, сгорая, делаются не легче, а тяжелее .....	132
3. Может ли воздух гореть .....	134
4. Свеча как газовая фабрика .....	137

### Глава 2. Замечательные свойства воды .....

1. Можно получать тепло, пользуясь холодной водой ..	140
2. Чистая вода способна изменять краски .....	142

### Глава 3. Превращение элементов .....

1. Как один и тот же элемент может быть в различных видах .....	145
2. Камень мудреца, или философский камень .....	146

### Часть третья

### Биологические и психологические парадоксы .....

### Глава 1. Нечто о скелете, кровообращении и питании .....

1. Лошадь в качестве балетной танцовщицы .....	150
2. Как давление воздуха соединяет вместе наши кости ..	154
3. Насосы без поршней .....	158
4. Жевание желудком .....	163

### Глава 2. Глаз и зрение .....

1. Слепое пятно на здоровом мозгу .....	167
2. Двойное зрение .....	169
3. Можно ли видеть через руку .....	171
4. Синий и желтый цвета не дают при смешении зеленого ..	173
5. Каким образом можно смотреть на один цвет и видеть другой? .....	174

<b>Глава 3. Глаза в качестве лжесвидетелей</b> . . . . .	<b>176</b>
1. Противоположные движения могут казаться одинаковыми . . . . .	176
2. Параллельные линии, которые кажутся не параллельными, и линии, кажущиеся параллельными, но которые не параллельны . . . . .	179
3. Ложное суждение о высоте . . . . .	181
4. Кажущаяся непрерывность зрительных ощущений . . . . .	184
<b>Глава 4. Уши в качестве ложных свидетелей</b> . . . . .	<b>186</b>
1. Чревовещание . . . . .	186
2. Кажущаяся непрерывность слуховых впечатлений . . . . .	189
<b>Глава 5. Ощущение как ложный свидетель</b> . . . . .	<b>192</b>
1. Более теплое кажется более холодным . . . . .	192
2. Боль в ноге после ее ампутации . . . . .	193
3. Моментальное повиновение невозможно . . . . .	194
4. Кажущаяся непрерывность осязательных раздражений . . . . .	194
<b>Приложение. Математический парадокс</b> . . . . .	<b>196</b>

## От издательства

Эта книга впервые вышла в свет в Германии более 100 лет назад и затем несколько раз переиздавалась в разных странах в различные годы. При подготовке текста настоящего издания, которое является воспроизведением русского перевода второго немецкого издания (1914 г.), исправлялись, в основном, лишь орфография и пунктуация в соответствии с современными правилами русского языка, оригинальный же стиль изложения был сохранен.

За прошедшие со времени первого издания книги десятилетия физические законы, естественно, не изменились, а значит, данная книга может быть интересной и полезной и в наши дни. Кроме того, большой интерес для современного читателя представляют изложение и подход того времени, а также сравнение их с современными представлениями. Возможно, в то время некоторые явления еще не могли быть объяснены, а может быть, истолковывались не совсем верно. Поэтому к чтению данной книги стоит, вероятно, относиться несколько критически.

Надеемся, что эта книга поможет читателю лучше понять природу окружающих его предметов и явлений, а также по-новому взглянуть на вещи, ранее казавшиеся привычными и обыденными.



## От редактора

Книга «Парадоксы природы» является одной из лучших популярных книг для юношества, имеющих в иностранной литературе. Ее содержание охватывает все то, что в области живой и мертвой природы приковывает к себе внимание юных естествоиспытателей, а изложение настолько просто и занимательно, что эта книга в короткое время выдержала в Германии 2 издания. Настоящий перевод сделан со 2-го немецкого издания, заново переработанного и значительно расширенного по сравнению с первым изданием. Введено 9 новых глав, иллюстрированных 16-ю новыми рисунками. Мы надеемся, что и в России книга найдет свой круг читателей и встретит сочувственное отношение у всех интересующихся естественными науками.

*В. Романов*

## Вступление

Дорогой читатель!

Автору этой книги пришлось столкнуться в жизни с человеком, который всегда утверждал противоположное тому, что другие находили истиной. Даже много лет спустя слушатели с удовольствием вспоминали те веселые часы, когда он доказывал справедливость своих парадоксов. Этот шутник так умело защищал противоречащие истине суждения, что, к большому удивлению его противников и слушателей, им приходилось находить иногда большую долю правды в парадоксах и загадках нашего друга. Но этот человек умел не только шутить — в его словах лежал часто глубокий смысл.

У людей, столкнувшихся с этим человеком, навсегда оставалось в душе глубокое впечатление от его личности. И вот такого-то друга и учителя, мой дорогой читатель, и желает тебе автор.

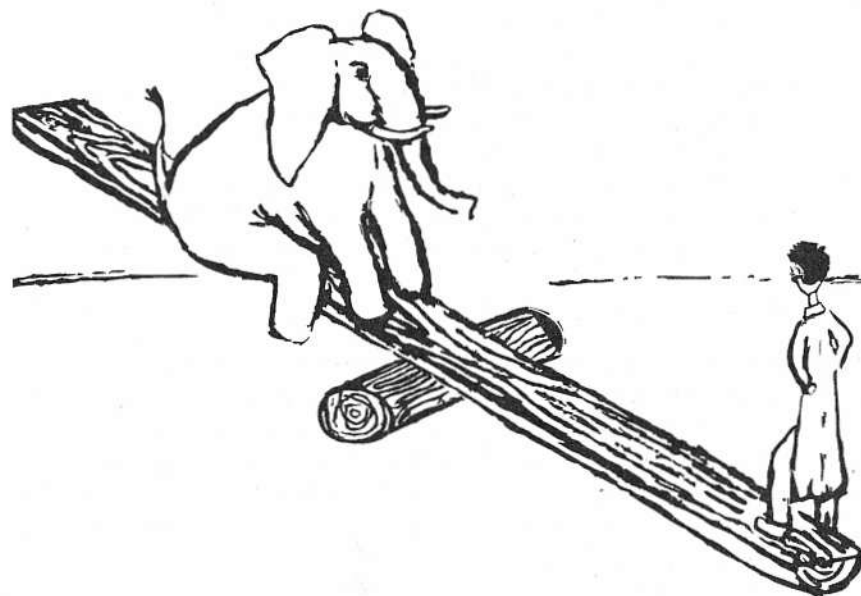
Такой друг поможет тебе сократить много скучных часов и сделать их содержательными.

Ты спросишь, где найти такого друга? Оглянись кругом — он всегда с тобой, взгляни на природу и на ее силу и власть. Посмотри на волчок, которым играет этот мальчик, — он часть природы. Почему он не падает, он все стоит на своем остром конце и танцует вокруг себя, как будто нет силы тяжести, которая его тянет к земле! Видишь, вот тебе пример естественного парадокса! Если ты хочешь понять эти парадоксы — то спроси ответ у своего лучшего друга — природы. Сумей лишь понять ее язык, и она откроет тебе свои тайны! А эта книга научит тебя, как ее понять! Прочти, и она будет тебе лучшим другом.

*К. Шеффер*

Часть первая

## **Физические парадоксы**



## Глава 1

**Повозки и другие способы передвижения****1. Повозка, которая на горизонтальной плоскости легче передвигается с грузом, чем без него**

Путешественники, возвратившиеся из Японии, много рассказывают о «джинрикшах»<sup>1)</sup> и их возчиках, которые в легких повозках (рис. 1) перевозят своих пассажиров, делая по 40 и более километров в день.

Мы охотно этому верим, принимая во внимание удивительную выносливость японцев, с которыми мы ближе познакомились за последнее время. Когда же далее рассказывают, что эти возчики джинрикш на обратном пути с большей охотой предпочитают вести пассажира даже за очень дешевую плату, чем ехать с пустой повозкой, то эти рассказы уже вызывают в нас недоверие к словам путешественников. А на самом деле по хорошей дороге джинрикшу гораздо легче везти с пассажиром или вообще с грузом, чем везти ее пустой.

Почему это происходит?

➡ Возьмем такой пример: если человек везет три центра в легкой повозке по рельсам, то ему гораздо легче будет везти эти три центра в повозке, чем нести хотя бы один центр на спине, потому что тогда ногам придется нести, кроме тела, еще груз. Когда хозяин джинрикши возвращается назад с пустой повозкой, то ему приходится на своих ногах нести свое тело: ему было бы выгодно часть

<sup>1)</sup> Джин — человек, рики — сила, ша — повозка.

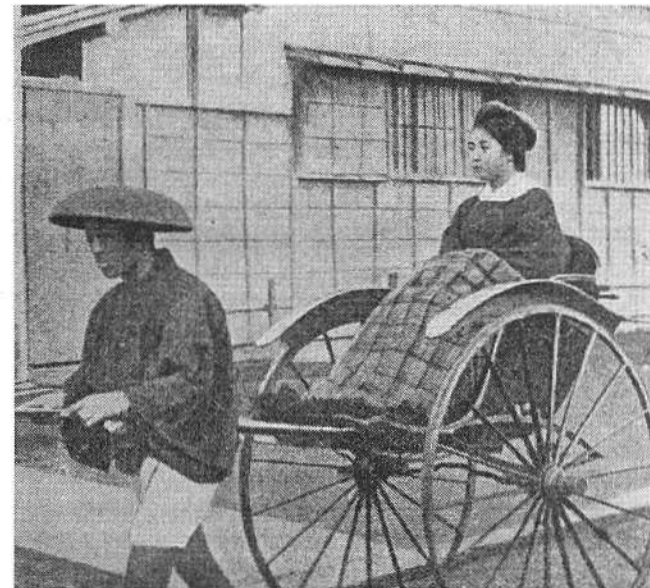


Рис. 1. Японская джинрикша

своего тела посадить на повозку, даже если бы эта часть была увеличена в два раза. Но, к сожалению, джинрикша устроена не так, чтобы было возможно одновременно и сидеть на ней, и везти ее так, как это возможно на велосипеде, и потому единственный способ передать часть своего веса джинрикше — это опираться на концы ее оглоблей. Однако верхняя часть повозки так легка, что малейшее давление на оглобли заставляет повозку подниматься вверх. Поэтому, чтобы приспособить оглобли нести значительную долю своего веса, возчик при помощи противовеса должен сделать заднюю часть повозки более тяжелой, например положив на сидение достаточно массивный груз. Этот груз, служащий противовесом, должен быть значительно тяжелее, чем та часть его веса, от которой он хочет освободиться. Так должно быть потому, что точка приложения противовеса лежит гораздо ближе к оси вращения повозки, чем точка приложения рук возчика, и потому плечо, на которое действует противовес, очень коротко. ➡

Пассажир на сидении был бы, действительно, в этом случае самым подходящим грузом.

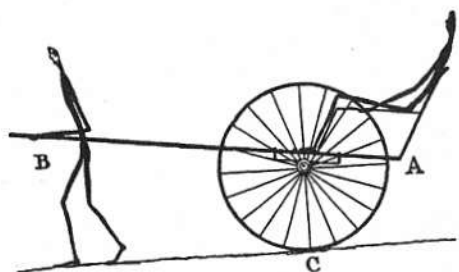


Рис. 2. Равновесие на нагруженной джинрикше

В самом деле (рис. 2), если центр тяжести пассажира (над точкой *A*) лежит в два раза ближе к оси колеса (над точкой *C*), чем точка *B*, опираясь на которую проводник освобождается от части своего веса, то ясно, что плечо для точки *B* в два раза длиннее, чем плечо для точки *A*. И поэтому, когда возчик и его пассажир одного и того же веса, то половина веса возчика, которая опирается на оглоблю *B*, может удерживать в равновесии весь вес пассажира. Раз половина тела возчика лежит на оглоблях, то, следовательно, ногам приходится нести лишь половину собственного веса. А это является большим облегчением. С другой стороны, работа везти пассажира и часть своего веса в легкой повозке и по хорошей дороге не велика и не может ни в каком случае уничтожить тот выигрыш, который получается от того, что ноги возчика несут лишь половину веса его тела.

Итак, во всяком случае джинрикшу легче везти с грузом, чем без него.

Нет надобности, конечно, говорить, что хозяин джинрикши не повезет даром своего пассажира обратно. Если, однако, он от этого отказывается, то, конечно, делает это не столько из механических, сколько из коммерческих соображений. Если дорога ведет в гору, то все предыдущие соображения и доказательства неприложимы.

В этом случае к той работе, которая необходима, чтобы везти повозку, присоединяется та работа, которая необходима, чтобы данный груз (повозку) поднять на желаемую высоту.

Если эта работа удвоится благодаря присутствию пассажира, то весь выигрыш, получающийся от перенесения половины собственного веса на колеса, по крайней мере уничтожится. Приблизительно такая же картина получится, если повозка будет ехать по мягкому грунту, так как колеса будут врезаться в почву и тем тормозить

движение. Если повозка очень легка, тогда качество дороги безразлично. Но если к весу повозки прибавится вес пассажира да еще половина веса возчика джинрикши, то при размягченной дороге движение будет затруднительно. И пассажир, не платящий денег, будет в таком случае нежелателен.

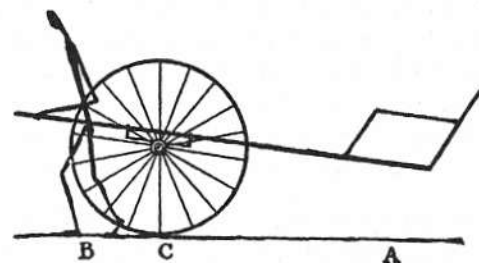


Рис. 3. Способ уравновесить пустую джинрикшу

Интересно знать, испробована ли возможность передать часть своего веса на оглобли и в том случае, когда пассажира нет? Это было бы вполне возможно, если бы мы устроили оглобли так, чтобы они могли передвигаться относительно колес. Если бы сидение составляло  $\frac{1}{4}$  веса возчика, то, чтобы удержать в равновесии весь вес своего тела, возчику потребовался бы рычаг, в четыре раза более короткий, чтобы удержать в равновесии половину своего тела — в два раза более короткий. Пока нет пассажира, сидение можно было бы подвинуть обратно, как показано на рис. 3, пока *AC* не будет больше, чем *BC*, в три раза. Тогда возчик может передать оглоблям  $\frac{3}{4}$  веса, тем самым облегчая работу своим ногам и при этом ничего не прибавляя к общему весу, который нужно поднимать при движении в гору.

## 2. Если поезд движется со скоростью 90 километров в час, то какие части поезда движутся в обратном направлении с приблизительно скоростью в 15 километров в час?

В этом разделе мы имеем целью показать, что, например, когда курьерский поезд движется с вышеупомянутой скоростью, то в локомотиве, вагоне и тендере всегда найдутся небольшие части, которые движутся в обратную сторону со скоростью 15 километров в час. Почему это возможно?

➡ Возьмите круглую пластинку величиною в один рубль и проведите на ней радиус  $AC$  (рис. 4). Положите эту пластинку на стол против края плоской, тонкой линейки или другого предмета, более тонкого, чем пластинка, и положите ее так, чтобы она касалась линейки в точке  $C$ . Теперь катите пластинку вперед и назад вдоль линейки так, чтобы точка  $B$  передвигалась на 2–3 мм. Даже внимательно наблюдая, нельзя заметить движение точки  $C$ . Только тогда можно заметить движение точки  $C$  от края линейки, когда мы станем катить пластинку несколько дальше, чтобы точка  $B$  передвинулась на 4–5 мм. В противном случае мы не заметим движение точки по направлению линейки ни вперед, ни назад. ➡

Этот опыт можно проделать в большем масштабе, если мы подкатим велосипед к какому-нибудь вертикальному препятствию, например к стене дома. Теперь отметим мелом черту на самой нижней точке колеса и на земле под этой точкой. Если потом откатим велосипед от стены, так чтобы он отъехал на 25 мм, то нам покажется, что отмеченное место на колесе еще не сдвинулось. А если мы медленно покатаем велосипед дальше, то первое заметное движение отмеченной точки будет движение от земли, т. е. по направлению кверху.

И даже теперь мы еще не заметим, чтобы отмеченная черта удалилась от стены.

✎ Итак, у всех колес и при всяких скоростях часть колеса, которая касается земли, в течение весьма короткого промежутка времени в действительности не обладает никаким движением.

И в том случае, когда поезд пробегает 1 км в минуту, в его каждом колесе в любой момент существует такая точка (самая низкая

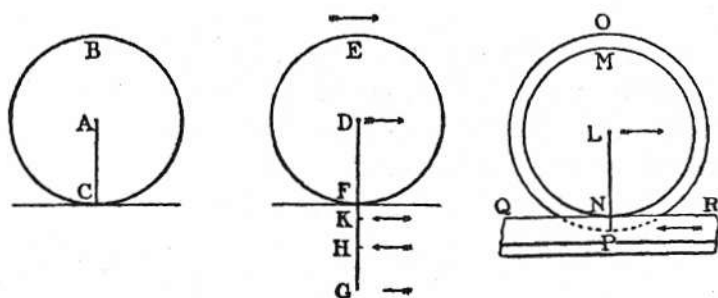


Рис. 4. Доказательство того, что некоторые части вагона движутся в обратном направлении

часть колеса), которая касается в данный момент рельса, и которая по существу не имеет никакого движения.

➡ Теперь возьмем тонкую палочку, которая вдвое больше расстояния  $AC$ , и наклеим ее на кружок в положение  $DG$ , так чтобы она на половину своей длины выходила за край кружка. Затем приведем кружок в прежнее положение, т. е. так, чтобы точка  $F$  была против края линейки и так, чтобы  $FG$  выходило за край.

Катите теперь кружок немного вперед и назад, все время наблюдая точку  $G$  на конце палочки. Тогда будет заметно, что она по сравнению с точкой  $D$  движется в противоположном направлении, так что когда  $D$  переместится вдоль линейки на 1 мм вправо, то  $C$  переместится на 1 мм влево. А точка  $F$  при этом служит центром окружности с диаметром  $DG$  и концы этого диаметра движутся в противоположных направлениях.

Точка  $H$ , которая отстоит от  $F$  на расстояние вдвое меньшее, чем  $G$ , подвинется за тот же промежуток времени на расстояние вдвое меньшее, т. е. будет двигаться назад с  $1/2$  той скорости, с какой точка  $D$  двигается вперед. Если расстояние  $FK$  составляет  $1/6$   $FG$ , то  $K$  подвинется назад на  $1/6$  того расстояния, которое  $D$  пройдет вперед. Если  $EF$  изображает колесо, а  $D$  ось, при помощи которой оно прикрепляется к экипажу, то точка  $D$  всегда будет иметь одинаковую скорость с экипажем, а между тем точка  $F$  будет неподвижна в тот момент, когда колесо коснется земли. И в этот самый момент некоторая точка  $K$ , которая неподвижно связана с колесом, станет двигаться в обратном направлении со скоростью, равной  $1/6$  той скорости, с которой экипаж движется вперед, совершенно независимо от величины этой скорости. ➡

С подобным случаем мы встречаемся в колесе железнодорожного вагона.  $OP$  есть край колеса, который выдается над катящейся окружностью  $MN$ .

Если радиус  $LN$  равен в длину 48 см, а край имеет в ширину 8 см, то точка  $P$ , лежащая на 8 см ниже поверхности рельса, в этом случае движется со скоростью, составляющей лишь  $1/6$  скорости оси, и следовательно, составляющей также  $1/6$  скорости поезда — и притом в обратном направлении.

Таким образом, если поезд движется со скоростью 90 км в час на запад по направлению к Гамбургу, то каждое колесо, каждого вагона, во всякий момент, на выступающем крае имеет часть окружности, которая движется со скоростью 15 км в час на восток, по направлению к Берлину.



### 3. Кажущаяся польза от ломаного шатуна у велосипедов

Из всех частей велосипеда ни одна не занимала так изобретателей, как шатун и его движение. Было сделано много попыток изобрести приспособление, сообщаящее ноге иное движение, чем круговое.

Две цели преследовались главным образом: во-первых, увеличить плечо рычага, на которое опирается нога, и во-вторых, сократить длину пути, проходимого ногой.

Автор этой книги видел на выставке модель одного изобретателя, который пробовал разрешить вопрос об увеличении того плеча рычага, на которое давит нога, не увеличивая длины пути, проходимого ногой, приспособлением значительно более простым (по мнению изобретателя), чем изобретенные до сих пор сложные механизмы. (Этот шатун изображен на рис. 5.)  $C$  есть место прикрепления педали, положение махового колеса и цепи указаны пунктирными линиями.  $AC$  равно длине прямого шатуна.

Соображения изобретателя сводились к следующему. Во-первых: если длина части шатуна  $AB$  будет больше длины всего шатуна ( $AC$ ), то при помощи педали, прикрепленной в  $B$ , вращательная сила ноги может быть использована гораздо выгоднее. Но при этом ноге пришлось бы делать очень длинный путь, т. е. окружность радиуса  $AB$ ; поэтому рычаг  $BC$  приделывается под острым углом к  $AB$ , и педаль  $C$  может быть на обычном расстоянии от оси. Во-вторых угол  $ABC$  должен быть таким, чтобы, в то время как плечо  $AB$  начинает наиболее важную часть пути, плечо  $BC$  стояло вертикально, и поэтому давление ноги (в  $C$ ) непосредственно могло бы передаваться в  $B$ , где оно вращало бы  $AB$  с такой же силой, как если бы педаль была в  $B$ . Для людей, обладающих некоторой долей знания в механике или имеющих какие-либо практические сведения о механических приспособлениях, обманчивость этих утверждений вполне очевидна.

Большинству же следующее рассуждение покажет, что доводы изобретателя противоречат здравому человеческому смыслу. Действие плеча рычага определяется его длиной, т. е. в этом случае расстоянием между осью шатуна и педалью. Форма плеча рычага не может влиять на действие силы, конечно, пока плечо достаточно прочно, чтобы не согнуться. Оно может быть совершенно прямым, как в простом велосипеде; оно может быть изогнуто в виде буквы  $Z$ ,

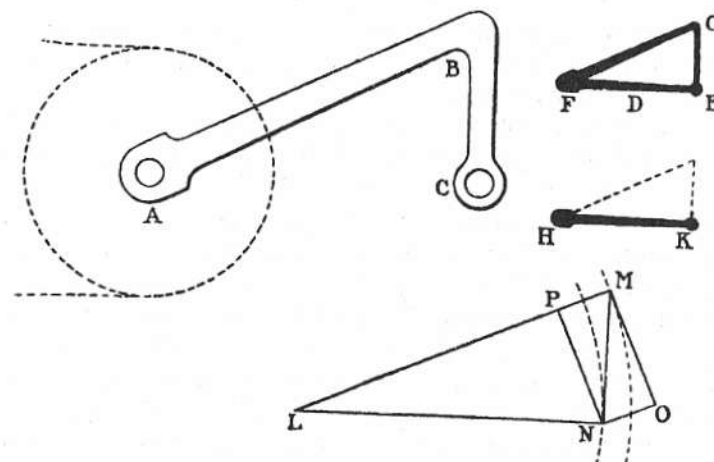


Рис. 5. Ломаный шатун

как это встречается в шатунах на станках странствующих точильщиков; или же оно может иметь вид круга, это часто бывает на кранах, с помощью которых поднимают тяжести на борт парохода. Форма не играет никакой роли для плеча рычага, к которому приложена сила; длина его всегда равна расстоянию точки приложения силы (педали) от оси вращения. Посмотрим ломаный шатун нашего изобретателя. Благодаря тому, что он сделан из твердого металла,  $C$  всегда будет находиться на одном и том же расстоянии от  $A$ . Поэтому можно ввести твердое металлическое соединение  $AC$ , как это изображено линией  $D$ , действие, конечно, от этого не изменится. Отсюда мы можем удалить и части  $AB$  и  $BC$ , ( $CF$  и  $GE$ ), и останется только  $EF$  ( $HK$ ). Другими словами, прямой рычаг  $AC$  или  $HK$  будет иметь такое же действие, как обыкновенный ломаный шатун  $ABC$ , если предположить, что расстояние  $HK$  равно  $AC$ .

Доказав, что  $ABC$  можно заменить через  $AC$ , мы опровергли второе утверждение, что если применить ломанный шатун, мы лучше используем силу ноги, но все-таки рассмотрим подробнее и это обстоятельство. Угол  $LMN$  пусть будет равен углу  $ABC$ . Сила, приложенная в  $N$ , имеет вертикальное направление и передается в  $M$  посредством  $MN$ . Изобразим величину этой силы отрезком  $MN$ . Угол  $LNM$  прямой, так как  $LN$  лежит горизонтально. Здесь ошибка заключается в том, что изобретатель считает, что направление  $MN$ , к которому приложена эта сила, совпадает



с направлением движения. На деле направление определяется линией  $MO$  и поэтому не вся сила, представленная отрезком  $MN$ , затрачивается на вращение.

Чтобы найти, какая часть силы будет использована, строят «параллелограмм сил», проводя через  $N$  прямые, параллельные  $MO$  и  $PM$ . Тогда мы видим, что сила  $MN$  в  $M$  разлагается на две силы, из которых одна по величине и направлению изображается отрезком  $PM$  и уничтожается давлением твердого шатуна, а другая изображается отрезком  $MO$  и затрачивается в  $M$  на вращение шатуна. Но  $MO$ , как катет прямоугольного треугольника, меньше гипотенузы  $MN$ ; таким образом, изобретатель неправ, предполагая, что сила  $MN$  использована полностью. Теперь представим себе, что сила не переносится при помощи отрезка рычага  $MN$  из  $N$  в  $M$ , а представим себе, что, как это мы делали раньше, ломаный шатун заменен прямолинейным  $LN$  и к концу его  $N$  приложим силу  $MN$ ; тогда направление силы совпадет с направлением касательной, и сила (когда  $LN$  в горизонтальном направлении) будет использована целиком. Но теперь она приложена к более короткому плечу рычага  $LN$ , и потому мнимый выигрыш силы снова теряется. Будет ли давление ноги приложено в  $N$  к прямому шатуну  $LN$  или же оно передается в точку  $M$  плечу  $LM$ , оно в обоих случаях оказывает одинаковое действие; и безразлично, прилагается ли полная сила  $MN$  к более короткому плечу рычага или меньшая сила к более длинному плечу.

Несмотря на это, изобретатель, экспонировавший шатун, мог опубликовать благоприятные печатные отзывы людей, пользовавшихся ломаным шатуном, доказывающие, что при помощи подобного приспособления они получили при езде значительный выигрыш силы, так что им в некоторых случаях удавалось преодолеть такие крутые подъемы, справиться с которыми раньше они пытались совершенно безуспешно. Чем объяснить это противоречие? Отчасти можно тем, что условия во время опыта были исключительно благоприятны. Велосипед был, может быть, новым и более совершенным в других отношениях. Дороги, возможно, были более гладкими, чистыми и твердыми, чем обыкновенно. Ветер также мог быть более благоприятным, и на это могли не обратить достаточного внимания, или ездок как раз в это время был сильнее, чем прежде.

Но более важное значение, чем все эти причины, имело душевное состояние ездока и влияние этого состояния на телесные силы. Он заинтересовался новым открытием, надеялся, что оно знаменует собой известный прогресс. Возможно, что он уже высказался

в пользу открытия — по теоретическим соображениям; он надеялся, что оно окажется очень полезным, и старался оправдать свое мнение на практическом опыте. Воодушевленный всем этим, он был способен к более решительным и продолжительным усилиям, и благодаря этому взобрался на холм, который до тех пор был ему недоступен.

Влияние духа на тело известно, и этот случай есть лишь новый пример. Ездок не понимает, что причина, увеличившая его силы, имеет психологическую, а не механическую природу, а изобретатель пожинает плоды этого непонимания. Не стоит ему завидовать! Прибыль изобретателя в общем довольно ничтожна.

## Глава 2

## Движения катящихся и летящих тел

### 1. Разумные бильярдные шары

► Расположим три бильярдных шара  $A$ ,  $B$ ,  $C$  (рис. 6) одинаковой величины на одной линии вдоль борта бильярда, так чтобы шары касались друг друга, и на продолжении этой линии, на расстоянии 15 см от  $C$ , поместим еще один шар  $D$ .

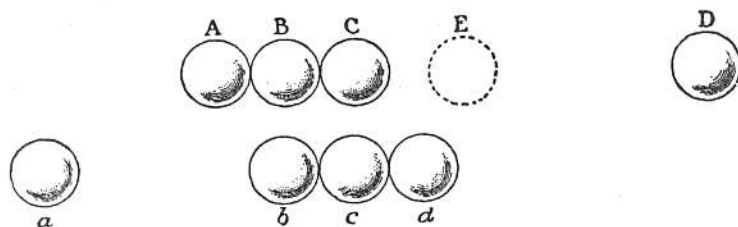


Рис. 6. Передача движения

Теперь дадим шару  $D$  легкий толчок по направлению к  $C$ , этим подвинем шар до положения  $E$  и затем предоставим его самому себе. Когда прекратится движение, то шары будут иметь положение  $a, b, c, d$ , представленное на рис. 6. Шар  $D$  остановился, заняв приблизительно то положение ( $d$ ), в котором он находился, когда толкнул остальные шары. Шары  $B$  и  $C$  остались на тех самых местах, где они и были, но шар  $A$  откатился по направлению движения шара  $D$  до точки  $a$ . Шар  $A$  начал двигаться как будто в тот самый момент, когда шар  $D$ , ударив по шару  $C$ , остановился. Кроме того, шар  $A$  начал, по-видимому, двигаться с такой точно скоростью, с какой шар  $D$  окончил свое движение. При этом шар  $A$  откатился (преодолевая трение) как раз на такое расстояние, на какое переместился бы шар  $D$ , если бы его движение не было прервано другими шарами. ◀

Как же объяснить, что только шар  $A$  приходит в движение? И дальше, чем объяснить, что как бы ни изменять скорость шара  $D$ , как бы ни увеличивать или уменьшать число шаров в покоем ряду, то все равно шар  $A$  «знает» точно, с какой скоростью начать движение и где остановиться?

Возьмем пока без объяснения тот факт, что шар  $D$  в положении  $d$  внезапно останавливается. И тогда ясно, что вместо этого внезапно прекратившегося движения должно наступить движение другого шара, так как дело касается лишь подвижных тел. Действительно, мы видим, что когда шар  $D$  теряет всю свою «энергию движения», приходит в движение шар  $A$ . Но так как это невозможно без содействия шаров  $B$  и  $C$ , то возникает вопрос: как объяснить, что шары  $B$  и  $C$  не участвуют в движении? Почему энергия движения не распределяется равномерно между всеми шарами  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  таким образом, чтобы все четыре шара двигались дальше, но, конечно, медленно и не так далеко, как в том случае, когда вся энергия передалась одному шару  $A$ ?

Но с чем мы сейчас познакомились еще не является самым поразительным.

Представим, что речь идет о 4, 5, 6 или 7 покоящихся шарах, и мы вместо одного толкающего шара покатаем к этим спокойно лежащим шарам разом 2 или 3 шара, которые тоже лежат в одном ряду и касаются друг друга. Тогда шары, лежавшие в покое и получившие толчок, проявят еще большую степень «разумности».

✎ Кажется, будто они знают, сколькими шарами произведет толчок, и поэтому сами всегда приведут в движение точно такое же количество шаров из своего ряда.

Чтобы объяснить это загадочное явление, нам понадобятся в дальнейшем два понятия — «работа» и «энергия».

Говорят, что тело совершает **работу**, если оно передвигает массу своего или другого тела на какое-нибудь расстояние.

Если удвоить или утроить массу или расстояние, тогда работа тоже удваивается или утраивается.

**Способность** тела совершать такую работу называется **энергией**.

Так какдвигающийся шар в состоянии привести в движение другой шар, то он обладает известной **энергией** (энергия движения)<sup>1)</sup>.

Эта энергия становится тем больше, чем больше масса шара (или шаров) и чем скорее он двигается; эта энергия удваивается или утраивается, когда масса шара становится вдвое или втрое больше.

В нашем опыте мы предположим, что толкающая рука движется всегда с одной и той же силой, а следовательно, и толкаемый ею шар движется также с одной и той же скоростью, так что имеет значение только величина массы (т. е. число шаров).

Следующее понятие, которое нам необходимо, — это **«инерция»**, т. е. стремление тела сохранить свое состояние (сравни ч. 1, гл. 3, разд. 1).

В данном случае лежащие в ряду шары обладают инерцией. Это сказывается в том, что мы не можем коротким непродолжительным ударом подвижного шара передвинуть на значительное расстояние весь ряд. Наконец, надо помнить, что шары сделаны из слоновой кости и поэтому очень эластичны, т. е. что они от влияния напора или удара меняют свою форму (делаются более плоскими), и затем стремятся принять опять свой первоначальный шарообразный вид.

Если мы примем во внимание вышеуказанные понятия, то мы можем объяснить себе эти явления.

**Объяснение** Рассмотрим сначала тот случай, когда один шар приведен в движение. Этот шар, ударяющий в ряд других шаров, не может преодолеть инерцию всего ряда, как, например, непродолжительный удар кулаком или молотком в открытую дверь не в состоянии подвинуть последнюю.

Однако первый шар лежащего ряда от удара деформируется и делается более плоским; расширяясь, этот шар деформирует, в свою очередь, второй шар, второй шар — третий и т. д., и через все шары пройдет *волна сжатия* или, как принято говорить, волна упругой деформации. Энергия движения ударяющего шара превратилась при этом в энергию волны упругой деформации. Как только

<sup>1)</sup> Далее об энергии см. ч. 1, гл. 3, разд. 4.

эта волна достигает последнего шара, она не находит более сопротивления, если не принимать во внимание трения последнего шара о сукно (подстилку). Поэтому энергия волны может опять превратиться в энергию движения, и последний шар начинает двигаться со скоростью, приблизительно равной скорости ударившего шара.

Рассмотрим теперь случай, когда в ряд шаров ударяют два шара, следующих на некотором расстоянии друг за другом. От удара первого шара, как и раньше, откатится один шар — последний в покоящемся ряду, и через некоторое время от удара второго шара откатится еще один шар — предпоследний в покоящемся ряду, т. е. всего придет в движение 2 шара. Теперь мы можем понять, что произойдет и в том случае, если удар на ряд шаров произведен сразу двумя шарами, следующими непосредственно друг за другом. Первый движущийся шар ударит в первый покоящийся шар и, сообщив ему упругую деформацию, сам остановится, заняв место между первым покоящимся и вторым движущимся шаром, удлинив таким образом весь ряд покоящихся шаров на один шар.

Следует еще заметить, что между моментом, когда происходит удар шаров, и тем моментом, когда последний из ряда покоящихся шаров начинает двигаться, проходит некоторое, хотя и очень короткое время. Это то время, которое необходимо, чтобы упругая деформация, сообщенная первому шару, прошла через весь ряд шаров и достигла бы последнего шара.

Второй движущийся шар ударит поэтому не в первый покоящийся, а в первый движущийся шар, который только что остановился. Он сообщит ему упругую деформацию, которая достигнет первого покоящегося шара лишь через некоторое время.

Таким образом, удар двух движущихся шаров состоит из двух импульсов, следующих один за другим через очень короткий промежуток времени. Раз это так, то с другого конца ряда должно откатиться два шара со скоростью, равной скорости движущихся шаров. Точно так же объясняется и тот случай, когда движущихся шаров более двух. ■

## 2. Бросание шара за угол

С этим занятием мы все знакомы в том случае, если плоскость угла вертикальна. Всякий мальчик знает, что если ему хочется попасть в полицейского снежком как раз в нижнюю пуговицу

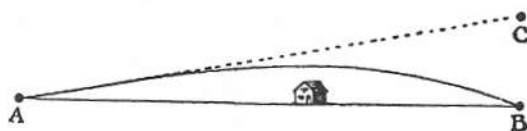


Рис. 7. Отклонение снаряда от его первоначального направления

мундира, — с такого, конечно, расстояния, которое позволяло бы произвести этот опыт вполне безопасно, — то следует целиться гораздо выше, — приблизительно в острие каски. Причина этого лежит в неизбежном падении под действием силы тяжести, каковое движение совершает всякий брошенный предмет во время полета. Ружья и пушки также должны быть направлены в точку, расположенную гораздо выше той, в которую желают попасть. Так, например, пуля, вылетевшая из ружья, помещенного в точке *A* (рис. 7) может попасть в человека, который находится в *B*, и которого не видно из точки *A*, причем она пролетит над крышей дома, лежащего между этими точками. Выстрел был произведен по направлению пунктирной линии *AC*. А так как пуля фактически достигла точки *B*, то можно сказать, что она летела вниз — «под углом». Объяснение отклонения от своего первоначального направления лежит в том, что есть сила, заставляющая пулю или снаряд опускаться вниз: это сила тяжести, величину которой мы можем измерить по весу снаряда.

Если сила тяжести могла бы действовать горизонтально, то она могла бы заставить снаряд отклониться «на некоторый угол» в сторону, т. е. именно так, как мы обыкновенно понимаем выражение «за угол». Правда, сила тяжести не может так действовать, зато есть другие силы, которые в состоянии оказывать такое действие.

Например, ветер, когда, он дует перпендикулярно к направлению летящего снаряда, заставляя пулю уклониться от ее первоначального пути. Это действие бывает настолько значительно, что всегда при прицеле приходится с этим считаться. Но это непрерывно действующая внешняя сила. Может ли также какая-нибудь мгновенная сила, действующая на пулю или на шар, сообщить им стремление уклониться от первоначального пути? В действительности это возможно и осуществимо, например, в таких играх, как крокет, теннис и бейсбол. На рис. 8 *A* и *E* представляют из себя шары, которые двигаются по направлению большой стрелки, именно слева направо. Шары изображены так, как они кажутся, когда мы их рассматриваем сверху, т. е. плоскость бумаги предполагается

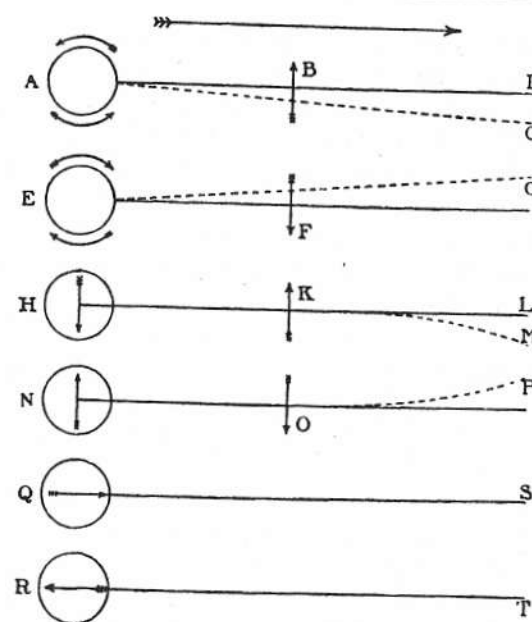


Рис. 8. Отклонения шаров от их направления движения

лежащей горизонтально. Сообщим шару *A* вращательное движение вокруг вертикальной оси в момент бросания шара, как это указано кривыми стрелками. Передняя поверхность шара, обращенная к *D*, станет тогда передвигаться по направлению стрелки *B* и будет вместе с тем стремиться в том же направлении перемещать и воздух, находящийся перед шаром. Но как объяснить, что шар смещается в противоположном направлении? Закон «равенства действия и противодействия» это вполне объясняет.

➡ Это можно выяснить на следующих примерах. Если кто-нибудь, находясь в лодке, толкает человека, стоящего на мосту, то этим самым он вызывает не только движение человека от лодки, но и движение своего собственного тела, а следовательно, и лодки от моста. То же самое случается, когда мы, сидя на качелях, толкаем кого-нибудь; этим приводится в движение не только человек, которого мы толкнули, но и мы сами начинаем двигаться, и притом в противоположном направлении. Также и гребля может служить примером, так как лодка движется в направлении, обратном тому, в котором весло стремится сдвинуть воду. ➡



То же самое будет, когда передняя поверхность шара сдвигает воздух по направлению стрелки  $B$ ; в подобном случае шар, в свою очередь, испытывает смещение в противоположном направлении. Следствием этого будет движение шара по пунктирной линии  $C$  вместо ожидаемого движения по прямой линии  $D$ .

Если бы шар вращался на одном месте, то передвижение воздуха, вызванное передней поверхностью, о которую он испытывает трение, уравновесилось бы смещением в противоположную сторону тех масс воздуха, которые приводятся в движение задней поверхностью шара.

Совсем иначе обстоит дело в данном случае. Шар движется от  $A$  к  $D$ . При этом он сжимает воздух, который находится впереди него, позади же его образуется разреженное пространство. Поэтому сопротивление, испытываемое передней поверхностью шара, вследствие трения о воздух, больше, чем то же сопротивление, испытываемое его задней поверхностью. В этом и заключается причина, вследствие которой мы в нашем рассуждении для простоты опускаем сопротивление воздуха на заднюю поверхность шара. Когда мы сообщим шару вращение в противоположном направлении (рис. 8,  $E$ ), то его передняя поверхность двигается по направлению стрелки  $F$  и гонит воздух в том же направлении. Следствие этого: шар отклоняется в противоположном направлении и летит по пунктирной линии  $G$ .

Теперь сообщим шару вращение вокруг горизонтальной оси в тот момент, когда его бросают в горизонтальном направлении; и пусть ось вращения совпадает с тем направлением, в котором мы бросаем шар. Стрелка  $H$  указывает направление, по которому перемещается верхняя сторона шара, стрелка  $K$  указывает то же направление для его нижней стороны. Это вращение вначале не отклонит шара от его первоначального движения по направлению  $HL$ . Действительно, так как воздух над шаром и под ним имеет ту же степень разрежения, то сопротивления его при трении о верхнюю и нижнюю поверхности шара будут взаимно уничтожаться. Однако это имеет значение лишь на первое время. После же того, как шар уже прошел некоторое расстояние и обнаружил заметное движение книзу, его нижняя поверхность начинает сгущать воздух, между тем как над верхней поверхностью образуется разреженное пространство. Теперь мы имеем то же самое, что и в нашем первом опыте. В то время, когда шар смещал в сторону тот сгущенный воздух, который терся об его нижнюю поверхность по направлению  $K$ ,

сам он испытывал сопротивление, которое отклоняло его по направлению  $M$ . Таким же образом вращение в противоположном направлении ( $N$ ) вызывает отклонение шара в направлении  $P$ .

В первом из рассмотренных главных случаев ось вращения шара имела вертикальное положение, а во втором случае лежала горизонтально и совпадала с горизонтальным направлением движения шара; но можно представить себе еще и третий случай: именно, когда горизонтальная ось вращения перпендикулярна к направлению движения шара. В этом случае плоскость вращения лежит вертикально и имеет то же направление, как и брошенный шар. На рис. 8 в случае  $Q$  показано, что верхняя поверхность шара перемещается вследствие вращения его в направлении стрелки. В случае  $R$  вращение шара имеет противоположное направление. Шар  $Q$  движется по направлению к  $S$ , а шар  $R$  по направлению к  $T$ . В первом случае ( $Q$ ) передняя поверхность шара передвигается сверху вниз и также перемещает вниз находящийся перед нею сгущенный воздух. «Противодействие» стремится сместить шар кверху, другими словами, препятствует падать с той скоростью, с какой он падал бы, если бы не вращался. Иначе: дальность полета шара увеличивается. Во втором случае ( $R$ ), наоборот, передняя поверхность перемещает воздух вверх, а благодаря противодействию, шар отталкивается книзу, так что он падает быстрее, чем под действием одной силы тяжести.

Вращение играет важную роль в различных играх; оно является причиной того, что игроки ошибаются в своих предположениях относительно движения шара; два описанных вращения могут происходить вместе, вследствие чего полет шара усложняется еще более.

В играх в крокет и теннис это еще усложняется оттого, что вращение оказывает влияние на направление шара в момент его отражения.

Этот раздел относится лишь к отклонению, которое испытывает шар благодаря вращению во время полета в воздухе.

Это действие вращения играет важную роль в игре бейсбол, в которой тот, кто ударяет шар, должен поймать его во время его полета, т. е. пока еще шар не коснется земли. Некоторые искусные игроки умеют пользоваться как вращением  $H$ , так и вращением  $N$ . Они бросают шары так, что они летят большую часть своего пути прямо, но в конце делают неожиданный поворот. Такие лица могут бросать шар так, что он, не прерывая своего полета, может лететь за угол дома и исчезнуть из глаз бросившего.

### 3. Бумеранги

Среди различных оружий и изобретений диких народов ничто не вызывало такого интереса, как бумеранг туземцев Австралии (см. рис. 10), особенно благодаря рассказам об его исключительных свойствах. Рассказывают, что он в состоянии описывать в воздухе окружности, петли и даже фигуры в виде восьмерки, что бумеранг может, попав в дичь, снова вернуться к бросившему его охотнику, что он может также, облетев вокруг дома, вернуться с другой стороны и что он, возвращаясь обратно, может опуститься позади бросившего его.

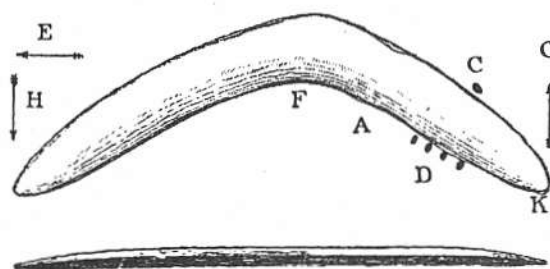


Рис. 9. Обычная форма бумеранга

Бумеранг представляет собой плоский тонкий кусок твердого дерева с острыми краями и слегка вогнутой серединой. На рис. 9 представлен обыкновенный бумеранг, но только если на него смотреть сбоку или сверху. Угол, образуемый обоими концами, не имеет определенной величины и обуславливается обыкновенно лишь направлением волокон дерева. Его оба колена не всегда лежат в одной плоскости, но немного повернуты относительно друг друга так, что передний край одного колена слегка выдается вперед, между тем как задний край направлен книзу.

Действия бумеранга зависят не только от его формы, но также и от способа его употребления. Благодаря своей плоской форме бумеранг похож на лист, кусок бумаги или жести, и поскольку дело касается его плоской формы, можно было бы ожидать, что он обнаружит такие же свойства, как один из этих предметов. Если мы теперь будем наблюдать за падением названных предметов с некоторой высоты, то заметим, как они, вместо того чтобы плавно



Рис. 10. Австралиец, бросающий бумеранг

и непрерывно скользить вниз одним и тем же краем, падают, совершая многочисленные разнообразные движения. Осенью падающие с деревьев листья часто вращаются во время падения, постоянно оборачиваясь вокруг себя. Другие делают род колебательных движений, описывая при падении зигзагообразный путь. А некоторые кружатся, то держась горизонтально, то наклоняясь одним концом ниже, чем другим, описывая поверхность конуса.

Но ни одно из этих движений не приспособлено, чтобы направить наше оружие уже после того, как оно будет выпущено из рук, к заранее намеченной цели. Совсем иначе обстояло бы дело, если бы оружие наподобие птичьего крыла могло сохранять приблизительно горизонтальное положение. В таком случае оно, как птица, могло бы непрерывно парить в воздухе. И притом сопротивление воздуха в значительной степени замедляло бы его падение. А чтобы избежать неправильных движений и опрокидывания и чтобы бумеранг во все время движения был направлен острым краем вперед, бросающий должен в момент метания бумеранга «что-то» сделать. Это «что-то» состоит в том, что бумеранг заставляют вращаться в горизонтальной плоскости, т. е. приблизительно вокруг вертикальной оси.

В разделе о гироскопе (см. ч. 1, гл. 3, разд. 1) мы увидим, что тело, приведенное во вращательное движение, оказывает значительное сопротивление при всякой попытке изменить его плоскость



вращения. Его легко можно двигать назад и вперед, в сторону, вверх и вниз, и не встретить другого противодействия, кроме того, которое может оказать его вес. Но как только мы попробуем придать ему другой наклон, так чтобы тело вращалось в другой плоскости, оно станет сейчас же сопротивляться этому изменению с энергией, которая совершенно отличается от энергии силы тяжести.

В подобном вращении мы имеем, следовательно, средство вызвать устойчивое движение.

Таким образом, мы имеем возможность в самом начале воспрепятствовать малейшему стремлению тела отклониться от наменного пути.

Бросающий бумеранг сообщает ему также стремление двигаться в определенном направлении. Способ, посредством которого немного искривленные края бумеранга прорезывают воздух, очень скоро заставил бы его делать неправильные движения, которые вскоре, если им дать возможность увеличиться, могли бы превратиться в колебательное движение или свелись бы к непрерывному опрокидыванию бумеранга, какое мы видим при падении листьев бумаги и тому подобных предметов. Но вращение, которое сообщено брошенному телу, уничтожает все эти неправильности движения в самый момент их возникновения.

Способ, как произвести вращение бумеранга, виден на рис. 9. Предположим, что оружие бросается по направлению стрелки  $E$ , т. е. справа налево, и как раз мы наблюдаем его в тот момент, когда находящаяся под ним рука бросает его. В момент, когда большой палец  $C$  бросает оружие, остальные пальцы в  $D$  являются препятствием, и чтобы миновать их, бумеранг должен повернуться по направлению стрелок  $G$  и  $H$ . Затем вращение ускоряется толчком в сторону  $G$ .

Этим, конечно, еще не объяснены те особенности полета бумеранга, которыми он так известен. К числу их принадлежит, во-первых, тот факт, что бумеранг может вернуться к бросившему его. Пусть на рис. 11  $AB$  изображает бросающего, а пунктирная линия  $AC$  — направление, в котором он бросает. Если бы  $AC$  было плоской поверхностью отполированного металла, в виде наклонной крыши, и бумеранг был бы брошен вдоль этой гладкой поверхности, то, достигнув той высоты, которую ему сообщил бы первоначальный толчок, он просто повернулся бы и, падая, возвратился бы снова к тому месту, из которого он был брошен. В действительности бумеранг поддерживается таким же точно образом, хотя и не при помощи металлической плоской поверхности. Если он брошен так,

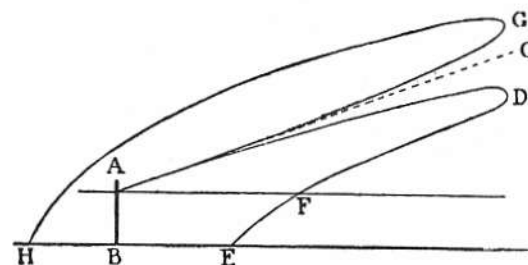


Рис. 11. Пути, описываемые бумерангом

что одна его поверхность обращена кверху, а другая книзу, и он поддерживается в этом положении вращательным движением, то он опирается на воздух, как бумажный змей или как крылья летящей птицы. Подобно этим последним, он не имеет твердой опоры, воздух поддается, и он постепенно опускается вниз; вместо направления  $AC$ , в котором он был брошен, он следует по не пунктирной линии и в точке  $D$  поворачивается, падая все медленнее и медленнее и скользя назад по воздуху, почти как по металлической поверхности, хотя и продолжая все время падать. Так достигает он высоты  $F$ , с которой он начал подниматься, и, продолжая двигаться до земли, почти достигает ног бросившего его.

Сходный опыт можно выполнить и без бумеранга, если бросить наклонно вверх прямоугольный кусок легкой, не гибкой папки (картона), держа его за один конец и сообщив ему быстрое вращение.

Бумеранги не все совершенно одинаковой формы. Рассматривая их ближе, мы заметим, что у некоторых острый край не совсем прямой, как на рис. 9, а устроен так (рис. 12), что конец острого края  $A$  лежит приблизительно на высоте верхней поверхности, а конец  $B$  приблизительно на высоте нижней поверхности.

Бумеранг в этом случае похож на маленькое колесо ветряной мельницы, как представлено на рис. 12. У этого колеса косые крылья.

Предположим, что оно вращается так, что левые крылья двигаются вперед; тогда верхние края  $C$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $F$  выступают вперед и, прорезывая воздух, стремятся скользнуть по нему вверх. Вращение происходит с помощью шнура, который намотан на ось, прикрепленную к колесу. Если вращение быстро и колесо достаточно велико, то оно взлетит до потолка и может даже подняться на высоту дома.

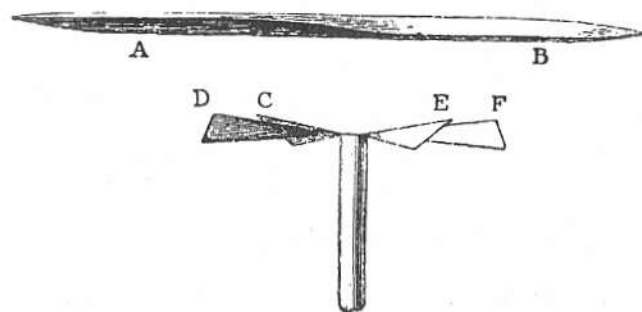


Рис. 12. К объяснению винтовых движений бумеранга

Бумеранг такой формы, какая помещена на рис. 12, очевидно, вполне сходен по своему строению с таким колесом; правда, он имеет лишь 2 крыла, причем по сравнению с поверхностью они значительно тяжелее. Но до некоторой степени бумеранг может обнаружить те же явления, если сообщить ему подобное вращение. Если бумеранг, изображенный на рис. 12, вращается так, что конец *A* направлен к читателю, то каждый из его концов будет стремиться подняться, и притом с силой, пропорциональной силе вращения. Таким образом, стремление бумеранга подняться может уничтожить падение, которое обусловлено силой тяжести. Вместо пути *ADFE* на рис. 11 бумеранг может лететь в направлении линии *AC* и может по ней возвратиться. Если же сообщим ему вращение сильнее, то он поднимется над этой линией, пройдет приблизительно путь *AGH* и, следовательно, упадет на землю позади бросившего его.

Но бумеранг может совершить еще более поразительные вещи; он может описывать окружности, эллипсы и сложные фигуры. Чтобы понять, как это происходит, мы должны вспомнить, что бумерангу сообщается одновременно не только вращательное движение, но еще и сильное движение вперед. Представим, что последнее движение на рис. 12 происходит перпендикулярно к странице нашей книги, а вращение происходит точно так же, как было указано прежде. Следовательно, конец *B* движется сквозь страницу вперед, а конец *A* приближается к читателю. Теперь понятно, что каждый конец, находясь по правую сторону, прорезывает воздух энергичней и быстрее, чем когда находится слева. Действительно, конец с правой стороны имеет скорость всего оружия, которая,

кроме того, *увеличена скоростью вращения*, а конец левой стороны обладает скоростью оружия *без последней скорости* вращения. Так как вследствие этого косая нижняя сторона бумеранга ударяется по воздуху с правой стороны значительно сильнее, чем с левой, то правый конец гораздо больше стремится подняться, чем левый. Рассматривая гироскоп, мы увидим, что если внешняя сила стремится менять в определенном направлении плоскость вращения какого-нибудь тела, то это изменение удастся не легко и притом получается некоторый компромисс между прежним состоянием и тем, в которое стремится привести его сила. Этот компромисс заключается в нашем случае в том, что не только просто правый конец подымается выше левого, а еще и в том, что одновременно поднимается отдаленный от читателя край. Результатом всего этого является поднятие правой передней четверти бумеранга. Изменение плоскости вращения сказывается далее также в общем изменении направления самого полета. Действительно, когда передний край лежит выше заднего, тогда оружие уже не обращено острым краем к воздуху. Нижняя плоскость его сталкивается с воздухом в более наклонном положении, чем прежде, и в результате является стремление описать дугу вверх и налево.

Так как причины продолжают действовать во все время полета, то происходит сложение их действий, так что бумеранг в конце концов может описать или часть окружности, или целую окружность, или даже больше окружности.

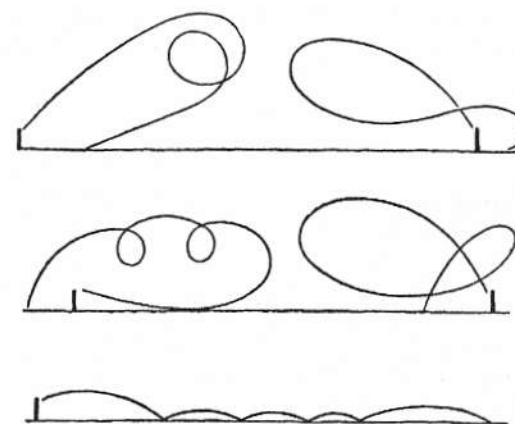


Рис. 13. Пути, которые бумеранг может описывать во время полета

Благодаря чрезмерному поднятию одной стороны, иногда бумеранг переворачивается, и как это, так и другие изменения, которые могут произойти благодаря вращению, приводят к дальнейшим осложнениям в его полете. Но было бы слишком трудно разбирать каждый случай в отдельности. Рис. 13 изображает некоторые действительные пути полета, между прочим и замечательное движение вдоль земли, при котором бумеранг несколько раз отскакивает от ее поверхности. Вертикальный отрезок изображает бросающего.

☛ Человеку, обладающему ловкими и хотя бы немного умелыми руками, совсем не трудно вырезать из подходящего куска дерева подобный инструмент, конечно, после некоторых попыток.

С подобным бумерангом он может на опыте проверить только что описанные случаи. Иногда можно и у нас случайно купить такой бумеранг.

За отсутствием хорошего бумеранга, можно воспользоваться обыкновенной визитной карточкой, чтобы вырезать из нее подобный инструмент для метания. Положив его на одну руку, ему дают щелчок большим и указательным пальцем другой руки или же его держат за один конец и бросают наклонно вверх, сообщив ему по возможности быстрое вращение. Лучших результатов с нашим бумажным бумерангом можно достигнуть с помощью небольшого самодельного метательного аппарата изображенного на рис. 14.

Такой прибор готовится из доски, имеющей толщину 1 см, длину 25 см и ширину 12 см. На одной стороне часть выпиливается, как изображено на рисунке.

*AB* представляет полоску китового уса или стали, прикрепленную к доске в *A* ниткой или проволокой. Полоска имеет та-

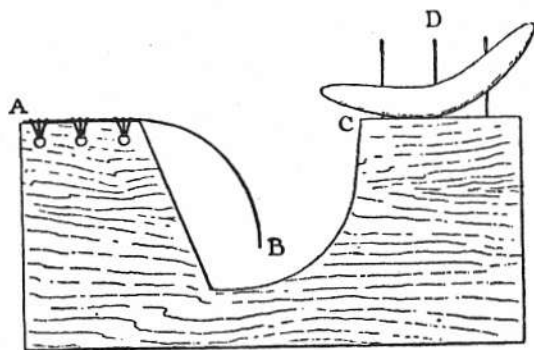


Рис. 14. Бумеранг и аппарат для его бросания в комнате

кую длину, чтобы ее конец *B*, изображенный на рис. 14 отогнутым вниз, достал до края *C*, когда мы его отпустим. Она тогда ударяется о конец бумеранга, который приготовлен из картона или жести, и сообщает ему одновременно движение вперед и быстрое вращение в плоскости полета. В точке *D* на краю доски воткнуто три куска проволоки, или иначе три гвоздя без шляпок, таким образом, чтобы они приходились позади средней линии. Тогда они образуют подходящую опору для бумеранга. Меняя величину и вес бумеранга, крепость, и вес пружин и силу вращения обоих колен бумеранга, можно получить многие из описанных результатов в поле, на дворе или даже в большой комнате. ☛

#### 4. Путь птицы в воздухе

Движение птицы в воздухе или рыбы в воде уже исстари было предметом размышления для всех, кто чувствовал потребность в познании ежедневно наблюдаемых явлений. И все же какой загадочной кажется способность маленьких рыб с такой быстротой и без больших усилий стрелой прорезывать воду — среду, которая представляет такое громадное сопротивление быстрым движениям.

Полет птиц за исключением некоторых подробностей, нуждающихся в разъяснении, может считаться явлением в большей своей части объясненным.

Но несмотря на это мы наталкиваемся здесь на некоторые явления, которые представляют как раз полную противоположность тому, что мы могли бы ожидать. К подобным явлениям, которые много раз служили предметом исследования, принадлежит *парение в воздухе больших птиц*, которые иногда в течение многих часов держатся в воздухе, не производя крыльями, по-видимому, никаких движений. Если мы захотим объяснить себе это явление, то мы должны принять во внимание, что птица с распростертыми крыльями, имеющими большую поверхность, будет падать медленнее, чем предмет хотя бы и одного веса, но с меньшей поверхностью. Такая птица спускается, как парашют. А воздух, который находится под парашютом и который должен быть вытеснен при его падении, представляет тем большее сопротивление, т. е. тем большую подъемную силу, чем будет больше поверхность парашюта.

Понятно, что также замедление в падении может наступить и в том случае, когда птица, сообщив себе взмахами своих крыльев



быстрое движение, затем скользит по воздуху с распростертыми крыльями.

В таком случае падение будет тем менее заметно, чем больше будет скорость, вызванная ударами ее крыльев.

Вышесказанное *парение* больших птиц в течение многих часов без удара крыльями этим, конечно, не объяснено. При наблюдении замечалось, что это движение всегда почти является круговым, что оно происходит только при ветре и что птица пользуется ветром, как подъемной силой, когда делает свои круговые, эллиптические или спиральные пути, всегда приводя свои крылья в определенное наклонное положение.

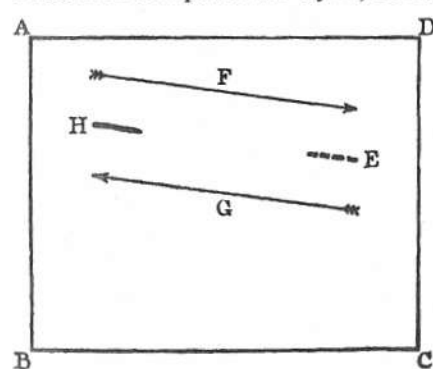


Рис. 15. Объяснение парения

Однако рассмотрение этого вида полета без строго физико-математического исследования невозможно. Но передают, что наблюдались и такие случаи, при которых не замечалось вообще ни падения, ни скольжения птицы вперед. При подобных наблюдениях легко могут вкрасться ошибки. На больших расстояниях разницы в высоте или в перемещении легко могут остаться незамеченными.

Если же мы признаем установленной правильность этого наблюдения, то возможно следующее объяснение. Движение облаков и исследования при помощи воздушных шаров и змеев обнаружили, что в более высоких слоях атмосферы часто бывают совершенно другие течения, чем в нижних доступных нам слоях.

Теперь предположим, что в более высоком слое есть наклонно восходящее воздушное течение, которое лишь слегка отклоняется от горизонтального направления. На рис. 15 плоскостью  $ABCD$  представляется часть того воздушного слоя, в котором птица  $H$  спокойно скользит.

Пусть  $E$  обозначает то положение, в котором птица оказалась бы через секунду, если бы воздух был совершенно спокоен. Направление движения указано стрелкой  $F$ . Если воздух движется в прямо противоположном направлении с той же скоростью, то ясно, что действительное положение птицы должно остаться неизменным.

Другой вопрос, который возникает при рассмотрении полета птицы, состоит в следующем:

*каким образом возможно столь быстрое движение птицы вперед, если она не ударяет крыльями по воздуху в обратном направлении?*

Если гребец хочет подвинуть свою лодку вперед, он ударяет веслом по воде назад.

Колесный пароход делает то же лопатками своего колеса, а утка или лебедь ногами. Если же мы станем наблюдать за птицей, которая достаточно медленно двигает крыльями, например за воронной или чайкой, то не заметим ни малейшего движения крыльями вперед или назад. Для объяснения поднятия птицы достаточно ударов крыльев вниз. Но как объяснить способ движения вперед?

**Объяснение** Объяснение вытекает из того факта, что при опускании крыльев передняя часть крыла лежит глубже, чем задняя.

На рис. 16 *a* позиции 1 и 2 изображают поперечные разрезы летящих птиц в двух разных положениях.

Контуры крыльев обведены пунктирными линиями, они обозначают задние края, а сплошные линии передние края. На рис. 16 *a* на позиции 1 видна верхняя сторона крыльев, а на позиции 2 — нижняя сторона; позиция 1 — почти законченный удар крыльев вниз, который заставил тело подняться вверх, позиция 2 — почти законченное поднятие крыльев вверх, и тело, менее поддерживаемое, слегка опустилось. Рис. 16 *б* и *в* представляют положение птицы, рассматриваемое сбоку; на рис. 16 *б* видна верхняя сторона крыльев, а на рис. 16 *в* — нижняя. На рис. 16 *б* позиция 1 и рис. 16 *в* передний край крыльев лежит глубже нижнего края. Таким образом, когда поставленное крыло ударяет перпендикулярно вниз, то оказывается, что оно гонит воздух и вниз, и назад, и следовательно крыло, а с ним вместе и птица, подвигаются вперед. На рисунке наклонное положение крыльев, которое обуславливает это движение, для ясности значительно увеличено, а в действительности оно меньше.

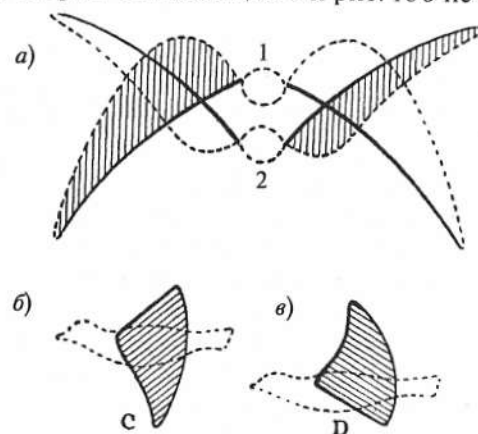


Рис. 16. Полет и удар крыльями

Достаточно лишь самого небольшого наклона в положении крыльев, чтобы этим вызвать движение вперед. При этом даже не вся поверхность крыла находится в одинаковом наклонном положении. Здесь мы имеем, строго говоря, лишь изменение формы верхушки и заднего края крыла. В качестве опоры крыло имеет по краю плечевую кость и кость пальцев. Отсюда исходят маховые перья, которые главным образом образуют поддерживающую поверхность. Задний край крыла поэтому гораздо более гибок, чем передний. Он, следовательно, может сгибаться кверху, когда крыло с достаточной скоростью ударяет вниз по воздуху. Так как верхушка крыла обладает наибольшей скоростью по сравнению с остальными частями крыла, то прогибание заднего края крыла будет особенно сильным вблизи этой верхушки. Это видоизменение формы, отнюдь не захватывающее всего крыла, является, таким образом, причиной движения вперед. В существовании тяги вперед легко убедиться самому, подражая быстрым движениям полета с помощью куриного крыла, высушенного в распростертом виде. При этом заметно, что передний край крыла тянется вперед. ■

➡ Это явление яснее видно на следующей модели крыла. Тонкий конец и середину бамбуковой палки длиной приблизительно в 2 метра (удочка) соединяют при помощи шнура, который натягивают настолько туго, чтобы тонкая часть палки заметно согнулась. Потом на полученную раму натягивают кусок шерстяной или льняной ткани. Если этим *искусственным крылом* ударять сильно по воздуху, сверху вниз, то задний край, который опирается только на шнур, сгибается кверху. Действие так сильно, что при большой скорости вообще не удастся ударить прибором вертикально вниз, предполагая, что мы препятствуем вращению всего крыла, держа его достаточно крепко за ручку. ◀

В заключение еще несколько слов о поднятии крыльев. Когда мышцы крыльев, которые тянули крыло вниз, ослаблены, то сопротивление воздуха, которое приходится на нижнюю поверхность крыльев, будет поднимать крылья кверху, при этом тело птицы будет слегка понижаться. Хотя передний край крыла, который опирается на кости, может также подниматься вверх с помощью мышц крыла. Однако в действительности дело по-видимому заключается не в активном поднятии крыльев. Всего вероятнее, что взмахи крыльев происходят вполне пассивно.

## Глава 3

### Мнимое уничтожение силы тяжести

#### 1. Твердые тела, которые не подчиняются силе тяжести (движение волчка)

Аппарат, который мы рассмотрим в настоящем разделе, называется гироскопом. Его можно приобрести в магазине учебных пособий; иногда он также встречается среди игрушек. Но кто умеет обращаться с пилой, например лобзиком, те сами без особого труда могут изготовить хороший прибор вместо покупного.

➡ Возьмите плоскую доску без сучков и начертите на ней окружность диаметром в 12–15 см. Потом пропилите тщательно по окружности; пробуравьте в центре отверстие и укрепите в нем ось, которая выдавалась бы с одной стороны на 8–10 см, а с другой на 5 см. Обыкновенная деревянная ручка для письма послужит хорошей осью. Ось должна быть вставлена перпендикулярно к колесу и точно в середине его. На более длинной ее части, ближе к концу, надо сделать глубокую вырезку, как указано на рисунке при точке *A*. Затем приготовьте маленькое колечко из проволоки такой ширины, чтобы оно вполне свободно могло передвигаться по оси. Передвиньте его до нарезки и немного сожмите, чтобы оно не могло снова соскользнуть. Наконец, надо укрепить к проволочному колечку тонкий шнурок (или льняную нитку) такой же длины, как расстояние от окна верхнего этажа до земли — и прибор готов! ◀

Затем надо намотать шнурок на ось; для этого наматывают два раза плотно вокруг конца оси, чтобы хорошо укрепить шнурок. Затем берут конец *B* в правую руку, а конец *A* кладут на край стола; большим и указательным пальцами левой руки придерживают шнур и наматывают его на ось, вращая прибор правой рукой.

Последняя часть шнура должна быть намотана вплотную около самого колеса. Высунувшись из окна или лучше склонившись над перилами балкона и держа в левой руке конец шнура, дают

колесу вертикальное положение, придерживая его у точки *C*, как показано на рис. 17, и затем пускают его, сообщив предварительно правой рукой сильный толчок так, чтобы шнурок стал разматываться.

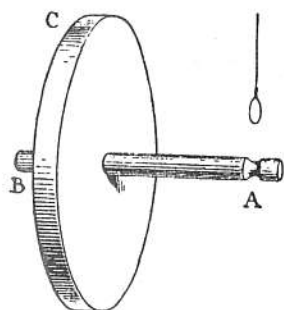


Рис. 17. Самодельный гироскоп

Можно предположить, что ось колеса, которая поддерживается шнурком только у одного конца, во время падения примет вертикальное положение (одним концом с привязанным к нему шнурком вверх, а другим концом, под влиянием тяжести колеса — вниз).

Но к большому изумлению тех, кто еще не наблюдал гироскопа, последний останется в положении, которое указано на рисунке. Чем дальше будет он падать, тем быстрее он будет вращаться, пока шнур не размотается.

Потом он еще несколько времени будет вращаться в проволочном кольце, сохраняя свое положение, этим явно противореча хорошо обоснованному закону природы — именно закону о всеобщем тяготении.

Если колесо не вращалось бы и если бы мы попытались держать его ось в горизонтальном положении, только поддерживая один ее конец за шнурок, то подобный опыт никогда не увенчался бы успехом.

Как же вращение колеса может сделать возможным то, что кажется невозможным? Прежде чем перейти к тому, чтобы разъяснить это нематематикам, сначала познакомимся с некоторыми свойствами покупного гироскопа, несколько более сложного устройства.

Подобный гироскоп изображен на рис. 18. *A* — металлический круг с утолщенным и поэтому достаточно тяжелым краем; *B* — кольцеобразная рама, в которую укреплены заостренные концы оси при помощи винтов (*C* и *D*), у которых имеются углубления. В отверстие, проделанное ближе к одному из концов оси, вдевается шнурок и наматывается вокруг оси. Колесо может быть приведено в очень быстрое вращательное движение, если дернуть за шнурок. Если мы будем теперь свободно держать гироскоп за головки винтов *C* и *D*, в то время как он быстро вращается вокруг горизонтальной оси, и попытаемся наклонить прибор так, чтобы головка *C* поднялась вверх, а головка *D* опустилась вниз, то вращающееся колесо будет с большой силой сопротивляться этому

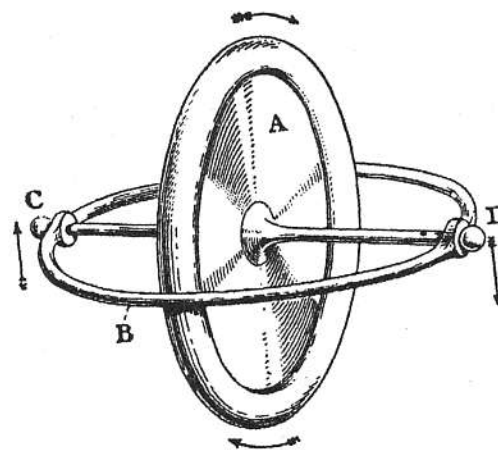


Рис. 18. Покупной гироскоп

повороту, и весьма возможно, что оно выскочит, если его будут держать неопытные руки. Оно ведет себя почти как живое существо, и проявляет как бы умышленное сопротивление. Так как вес его остается неизменным, то его легко можно опускать и поднимать, также его можно заставить двигаться в сторону, вперед и назад, подобно всякому другому телу, однако с тем, чтобы плоскость его вращения и ось вращения сохраняли одно и то же направление; при всякой попытке наклонить его ось вращения он оказывает сопротивление.

Чем гироскоп тяжелее и больше и чем он быстрее вращается, тем сильнее сопротивление, которое он проявляет.

Если во вращающемся гироскопе плоскость колеса вертикальна, а ось горизонтальна, то, чтобы предотвратить его падение, достаточно укрепить один конец его оси или, как в нашем первоначальном опыте, при помощи шнурка, или в более сложном приборе при помощи колонки, которая имеет на своем верхнем конце чашеобразное углубление. Итак, гироскоп сопротивляется силе тяжести. Вообще говоря, ось гироскопа при вращении может изменять свое положение. При очень быстром вращении гироскопа мы не заметим однако никакого наклона оси; но с уменьшением скорости вращения наклонение будет становиться все заметнее. Таким образом, строго говоря, мы можем только установить стремление оси сохранять свое первоначальное направление. Как это объяснить?



Существует всеобщий закон природы, из которого до сих пор мы не знаем исключений; согласно с этим законом, всякое тело стремится сохранить то состояние, в котором оно находится. Этот закон называется *законом инерции*.

Так и движущееся тело стремится продолжать свое движение с той же самой скоростью и по тому же направлению. Сила, с которой тело сопротивляется могущим встретиться препятствиям, увеличивается вместе с весом и скоростью движения.

При вращательном движении тела, например, каждая частица на его периметре стремится двигаться по прямой линии, перпендикулярно к радиусу своего кругового пути, т. е. по направлению касательной к окружности.

➡ Это легко проверить на примере камня в праще, который после нескольких оборотов по окружности вылетает из пращи не по круговому пути, а в том направлении, которое он имел в момент оставления пращи, и продолжает свое движение по прямой линии по направлению касательной.

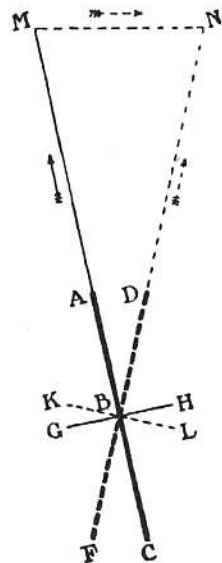


Рис. 19. Почему гироскоп сопротивляется изменению наклона оси

То же самое мы замечаем при движении экипажных колес, облепленных грязью. Брызги грязи, отбрасываемые колесом, движутся подобно камню, выброшенному из пращи, указывая ясно то направление, в котором они двигались в последний момент. Этим так называемой «инерцией» тел и объясняется стремление нашего гироскопа сохранить известное положение. ➡

Попробуем также составить себе представление и о величине той силы, которая необходима, чтобы преодолеть инерцию аппарата.

На рис. 19 мы видим гироскоп сбоку; он вращается так, что задняя часть колеса движется вверх, а передняя вниз. Наивысшая точка *A* идет вперед, а самая низкая точка *C* назад. Частицы задней части края, расположенные на одной высоте с осью, стремятся

двигаться вертикально вверх по направлению *BM*. Это движение мы рассмотрим более подробно.

**Объяснение** Наклоним гироскоп так, чтобы он расположился в плоскости *DBF*, и ось приняла бы направление *KL*. В этом случае частицы будут стремиться оторваться по направлению *BN*. Допустим, что край колеса движется со скоростью 50 м в секунду. Если бы теперь колесо внезапно распалось на части, то те из них, которые двигались по направлению *BM* со скоростью 50 м в секунду, теперь будут после наклона гироскопа двигаться с той же скоростью по направлению *BN*. Если *BM* есть расстояние в 50 м, а *MN* в 20 м, то результат будет тот же, как если бы частицы в течение одной и той же секунды двигались 50 м в направлении *BM* и 20 м по направлению *MN*. Чтобы произвести указанный на чертеже наклон колеса по отношению к первоначальному положению, необходима сила, которая была бы в состоянии передвинуть эти части на 20 м в секунду. Иначе — необходимо затратить значительную часть первоначальной силы, которая вызвала вращение колеса, чтобы можно было отклонить ось его от первоначального положения. ■

Каждый может и на других примерах убедиться, что очень часто нужна значительная сила, чтобы изменить направление движущегося тела. Если мы, желая изменить направление роя пуль, вылетевших из пулемета, поставили бы на их пути наклонно щит, то нетрудно понять, что нам пришлось бы произвести на щит сильное давление. После того как гироскоп начал свое вращательное движение, каждая часть его края движется подобно пуле, вылетевшей из ствола ружья. Изменить плоскость вращения колеса в этом случае все равно, что изменить движение этих частиц.

Выше мы уже говорили, что гироскоп, когда его держат за головки винтов и пытаются наклонить, начинает вращаться и отклоняться в сторону, как бы желая освободиться от удерживающих его рук. Далее, во время опыта с бросанием простого прибора из высоко расположенного окна, легко было заметить, что вместе с вращением в вертикальной плоскости, которое происходит благодаря разматыванию шнура, наблюдается также вращение всей оси в горизонтальной плоскости вокруг подвешенного конца. Наблюдатель будет вначале рассматривать это движение тоже как результат разматывания шнура; но дальше обнаружится, что если намотать шнурок в противоположном направлении, так что вращение колеса будет происходить в направлении, противоположном первому, то и ось будет вращаться в другую сторону. При более внимательном на-

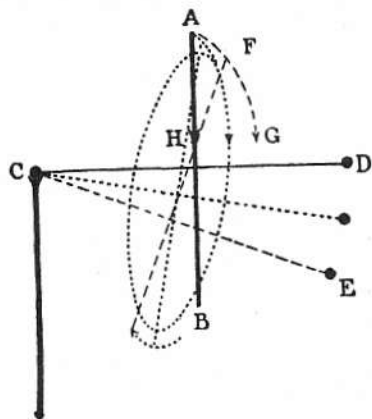


Рис. 20. Вторичное движение гироскопа (прецессия)

блюдении заметим, что вращение оси постоянно происходит в том самом направлении, в котором движутся нижние части колеса. Подобное наблюдение можно сделать и на покупном приборе (рис. 18).

Как объяснить это удивительное движение? Рис. 20 разъяснит это.

**Объяснение** Пусть  $AB$  изображает гироскоп, рассматриваемый сбоку. Пусть его движение будет происходить так, как на рис. 19, т. е. частица, находящаяся у точки  $A$ , будет двигаться по направлению к смотрящему на рисунок. Головка  $C$  покоится в вышеупомянутом углублении подпорки, которая имеет вид колонки. Теперь нагнем другую головку  $D$  вниз до точки  $E$ , чтобы  $A$  переместилось по дуге  $AG$  до точки  $F$ , а колесо заняло бы положение, которое указано линией, состоящей из отдельных штрихов. Подобный результат получился бы только тогда, если бы колесо сначала было в покое, но в движущемся колесе частица, которая находится у точки  $A$ , перемещается вперед и затем вниз по направлению стрелки  $AN$ . Это движение не может просто прекратиться, чтобы уступить место движению по направлению к  $G$ . ■

Скорее всего результат будет такой, что частица выберет некоторый средний путь по направлению пунктирной линии. Таким образом, колесо уклоняется вправо от первоначального движения по направлению книзу. Это может произойти в том случае, если передний край перемещается вправо или, другими словами, если правый конец оси движется назад. Таким образом, от давления, произведенного на свободный конец оси, возникает вращение оси

вокруг ее укрепленного конца (прецессия). Но так как гироскоп постоянно находится под влиянием силы тяжести, которая тянет вниз свободный конец оси, то ясно, почему это движение должно происходить во всяком гироскопе и во всякое время. Далее, из рис. 20 можно объяснить, почему вращение оси в противоположном направлении вызывает вращение колеса также в другую сторону. Точно так же нетрудно себе представить, что мы можем изменить вращение оси на обратное, подперев ее с другого конца, не прерывая при этом вращения колеса. Точка  $B$  будет двигаться в этом случае в противоположную сторону вокруг новой точки опоры.

Здесь нужно упомянуть еще об одном замечательном явлении, которое замечается при движении оси. Именно, если мы с помощью перпендикулярно направленного карандаша толкнем вперед свободный конец оси гироскопа, подпертого с другой стороны так, чтобы эта ось начала двигаться скорее, чем ей это свойственно, то движущийся конец оси поднимется. Если мы, наоборот, придержим его, то он опустится.

И здесь мы имеем также результат от сложения двух движений, которые сообщались каждой точке колеса. Ускоряя движение гироскопа, мы получаем тот же результат, как если бы мы уменьшили силу тяжести; замедляя движение, мы тем самым как бы увеличиваем силу тяжести.

Теперь объясняется, почему волчок постоянно принимает вертикальное положение. Когда он наклоняется немного в сторону, то сила тяжести притягивает верхний конец оси книзу и в результате получается, что этот конец, а следовательно, и волчок, начинают вращаться вокруг точки опоры.

Но в то время, когда конец трется о пол и движется по дуге, он ускоряет тем самым вращательное движение другого конца оси. Выше мы видели, что с ускорением вращения возникает поднятие свободного конца оси. Вследствие этого, до тех пор пока вращение волчка достаточно быстро, он все время стремится находиться в вертикальном положении.

## 2. Жидкости, которые не падают.

### Вода, текущая вверх

Наполним стакан водой до краев и покроем его твердой бумагой. Потом, прижимая бумагу к стакану, перевернем его и затем отнимем руку от бумаги (рис. 21 а). Бумага останется в том же положении и вода не вытечет.

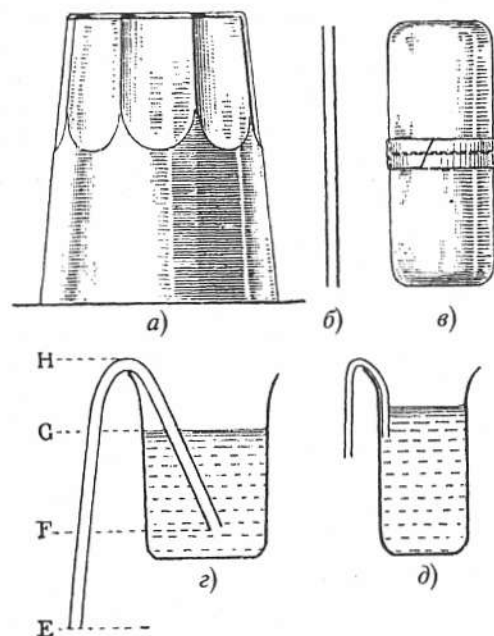


Рис. 21. Действие воздушного давления

**Объяснение** Это мнимое уничтожение силы тяжести объясняется давлением воздуха. Так как воздух имеет определенный вес, то он давит на все находящиеся под ним тела. Так как частицы воздуха легко подвижны, подобно частицам жидкости, то сила давления верхних слоев распределяется на остальные и передается *по всем направлениям*. Поэтому воздух давит на окруженное им тело не только сверху и со всех сторон, но и снизу! И потому-то воздух давит на бумагу под нашим стаканом и вода не выливается. Сила давления воздуха так велика, что она могла бы сдержать еще больший напор воды, чем в нашем стакане. Давление воздуха на каждый квадратный сантиметр составляет 1000 г, а высота нашего цилиндрического стакана (измеренная внутри) достигает 10 сантиметров; поэтому ясно, что на бумагу давит 10 г воды, между тем как давление воздуха могло бы удержать давление воды в 100 раз большее, чем это имело место в данном опыте. Если этот опыт не удастся и вода вытечет, то объяснение надо искать в том, что воздух нашел возможность проникнуть в воду. Предотвратить эту возможность и есть единственная задача бумажного листа. ■

Узкая трубка (рис. 21 б), наполненная водой, не дает воде вытечь и в том случае, когда бумаги нет, если закрыть верхний конец трубки пальцем, так как у воды сцепление частиц достаточно велико, чтобы воспрепятствовать при таком малом сечении проникновению пузырьков воздуха в воду.

Наш опыт со стаканом воды может быть еще более интересен.

➡ Наполним два одинаковых стакана с плоскими (лучше шлифованными) краями под водой, например в ванне, поставим их краями один на другой, обернем края полоской бумаги и поставим их под водой вертикально (рис. 21 в). Потом осторожно начнем их вынимать из воды. Если их положение будет вертикально, то можно удержать оба стакана, держа рукой лишь верхний. Нижний стакан вместе с находящейся там водой будет поддерживаться давлением воздуха снизу. ➡

Для опыта удобнее стаканы с отвесными стенками, так как бумажная полоска будет лучше прилегать к стеклу. Конечно, назначение бумаги состоит не в том, чтобы благодаря своей крепости держать оба стакана вместе, бумага нужна лишь для равномерного распределения воздушного давления, а также она препятствует пузырькам воздуха проникнуть в каком-нибудь месте внутрь стакана или воде вылиться в другом. Для большей ясности следует взять не плотную бумагу, а, напротив, тонкую.

Для новичков не лишним будет указать, что неудача грозит не тогда, когда этот опыт делается в первый раз для себя; напротив того, чаще всего неудача постигает его тогда, когда, проделав целый ряд опытов для себя вполне удачно, он начинает демонстрировать данное явление перед удивленными зрителями. Потому опытный экспериментатор, чтобы показать последние два опыта в ванне и над ванной, будет заранее практиковаться. Тогда, если стакану или его содержимому удастся пережить атмосферное давление, стекло, скатерти и ковры не пострадают.

Относительно трубки В мы предполагали, что она слишком узка для того, чтобы вода могла вытекать из нее, а воздух временно подниматься вверх. Пусть, например, ее сечение имеет около 20 кв. мм. Так как давление воздуха на 1 кв. см (= 100 кв. мм) равно приблизительно одному килограмму, то на столб воды в трубке воздух должен был бы давить с силой приблизительно в 200 г. Но колонна воды, которая имеет 20 кв. мм в поперечнике, должна была бы в высоту иметь 10 метров для того, чтобы весить 200 г. Поэтому ясно, что если бы трубка такой высоты была наполнена



водой и верхний конец ее был бы закрыт, то давление воздуха удержало бы воду в трубке.

Приведем еще один пример мнимого уничтожения закона силы тяжести (рис. 21 г).

➡ Для опыта нужно приобрести не очень широкую стеклянную трубку; она изображена на рисунке. Трубку, наполнив водой, крепко закупоривают пальцем, а затем ставят сосуд, как показано на рисунке. Как только трубка будет открыта, вода начнет вытекать у  $E$  и одновременно подниматься от  $F$  до  $H$ ; и это будет продолжаться до тех пор, пока короткое колено трубки будет погружено в воду. Течение прекратится, когда уровень воды опустится настолько низко, что вода перестанет касаться короткого колена трубки. ◀

То, что здесь описано, есть действие хорошо всем известного «сифона». Вода в *буквальном* смысле течет *в гору*, и потому сифон можно употреблять, чтобы опорожнить сосуд, не нагибая его и не делая в нем отверстия. Чтобы объяснить действие сифона, напомним, что вода сначала только часть нашей изогнутой трубки (избегая при этом воздушных пузырей) и будем держать ее вверх открытыми концами, т. е. обратно тому, как это изображено на рис. 21 г. Давая трубке различный наклон, мы заметим, что вода в трубке будет всегда располагаться так, что обе верхние поверхности ее будут находиться на одном уровне или в одной и той же горизонтальной плоскости. Это есть известный *закон о сообщающихся сосудах* или же *трубках*. В этом опыте оба водяных столба давят в изогнутое место трубки один против другого и поэтому сохраняют равновесие. Странно при этом, однако, только то, что эти водяные столбы, как это видно при различных наклонах трубок, вовсе не должны быть одинаковой длины. Равновесие гораздо больше зависит от того, чтобы верхние границы обоих столбов лежали в одной и той же плоскости или, говоря по другому, чтобы *оба водяных столба имели бы одинаковые высоты по вертикали*.

➡ Возьмем трубку, доверху наполненную водой, опрокинем отверстиями вниз и расположим так, чтобы эти отверстия находились в одной горизонтальной плоскости; оба водяных столба будут при этом различной длины, но одинаковой высоты по вертикали. Но на этот раз столбы жидкости не давят друг на друга, а тянут друг друга и как раз в месте перегиба трубки. Они должны, очевидно, опять быть в равновесии оттого, что они одинаковой высоты. ◀

Хотя это звучит как будто просто, но на практике этот опыт неисполним, так как мы не можем заставить воздух и воду находиться в таком покое, какой необходим для нашего опыта. Но это не мешает нам применить установленное нами положение к задаче о сифоне. Если трубка, предварительно наполненная водой, висит так, как показано на рисунке, то столбы жидкости, находящиеся между плоскостями  $G$  и  $H$ , будут находиться в равновесии. Ограниченный же плоскостями  $G$  и  $E$  водяной столб действует поэтому как *перевес*. Он тянет за собой находящиеся между  $G$  и  $H$  водяные частички, связанный с ним силами сцепления, а последние, в свою очередь, поднимают воду в коротком колене. Таким образом объясняется то, что вода, поднимаясь в гору, вытекает через край стакана.

Давление воздуха с обеих сторон у нас не принимается во внимание, так как воздух давит с обеих сторон равномерно и его действия уничтожаются точно так же, как давления водяных столбов между плоскостями  $G$  и  $H$ . Впрочем, не следует брать для сифона обязательно согнутую стеклянную трубку; также можно соединить две прямые трубочки коротким рукавом или даже можно воспользоваться для этого простою резиновой трубкой. Наполнение сифона производится или положив его в чашку с водой, или подставив его под водяной кран, или наполнив через воронку, или же, наконец, его вешают пустым в сосуд и затем отсасывают воздух в  $E$ . Существует еще и третий способ для его наполнения. Для этого можно воспользоваться капиллярным притяжением. Если трубку  $B$  погрузить в воду так, чтобы верхний конец ее выступал над поверхностью, то вода внутри будет стоять выше, чем снаружи. Это есть следствие соединенного действия поверхностного давления воды и притяжения, которое испытывает каждая жидкость со стороны смачиваемых ею твердых тел.

Чем уже трубка, тем выше поднимается вода внутри.

➡ Обычно очень узкую трубку называют капиллярной или же волосной трубкой. Отсюда происходит выражение «капиллярное притяжение». ◀

Если мы повесим изогнутую капиллярную трубку, как показано на рис. 21 д, в сосуд, достаточно наполненный водой, то жидкость будет в состоянии пройти через изогнутую часть благодаря капиллярному притяжению и будет во внешнем колене, благодаря своей тяжести, течь вниз. Как только во внешнем колене уровень воды достигнет поверхности сосуда, то аппарат станет действовать как простой сифон.

Кусок материи и кусок светильни могут быть рассматриваемы как очень тонкие капиллярные трубки, соединенные вместе, так как оба состоят из многих между собой почти не соприкасающихся волокон. Поэтому эти капилляры могут всасывать масло и этим питать пламя. Если мы перекинем через край стакана кусок материи так, как на рис. 21 д, т. е. чтобы один конец опускался в воду, почти наполняющую стакан, а другой конец висел снаружи, то она опять может действовать как сифон. Когда сосуд, почти наполненный водой, имеет листья, которые висят через край, то и они представляют капиллярный сифон, и очень скоро под стаканом на столе окажется водяная лужа. Теперь составим несколько более сложный аппарат, также работающий на принципе сифона, которым мы будем неоднократно пользоваться во второй части этой книги. Здесь дело касается такого приспособления, которым можно пользоваться, во-первых, для собирания воздуха и других газов и, во-вторых, для получения газового или воздушного течения. Такой аппарат называется *газометром*.

➡ Берутся две одинаковые бутылки (рис. 22) из бесцветного стекла, форма и величина которых напоминают бутылки из под красного вина ( $\frac{3}{4}$  литра), и проводят сквозь плотно пригнанные пробки две узкие трубочки: одну, доходящую до дна бутылки, а другую только до нижней поверхности пробки. Если нужно сделать приблизительное измерение количества газа или воздуха, то надо сначала сделать деления на бутылке. Для этого выливают постепенно из наполненной до пробки бутылки по 50 или по 100 куб. см воды в *измерительный* цилиндр (мензурку) и каждый раз заме-

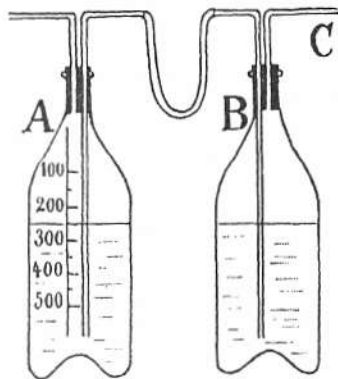


Рис. 22

чают черточкой высоту воды в бутылке на специально наклеенной бумаге. Эту бумагу для защиты от случайного размокания можно покрыть лаком. Теперь следует наполнить эти бутылки водой несколько больше, чем наполовину (в случае, если они точно разделены до 250 делений).

Те длинные трубки, соединенные резиновой кишкой, которые вставлены в пробки, также следует вполне наполнить водой, а резиновую трубку сжать зажимом. Если трубки достаточно узки, то во время насаживания пробок на

бутылки вода из них не вытечет и в них не проникнет воздух; об этом следует особенно позаботиться.

В том случае, когда бутылки при открытом зажиме спокойно стоят на столе, поверхности воды в обеих бутылках на одном уровне. Если же поднять одну из бутылок, то благодаря сифону вода из одной бутылки потечет в другую, пока обе поверхности не будут опять на одинаковом уровне. При этом воздух будет выжиматься из наполняющейся бутылки и всасываться в опоражнивающуюся бутылку. Итак, если бутылки точно разделены и проверены, то приблизительно можно определить количество протекающего воздуха. Примеры для этого опыта находятся во второй части книги. ➡

Таким образом, и в этом аппарате вода течет вверх, как бы пренебрегая силою тяжести.

### 3. Тело, катящееся в гору, а не под гору

➡ Закажите у токаря короткий, толстый деревянный двойной конус, как показано на рис. 23, или склейте два простых деревянных конуса своими основаниями. Если же вы удовлетворитесь телом, пригодным лишь на время, то его можно вырезать из большой репы. При некоторой ловкости, вооружившись очень острым ножом, вам удастся придать ему необходимую правильность, так что оно будет годиться для нашего опыта.

Другой способ: возьмем плотную писчую бумагу и свернем из нее две круглые с небольшим раструбом воронки и вольем в них густую, скоро застывающую гипсовую массу. Оба гипсовых конуса легко склеить свежим гипсом и выровнять ножом. Затем вырежем из тонкой деревянной коробки от сигар или из толстой папки две

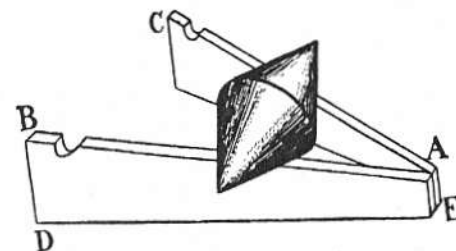





Рис. 23

доски, в форме трапеции, с двумя прямыми углами (у  $E$  и  $D$ ), и соединим их проволокой или шарниром, как указано на рис. 23. Если мы положим двойной конус на наклонные края  $AB$  и  $AC$ , именно вблизи их наиболее низкой стороны ( $A$ ), то конус покатится вверх от наиболее низкого к наиболее высокому краю, если доски образуют между собой достаточно большой угол и если подъем их от  $A$  до  $B$  не особенно велик. Следовательно, можно смело сказать, что он катится в гору. 

Так как мы привыкли видеть, что тела, предоставленные самим себе, падают или они стремятся занять наиболее низкое положение, то действие нашего конуса, на первый взгляд, кажется действительно парадоксальным. Однако, как мы в этом скоро убедимся, нам это кажется только потому, что мы формулировали наши прежние опыты весьма неопределенно, сказав, что тела стремятся занять наиболее низкое положение. Чтобы это выразить более точно, мы должны воспользоваться понятием о «центре тяжести».

 Каждое тело имеет вес и поэтому оно производит давление на находящуюся под ним подставку. Если же эта подставка сопротивляется напору, то тело находится в покое, например лежащий на столе кубик.

Чтобы удержать какое-нибудь тело в его положении (и притом в каком угодно положении), вовсе не надо поддерживать всю его поверхность, как в примере с кубиком. В каждом теле находится точка, опираясь на которую тело во всяком положении может находиться в равновесии. Так как, поддерживая тело в одной этой точке, мы тем самым как бы уничтожаем его тяжесть, то эта точка называется «центром тяжести». Значение центра тяжести выражают еще и так:

 центр тяжести есть точка, в которой мы можем себе представить сосредоточенной всю тяжесть отдельных частей тела.

Согласно с этим, каждое тело стремится придать своему центру тяжести самое низкое положение, какое только возможно при данных обстоятельствах. Поясним это несколькими примерами. Центр тяжести треугольного куска картона лежит в точке пересечения медиан, который мы получим, если соединим середину каждой стороны треугольника с противоположным углом. Если мы проколем тонкой иглой треугольник, то он примет такое положение, что его центр тяжести будет находиться вертикально под точкой опоры,

т. е. в самом низком положении. Если мы проколем треугольник как раз в этой точке, то он останется в покое в каком угодно положении. То, что так ясно для этой поверхности (или, вернее, для очень плоского тела), имеет место и для каждого предмета. Если я поставлю кубик одним углом на стол, а именно так, чтобы центр тяжести находился вертикально над точкой опоры, то кубик скоро опрокинется и успокоится лишь тогда, когда его центр тяжести примет самое низкое из всех возможных положений, т. е. кубик будет лежать на одной из своих поверхностей. Если же я повешу кубик за один из его углов, то центр тяжести кубика в положении покоя будет опять точно находиться вертикально под точкой подвеса. Стремление центра тяжести занимать самое низкое положение мы можем наблюдать в одной хорошо знакомой игрушке. Это так называемый «ванька-встанька» — кукла или какой-нибудь другой предмет, сделанный из легкого материала и оканчивающийся снизу металлическим полушаром. Если мы положим куклу на бок, то она опять встанет, потому что при этом находящийся в металлическом шаре центр тяжести принимает более низкое положение. Наш двойной конус также стремится дать своему центру тяжести самое низкое положение, как только его предоставят самому себе. У нас эта точка находится в центре общего основания обоих конусов. Легко видеть, что если двойной конус покатится от  $A$  к  $BC$ , то, несмотря на подъем краев  $AB$  и  $AC$ , центр тяжести все-таки может опускаться благодаря заострению конусов от середины к концам. Это, конечно, может только тогда случиться, когда угол  $BAC$  не слишком мал, подъем  $AB$  и  $AC$  не слишком велик и двойной конус не слишком плоский. Это кажущееся противозаконное поведение двойного конуса, таким образом, совершенно не противоречит тому закону, которому подчиняются и все другие тела.

#### 4. Еще о воде, текущей на гору

Монгольфье (1740–1810), знаменитый изобретатель воздушного шара, наполненного горячим воздухом, построил также замечательную машину, поднимающую воду. В этой машине посредством трубы, выходящей из высоко расположенного резервуара, вытекающая вода, благодаря собственной силе, поднималась во второй трубе выше, чем она стояла в резервуаре.



Без всякого сомнения, каждый читатель вспомнит закон:

в двух соединенных резервуарах вода всегда стоит на одинаковой *высоте*.

Как же это все-таки возможно, что в одной трубе вода подымается выше, чем в другой, соединенной с нею? Конечно, здесь мы имеем дело не с капиллярной трубкой, т. е. с такой узкой трубкой, в которой вода уже из-за сил сцепления между стенкой трубы и жидкостью подымается значительно выше, чем в широкой трубе. Различную ширину в трубах надо и здесь принять во внимание, но какое это имеет значение, мы увидим дальше. Но прежде всего мы должны еще установить одно общее соображение.

Так как здесь дело идет о *поднятии* некоторой массы воды, то вспомним, что поднятие тела составляет для поднимающего известную *работу*, для исполнения которой нужна работоспособность или «энергия».

О понятии «энергия» мы уже один раз говорили, именно в разделе о бильярдных шарах. Если бильярдный шар катится с известной скоростью, то он имеет способность привести в движение один шар (ряд шаров), который он толкает. Он передает при этом энергию, которой он обладает вследствие своего движения, т. е. свою энергию движения, другому шару и сам при этом останавливается. Он совершает таким образом известную работу.

Если дело касается *поднятия* какого-нибудь тела, то затраченную работу легко выразить цифрами. Назовем работу, затраченную для поднятия 1 кг на 1 метр 1 килограммо-метром (1 кГм), то при поднятии 10 кг на 1 метр мы совершаем работу 10 кГм, при поднятии 10 кг на 10 метров — 100 кГм и т. д. Таким образом, можно выразить каждую работу в цифрах, а следовательно, и способности тела к известной работе, т. е. его энергию. Сознание, что мы имеем здесь дело с измеряемой величиной, очень важно для понимания наших последующих рассуждений. Хорошо известно, каким образом люди применяют энергию текущей воды, например, в том случае, когда вода с более высокого уровня падает на более низкий, для получения полезной работы. Каждая водяная мельница есть красноречивый свидетель того важного значения, которое текущая вода имеет для человеческой культуры. Это значение еще более увеличивается благодаря возможности превращать энергию движения в электрическую энергию, удобную для передачи на боль-

шие расстояния. Про спокойную воду можно также сказать, что она имеет способность совершать работу, если она находится на такой высоте, что возможно ее падение вниз. В такой воде, вследствие ее высокого положения, может быть невидимым образом накоплена энергия. В противоположность «энергии движения», вызванной движениями тел, эта энергия называется «энергией положения».

Хороший пример для энергии такого рода представляет высоко расположенный горный пруд, вода которого может по требованию расходоваться на работу машин (например, для рудника и т. п.).

Понятия, с которыми мы только что познакомились, мы применим теперь к одному весьма простому случаю. Возьмем две одинаковые стеклянные трубки от  $\frac{1}{2}$ —1 м длины и 15 мм в диаметре. Прикрепим их параллельно к широкогорлому стеклянному сосуду с хорошо подогнанной пробкой. Через одну из трубок нальем в сосуд воду. Как только обе трубки наполнены до половины, мы можем, вдвывая воздух в одну из труб, поднять этим воду в другой трубе. Чтобы удержать воду в этом положении, закрывают одну трубку пальцем или пробкой. Как только мы удалим запор, вода опустится в одной трубе и поднимется в другой. *Но она поднимется совсем не так высоко, как она стояла в первой трубе.* После нескольких качаний вода, наконец, успокоится.

На основании предыдущих соображений, мы теперь знаем, что воде, которая только что поднялась по трубе благодаря вдуванию воздуха, сообщена энергия (энергия положения). Вполне ясно происхождение этой энергии: это часть энергии мышц щек экспериментатора. Если только мы отнимем палец или пробку, то вода приходит в движение, стекая вниз, и энергия положения переходит в энергию движения, а в то же время вода из сосуда, соединяющего трубы, поднимается вверх по второй трубе. Если бы трение о стенки и сопротивление воздуха не препятствовали воде, то она поднялась бы во второй трубе так же высоко, как и в первой; следовательно, энергия была бы теперь сосредоточена во второй трубе и могла бы после минутного спокойствия воды поднять опять столько же воды в первой трубе.

Так как все это должно было бы продолжаться непрерывно, то мы имели бы вечное движение (см. ч. 1, гл. 9). Но трение и сопротивление воздуха делают то, что лишь малая доля этого «теоретического эффекта» дает «практический эффект» и поэтому вода *уже в первый раз* поднимается *далеко не так высоко*, как раньше,

и, совершив несколько колебаний, которые становятся все незначительнее, она приходит, наконец, в полнейший покой. Может быть, кто-нибудь подумает: сколько слов из за такого всем понятного факта! На это мы ответим: если мы простое и всем понятное не представим себе вполне ясно, как же мы поймем более сложное?

➡ Чтобы подойти ближе к цели, именно к устройству водяного насоса Монгольфьера, построим наш аппарат так, чтобы мы имели возможность заменить широкую трубу более узкой. Для этой цели заменим одну из длинных труб более короткой, снабженной резиновым рукавом  $V$  (рис. 24), а к другой трубе прикрепим наверху большой резервуар ( $B$ ). Кроме того, просверлим в пробке еще узкую дырку, в которую вставим длинную трубку диаметром приблизительно в 5 мм. Наполняют этот аппарат в то время, когда резино-

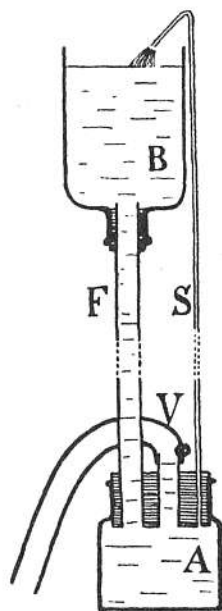


Рис. 24

при первом опыте в *широкой* трубе. В результате оказывается, что потеря энергии, происходящая благодаря трению, не только вполне вознаграждается, но остается еще избыток энергии, который поднимает воду на порядочное расстояние выше, чем она стояла в широкой трубе. ➡

вая трубка сжата зажимом или закрыта, другим способом. Как только резиновая трубка будет открыта вода потечет через трубку  $F$  в сосуд  $A$  и отсюда начнет вытекать наружу через резиновую трубку. В это время вода в трубке  $S$  сильно понизится. Если мы внезапно зажем резиновую кишку, мы заметим в аппарате сильный толчок, который быстро поднимет часть воды по трубке  $S$  и притом выше уровня воды в резервуаре  $B$ . Объяснение этого явления мы легко получим с помощью понятия об энергии. Из-за того что широкая труба  $V$  внезапно заменяется узкой для стекания воды, то количество воды, вытекающей из сосуда  $A$ , сразу становится равным малой доле прежнего количества, между тем как энергия всей подвижной массы воды остается прежняя. Если таким способом и теряется часть энергии, например через увеличение трения в узкой трубе, то все-таки понятно, что входящая в узкую трубу небольшая масса воды обладает сравнительно большим запасом энергии, чем большая масса воды, подымавшаяся

Таким образом, мы убеждаемся, что поднятие воды в трубке  $S$  вовсе не означает уклонения от законов природы, а скорее необходимо вытекает из наших соображений, даже и без опыта, доказывающего это явление. Противоречие с законом о сообщающихся сосудах только кажущееся. Оно исчезнет тотчас же, как мы заметим, что наш опыт касается *движущейся* воды, которая стремится к состоянию покоя, а в вышеприведенном законе речь идет о водяных массах, находящихся в покое и уравнивающих друг друга. Таким образом, закон о сообщающихся сосудах здесь неприменим.

Аппарат, который мы построили есть не что иное, как упрощенная модель водоподъемной машины Монгольфье, известной под названием «гидравлического тарана». Это название объясняется толчком, который происходит в аппарате от закрытия трубы  $V$  и который служит причиной внезапного подъема воды в трубу  $S$ . Похожие толчки замечаются нередко и в водопроводах, когда какой-нибудь кран внезапно закрывают. Трубы со слабыми стенками могут легко лопнуть при таких толчках.

Употребляемый на практике гидравлический таран (как показано на рис. 25) снабжен еще некоторыми важными приспособлениями. Вода выходит из трубки не свободно, но через клапан (ударный клапан), который устроен так, что немедленно закрывается, как только скорость вытекающей воды и, следовательно, ее энергия движения достигают определенной величины. Тогда открывается поднимающийся вверх клапан  $Z$ , который, однако, ведет не прямо в подъемную трубу  $S$ , а сначала в регулятор  $W$ , к которому прикреплена труба  $S$ .

Вода, сжатая в регуляторе, сжимает в нем воздух. Вследствие этого вода непрерывно выливается из подъемной трубы, так как в резервуаре  $W$  находится запас воды, который сжатым воздухом равномерно и непрерывно подается в подъемную трубу  $S$ , следовательно и в то время, когда оказывается закрытым клапан  $Z$  и открытым клапан  $V$ .

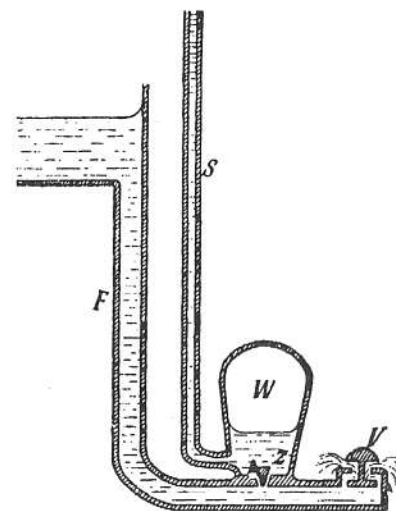


Рис. 25. Гидравлический таран

Читатель, наверное, уже заметил, что только при известном избытке в воде гидравлический таран окажется на месте. Даже при самых выгодных условиях теряется около  $\frac{9}{10}$  воды, и только  $\frac{1}{10}$  поднимается вверх.

Эта машина имеет большое преимущество перед другими машинами, так как она не требует за собой большого ухода, и только изредка запас воздуха в резервуаре должен быть обновлен, для чего спускают из резервуара воду, так как воздух в ней со временем растворяется. Гидравлический таран может быть употребляем на довольно больших расстояниях (до 1000 м) и может подымать воду на высоту до 100 м.


## Глава 4

### Выгодное использование веса

#### 1. Фунт уравнивает сто фунтов (гидравлический пресс)



Люди, не занимающиеся специально физикой или практической механикой, верно слышали, что гидравлический пресс (водяной пресс) представляет собой машину, дающую человеку возможность поднять груз в 18 тонн, или же что такая машина больших размеров, приводимая в движение механической силой в состоянии поднять 2 тысячи тонн. В таком случае им должно казаться, что дело не обходится тут без сверхъестественного вмешательства, благодаря которому сравнительно малая сила может породить такую огромную силу.

Этот поразительный результат основан на том, что

 вода, как и вообще все жидкости, передает производимое на нее давление равномерно и по всем направлениям.

Иначе обстоит дело с куском железа или другим твердым телом. Он может передать давление, испытываемое им сверху, как, например, действие своей собственной тяжести только вниз, т. е. на предметы, находящиеся под ним. Предметы, находящиеся рядом с ним, не испытывают при этом никакого давления. Если же давить на твердое тело сбоку, то оно в состоянии передать это давление лишь предметам, находящимся сбоку от него по направлению давления.

Эластичная резина (каучук, гуттаперча) обладает до известной степени некоторыми свойствами жидкостей. Эта резина в состоянии сообщить новое направление части испытываемого ею давления.

 Так, литой резиновый мяч, который поместим в четырехугольный ящик, так, чтобы он касался его стенок, при сильном давлении сверху будет расширяться. И в этом случае дно будет испытывать наибольшее давление, но часть давления передастся и на боковые стенки. 



Эта особенность, которую резина обнаруживает благодаря способности изменять свою форму под влиянием давления, вообще свойственна всем жидкостям, с той лишь разницей что они передают равномерно и по всем направлениям *все* то давление, которое они испытывают. Разберем некоторые общеизвестные примеры, на которых можно показать распространение давления по всем направлениям. Чем объяснить то, что вода с такой силой стремится открыть шлюз или прорвать плотину, которая запруживает воду в пруде? Рассмотрим часть воды на известной глубине внутри шлюза. Она сжимается под влиянием собственного веса и веса лежащих над нею масс воды. Это давление передается не только ниже лежащим массам и дну, но также и прилегающим сбоку массам воды, которые, в свою очередь, дают на стены и ворота шлюза.

При этом давление на ворота на большой глубине будет больше, чем вблизи поверхности. Как объяснить, что судно плавает по воде? Вода близ судна давит вследствие собственного веса вниз. Это давление передается не только в стороны, но также и вверх и поэтому давит на судно снизу.

**Объяснение** Чтобы понять действие гидравлического пресса, изготовим прибор, который изображен на рис. 26. *A* и *B* представляют 2 цилиндра, у которых внутреннее поперечное сечение равно 10 кв. см; *D*, *E*, *F* и *G* представляют 4 таких же цилиндра. Все 6 цилиндров соединяются около их дна трубками. В *C* помещен кран, вначале закрытый. Если в цилиндр *A* налить воды, то она проникнет и в *B* и поднимется на такую высоту, что поверхность ее будет в обоих цилиндрах лежать в одной горизонтальной плоскости.

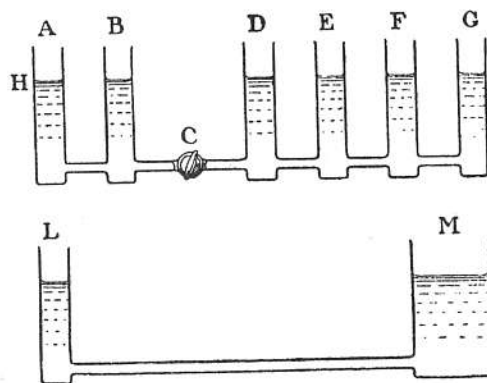


Рис. 26. К уяснению принципа гидравлического пресса

Если уровень воды в одной из трубок временно стоит немного выше, чем в другой, то и вес воды в этой трубке будет немного больше. Поэтому она будет давить сильнее на воду, которая находится вблизи дна. Это давление передается в сторону, и в другой трубке вверх и там поднимает воду, до тех пор, пока она не будет стоять так же высоко, как и в первой трубке, т. е. пока массы воды в обеих трубках не уравновесятся. Но не только *собственный вес* воды передается по любому направлению. На всякую поверхность воды, величиной в 10 кв. см, воздух давит с силой свыше 10 килограммов. Это давление также передается, и действия его на обе трубки взаимно уравнивают друг друга. Чтобы это доказать, достаточно в обеих трубках поместить над водой поршень, легко скользящий и плотно прилегающий. Затем, если поршень в *A* слегка приподнять, то он освободит воду в *A* от давления воздуха. Вследствие этого поршень в *B*, который находится под таким же воздушным давлением, передает свое давление воде по всем направлениям и вызовет в *A* движение воды вслед за поршнем.

С другой стороны, если нажать поршень в *A*, то *излишек* давления передается во все стороны и подымает поршень в *B*, преодолевая вместе с тем давление на него воздуха в 10 кг.

Теперь откроем кран *C*. Каждый из вышеописанных опытов с цилиндром *A* вызовет в каждой из пяти трубок *B*, *D*, *E*, *F* и *G* такой же результат, какой прежде был в одной трубке *B*. В цилиндр *A* нальем воды; уровень ее установится повсюду в одной и той же горизонтальной плоскости, так как давление атмосферы, а также давление воды передается по всем направлениям, и поэтому установится полное равновесие. Если снабдить все трубки поршнями и изменить давление в одной из них, то во всех пяти трубках произойдет одинаковое изменение, какое прежде происходило лишь в одной. Если положить на поршень в *A* один килограмм, то и на *все пять поршней* придется положить по одному килограмму, чтобы они все оказались на одинаковой высоте. ■

Здесь находится ключ к пониманию гидравлического пресса. Груз, который давит на поверхность воды в одной из трубок, очевидно, уравнивается такой же груз и в остальных пяти трубках. Килограмм в *A* может поэтому поддерживать 5 килограммов, равномерно распределенных в *B*, *D*, *E*, *F* и *G*. Но *небольшой избыток* в *A* нарушит равновесие и *поднимет 5 килограммов* на некоторую высоту. Мы по существу не изменим отношение между одним из цилиндров и пятью остальными, если мы все пять последних соединим



в одну более широкую трубку с внутренним поперечным сечением в 50 кв. см. Подобное устройство изображено на рис. 26 в *М*, и действительно опыт показывает, что если *L* имеет поперечное сечение в 10 кв. см, *М* — в 50 кв. см, то 1 килограмм в *L* уравнивает 5 кг в *М* и небольшого избытка в *L* достаточно, чтобы поднять 5 килограммов в *М*. Отсюда следует, и опыт это подтверждает, что когда поперечное сечение в *М* в 100 раз больше сечения в *L*, то сила в 1 килограмм в *L* уравнивает груз в 100 кг в *М*.

Теперь представим себе, что трубка в *L* заменена небольшим нагнетательным насосом. На нашем рисунке *L* изображает цилиндр насоса. Пусть давление на поршень производится не рукой человека, а с помощью рычага (рукоятки насоса). При этом пусть плечо, к которому приложена сила, будет в 6 раз длиннее плеча, которое с помощью стержня соединенно с поршнем насоса.

Человек может без особых усилий произвести на рычаге давление в 30 килограммов. Применение рычага увеличило это давление в 6 раз, и поршень давит с силой в 180 кг на воду в *L*. При этом, если поперечное сечение в *М* в 100 раз превосходит сечение в *L*, то вода в *М* может поднять груз в 18 000 кг или 18 тонн. Один человек, работая рукояткой насоса, поднимает 18 тонн! Когда об этом слышишь впервые, то это похоже на сказку!

Получается такое впечатление, будто природу обманывают. Природа очень осторожный банкир и ни разу еще не осталась в долгу. Она не станет оплачивать чек, сумма которого больше сделанного вклада.

Нет машины, из которой можно было бы извлечь больше работы, чем ей было сообщено в какой-бы то ни было форме. А на практике нельзя даже получить и величину затраченной работы. Какую бы мы силу ни затрачивали, природа возьмет известную пошлину, расходуя часть этой силы на преодоление трения. Эта сила для нас потеряна, она является комиссией банкира. Таким образом, оказывается, что работоспособность машины всегда меньше сообщенной ей силы.

И в случае, когда человек, производя давление в 30 килограммов, заставляет машину поднять 18 тонн, мы можем быть уверены, что найдется компенсация, которая вместо кажущегося сказочного выигрыша в работе покажет нам, что эта работа соответствует вполне затраченной силе. Эта компенсация заключается в том, что путь, который проходит точка приложения силы, будет в 600 раз больше пути, проходимого грузом. Когда рабочий проходит со своей рукояткой насоса путь в 600 см, то груз в 18 тонн поднимется лишь

на высоту 1 см. Следовательно, нужно 100 таких ударов насоса, чтобы поднять груз на высоту 1 м. И рабочий должен каждый раз давить с силой *больше* 30 килограммов, чтобы покрыть потерю на трение.

Достаточно взглянуть на рисунок, чтобы убедиться, что подобная компенсация необходима. Когда поршень в *A* понижает уровень воды ниже *H* и этим заставляет воду в остальных пяти трубках подняться кверху, то при одинаковой ширине трубок высота поднятия воды во всех трубках может заполнить лишь пятую часть понижения в первой трубке. Если пять трубок в *М* соединены в одну, то и в этом случае должно быть это справедливым.

В *М* груз поднимается, таким образом, на одну пятую той высоты, на которую опустится поршень в *L*.

## 2. Без поршня и рычага с одним килограммом воды можно производить давление в 10–100 килограммов

Мы узнали, что при помощи гидравлического пресса можно увеличить во много раз силу давления. Для этого, однако, нужны были *поршни*, чтобы произвести давление на воду, а через это и на поднимаемую тяжесть. Во многих других случаях употребляют также *рычаг*, чтобы выгодно использовать силу давления.

Так, например, два мальчика, положив крепкую доску через лежащий ствол дерева, устраивают таким образом себе качели. Если они одинакового веса, то они положат доску так, чтобы ее середина касалась ствола. Если же один мальчик наполовину легче другого, то они кладут доску так, чтобы приблизительно один конец был бы вдвое больше от места поддержки, чем другой. На длинный конец садится более легкий, а на коротком более тяжелый мальчик. Равновесие теперь опять имеет место, так как каждый фунт более легкого мальчика может удерживать в равновесии 2 фунта более тяжелого. Это часто выражают несколько иначе, придерживаясь принятого в науке способа выражения: рычаг находится в равновесии, если его плечи (или части рычага) обратно пропорциональны приложенным силам.

Всем известно, что рычаги играют важную роль при сооружении многих машин. Еще когда мы говорили о джинриках и гидравлическом прессе, то нам уже пришлось указывать на рычаги.

Все такие средства, как поршни и рычаги, должны быть теперь исключены из нашего приспособления, как это требуется в заголовке. И все-таки давление воды должно увеличиваться во много раз! Как это возможно?

Вообразим два сосуда цилиндрической формы (рис. 27), у которых нижняя поверхность равна 1 кв. дм, а высота соответственно одному и двум дециметрам. Тогда первый сосуд будет вмещать как раз 1 литр (т. е. 1 кг), а второй — 2 кг воды. Первый сосуд мы удлиним кверху следующим способом: прикрепим к нему герметически закрывающуюся крышку, на которой укреплена трубка

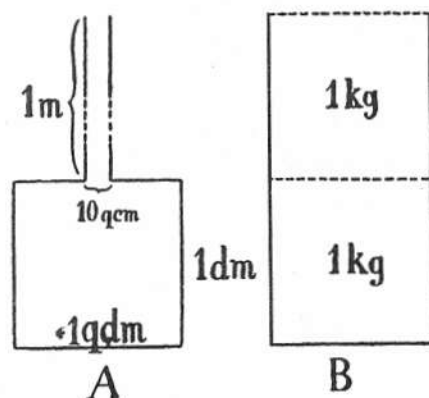


Рис. 27

ка длиной в 1 м и  $\frac{1}{10}$  кв. дм поперечного сечения. Простая задача показывает, что эта трубка содержит как раз 1 кг воды. Если этот сосуд вполне (т. е. и с трубкой) наполним водой, то этот 1 кг воды, который находится в трубе, оказывает давление на дно сосуда в 10 кг. Общее давление на дно в сосуде А будет равняться 11 кг, между тем в сосуде В давление на дно составляет только 2 кг; если бы мы взяли трубку в 10 м длины и только в 1 кв. см. поперечного

сечения, тогда давление на дно достигло бы 100 кг. Наша задача доказать это парадоксальное утверждение, и кроме того показать, как происходит это необыкновенное возрастание давления.

Если нужно измерить давление, которое дно сосуда испытывает, благодаря находящейся над ним жидкости, то надо составить сосуд из трубы, у которой нижний край так гладко отшлифован, что плоская пластинка, слегка придавленная к этому краю, даст герметический (не пропускающий воды) затвор.

<sup>1)</sup> У изображенного аппарата труба G вложена в медную оправу, к нижнему краю которой придавливается медная пластинка.

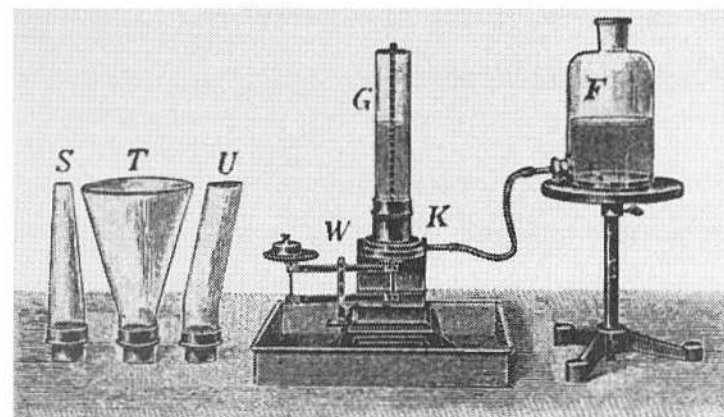


Рис. 28

гирьки придавливают дно к нижнему краю трубы, укрепленной на особом штативе. Если пустить воду течь через трубу (например, посредством кишки из сосуда F), то гирьки будут удерживать в равновесии воду до тех пор, пока поверхность ее не превысит известного уровня. Как только это случится, вода утечет в щели, которые образуются между дном и боковой стенкой.

Гирьки, нужные для того, чтобы удерживать воду в равновесии, составляют меру давления на дно.

Если испытываются посредством такого прибора сосуда (трубы) различной формы (цилиндрические, кверху расширенные, кверху суженные, искривленные и т. д., рис. 28, G, T, S, U), но только с равной поверхностью дна, то выясняется странный факт, что

давление на дно совсем не всегда должно быть равно весу воды, находящейся в сосуде, но при равной площади дна давление зависит только от вертикального расстояния между уровнем воды и дном.

Но это показывает, что форма сосуда не играет при этом никакой роли.

Если наполнить водой прямой цилиндрический, или кверху расширенный, или кверху суженный сосуда с одинаковою площадью дна в 1 кв. дм, то во всех трех сосудах давление на дно будет равняться 1 кг, т. е. весу водяной колонны, помещающейся в цилиндрическом сосуде.

☞ Следовательно в сосуде, сверху суженном, оно больше, чем вес жидкости в нем находящейся<sup>2)</sup>.

Тот факт, что в расширенном сосуде налитая жидкость не давит на дно своим полным весом, кажется еще понятным, если принять во внимание, что косые стенки, наверно, служат опорой для части тяжести.

Но то, что давление жидкости на дно (в суженном сосуде) может быть больше, чем ее вес, это явление кажется совсем парадоксальным. Если мы его внимательно рассмотрим, то увидим, что это парадоксальное утверждение, о котором мы говорили на стр. 68, есть не больше чем лишь частный случай вышеуказанного закона. Сосуд *A* на рис. 27, благодаря надставленной трубе, может рассматриваться, как сосуд суженный кверху.

Несуженная часть вмещает 1 кг воды; труба в 10 кв. см поперечного сечения и 1 м длины вмещает тоже 1 кг, общее же давление на дно равно 11 кг, т. е. оно так велико, как если бы труба была так же широка, как и нижняя часть сосуда, так как тогда он вмещал бы как раз 11 кг. Итак, мы видим, что исследование давления на дно посредством весов привело нас к *открытию существующего здесь закона*, но еще не к ясному пониманию самого явления. Поэтому нам следует еще заняться вопросом: как можно *объяснить*, что давление на дно сосуда может быть не одинаково с весом жидкости, но меньше этого веса или даже больше — в чем собственно и заключается парадоксальность утверждения.

**Объяснение** Прежде всего, совершенно ясно, что давление на дно в прямом цилиндрическом сосуде равняется весу содержащейся в нем воды. На этом факте мы следовательно можем основываться в дальнейшем. Представим себе прежде всего расширяющийся кверху сосуд ступенчатой формы. Разрез в длину этого сосуда изображен на рис. 29. Расстояния *AB*, *CD* и *EF* относятся как 1 : 3 : 5, отсюда следует, что соответствующие площади относятся как 1 : 9 : 25; это значит, если площадь *AB* равна 1 кв. дм, то *CD* = 9 и *EF* = 25 кв. дм. Высота всех ступенек пусть равняется 1 дм.

Сосуд вмещает тогда 35 литров воды, весящих 35 кг, несмотря на это дно *AB* испытывает давление только в 3 кг. Мы легко склонны, чтобы объяснить этот факт, удовлетвориться тем представлением,

<sup>2)</sup> Этим парадоксальным явлением занимался уже в 1653 г. французский математик, физик и философ Блез Паскаль (Blaise Pascal). Сосуды, изображенные на рис. 28, называются поэтому «Паскалевы вазы».

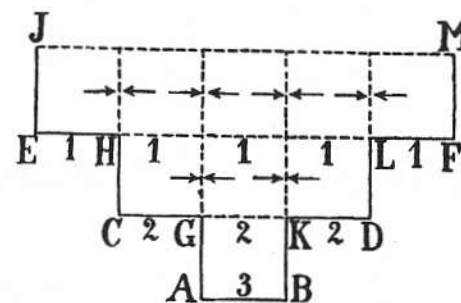


Рис. 29

что части поверхностей, которые представлены линиями *EH*, *LF*, *CG* и *KD*, поддерживают расположенные над ними водяные столбы, а именно *EH* и *LF* каждый по 1 кг и *CG* и *KD* каждый по 2 кг. Тогда их давление для площади дна *AB* не приходится принимать во внимание, и часть *AB* оказывается нагруженной только водяным столбом, находящимся над ней. При этом мы воображали всю водяную массу разделенною на 3 части: первую, которая нагружает самое дно, вторую, лежащую над первой ступенью *C*, и третью, находящуюся над второй ступенью *E*.

Вторая и третья водяные массы окружают кольцеобразно первую, и на все 3 массы мы смотрели в вышеизложенном объяснении как на твердые тела. Поэтому мы можем вообразить эти три водяные массы замененными тремя входящими друг в друга ледяными массами, из которых только одна касается дна. Однако в действительности дело обстоит иначе. Из предыдущего раздела о гидравлическом прессе мы знаем, что давление в жидкости распространяется равномерно по всем направлениям. Поэтому давление водяной массы сказывается не только в том, что она давит на часть площади *EH*, но и в том, что эта вода оказывает боковое давление. Так как, однако, рядом находится вторая такая же водяная масса, которая производит боковое давление в противоположном направлении, то все эти боковые давления, как показывают стрелки на рисунке, взаимно уничтожаются. Вследствие этого окончательный результат действительно таков, что на площадь *AB* действует давление только в 3 кг, т. е. давление, равное весу вертикальной водяной колонны, стоящей над этой площадью.

Это объяснение может быть применено и к ступенчатому сосуду, суживающемуся кверху. Таким образом, например, происходит,



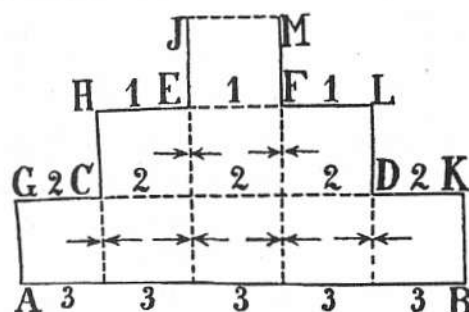


Рис. 30

что если, как на рис. 30,  $AB$  равняется 25 кв. дм и высота ступенек равняется 1 дм, давление воды на  $AB$  равняется 75 кг, несмотря на то, что вес воды равняется только 35 кг.

Для объяснения мы начнем с водяной массы, граничащей с площадью  $EF$ , давление на которую равно 1 кг. Так как это давление передается дальше через слой  $HCDL$ , то и стенки  $HE$  и  $FL$  испытывают давление в 1 кг на каждый 1 кв. дм. Это давление действует, однако, снизу вверх. Так как стенки не уступают этому давлению, то они оказывают противодействие одинаковой величины, которое передается силою воды  $CHDL$ . Следовательно, получается такой результат, как будто бы ступенек  $HEI$  и  $LFM$  не существовало, а над всем находится один везде равный водяной столб с основанием  $HL$  и высотой равною  $EI$ . Из этого выходит, что площадь  $CD$ , которая находится под давлением обоих водяных слоев, испытывает давление, равное 2 кг на каждый кв. дм. Подобное соображение, очевидно, применимо и к слою  $GABK$ . Таким образом, в окончательном результате получим, что каждый квадратный дециметр основания  $AB$  испытывает давление в 3 кг.

Наше рассуждение устраняет также и мнимое противоречие, которое состоит в том, что

жидкость весит менее того давления, которое испытывает дно.

Действительно, поставим сосуд, изображенный на рис. 30, наполненный водой, на весы. Давление на дно будет равняться 75 кг. Хотя дно касается чаши весов, вода нагружает весы только с силою 35 кг. Где же остались остальные 40 кг? Ответ на это заключается в следующем: пространство  $HL$  содержит 9 кв. дм,  $EF$  1 кв. дм, и следовательно кольцеобразная часть  $HL$  — 8 кв. дм. Она испытывает

давление снизу вверх, равное 8 кг. Площадь  $GK$  равна 25 кв. дм,  $CD$  — 9 кв. дм, а кольцеобразная часть площади  $GK$ , следовательно, составит 16 кв. дм, она будет испытывать давление снизу вверх, равное 32 кг. Давление, которое действует снизу вверх на стенки сосуда, составляет, таким образом, 40 кг, следовательно, от давления на дно в 75 кг остается только 35 кг, которые и производят давление на весы. Только что приведенные соображения относительно ступенчатых расширенных или суженных сосудов будут иметь значение и тогда, когда эти ступеньки будут так малы и так многочисленны, что сосуд будет казаться постепенно расширяющимся или суживающимся. И тогда давление на дно будет равняться весу столба жидкости, у которого основание равняется дну сосуда, а высота равна расстоянию от дна до поверхности уровня. Следовательно, давление на дно не зависит от суживания или расширения сосуда, а только от величины его основания и высоты поверхности жидкости. Возвратимся, однако, еще раз к исходному пункту. После высказанных соображений вполне ясно, что дно сосуда на рис. 27  $A$  (с приставною трубою) испытывает давление в 11 кг, в случае, когда длина трубы равна 1 м, а ширина 10 кв. см. Если бы длина трубы равнялась 10 м, а поперечное сечение 1 кв. см, то это давление равнялось бы 101 кг, хотя воды в обоих случаях было бы взято лишь 2 кг. ■

Уже Паскаль обнаружил то сильное давление, которое производит жидкость, заключенная в узкую и длинную трубку. Надставляя бочонок с водой длинной трубкой, он заставлял его лопаться благодаря давлению, которое производила вода, налитая в трубку.

Этот факт использован практически в экстрактном прессе Реаля. Очень часто бывает нужно из каких-нибудь твердых тел (как, например, части растений), извлечь при помощи какой-нибудь жидкости (как вода, алкоголь, бензин, сероуглерод и т. д.) известные легко растворимые вещества (как танин, масло и т. п.). Опыт показывает, что растворение совершается тем скорее, чем выше будет давление, под которым находится данная жидкость. Для этого поступают следующим образом. Приготовленный для опыта материал кладут между двумя пластинками, просверленными наподобие сита, и затем высокий столб данной жидкости заставляют фильтроваться через взятый материал под ее собственным высоким давлением. ◀



### 3. Увеличение веса независимо от массы (центробежная сила)

➡ Если я свешаю железный кубик, стороны которого равняются 1 см, то я найду, что его вес равняется приблизительно 7,5 г. Если же я захочу получить двойной вес, то я должен взять 2 кубика указанной величины, другими словами, я должен удвоить массу. Увеличивать же вес, не удваивая массы, кажется нам поэтому очень невероятным. Но мы увидим, что в известном смысле можно найти средство к достижении этой цели.

Если мы прикрепим не слишком легкий предмет к нитке и приведем тело в круговое движение, то мы почувствуем как натянулась нитка благодаря подвешенному предмету. Если прикрепить тела различного веса к ниткам одинаковой длины и вертеть их одинаково быстро, то мы заметим, что большая масса будет натягивать нитку больше, чем меньшая масса. Силу, благодаря которой движущееся по кругу тело натягивает нитку, называют центробежной силой.

При одинаковой скорости она пропорциональна массе движущегося тела. Чем меньше радиус круга, тем больше центробежная сила, и чем больше увеличивается скорость движения, тем больше увеличивается сила. ➡

Насколько значительна бывает эта центробежная сила, можно видеть из того, что иногда точильные камни лопаются вследствие быстрого вращения.

Когда тело во время центробежного движения освобождается от нитки, то оно уже не продолжает своего первоначального кругового движения, но летит прямо по направлению, которое математики называют направлением касательной линии (рис. 31), как известно, это те направления, по которым отрываются частички от вращающегося тела.

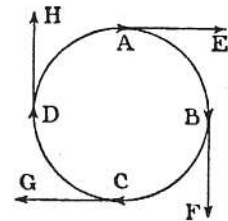


Рис. 31.  
Движение по  
окружности

Вспомним, как точильный камень отделяет от прижатого куска железа мелкие частички, которые в раскаленном состоянии отбрасываются им в виде искр.

Из этого видно, что движущееся тело в данный момент стремится к прямолинейному движению (по направлению касательной) и что оно только благодаря двигательной силе нитки совершает кругообразное движение. Вследствие этого, тело (по закону равенства действия

и противодействия) производит такое же сильное натяжение по направлению от центра. Вместо шнурка можно употреблять и другие способы, чтобы держать предмет на одинаковом расстоянии от центра. Предмет можно поставить на колеса и заставить его следовать по внутренней стороне кругового пути.

➡ Такой случай мы имеем, например, когда велосипедист показывает свое искусство и еще больше того смелость на так называемой «центробежной дороге» (см. рис. 32). Необходимую скорость он приобретает, предварительно спускаясь с крутой наклонной плоскости, которая лежит немного выше, чем тот круг, по которому он желает ехать. Этого достаточно, чтобы велосипед катился по полотну, находящемуся с внутренней стороны кругового пути. При этом велосипедист проезжает высшую точку пути головой вниз и ногами вверх. Одна только центробежная сила прижимает его к опрокинутому сиденью, но он может быть спокоен, если все приспособления безупречны и сам он достаточно владеет своими нервами. Этих примеров пока достаточно, чтобы показать, как при каждом центральном движении возникает центробежная сила. ➡

Так как мы уже несколько раз сказали, что величина этой силы при одинаковом радиусе и скорости зависит от массы тел и так как массу можно определить посредством веса, то можно центробежную

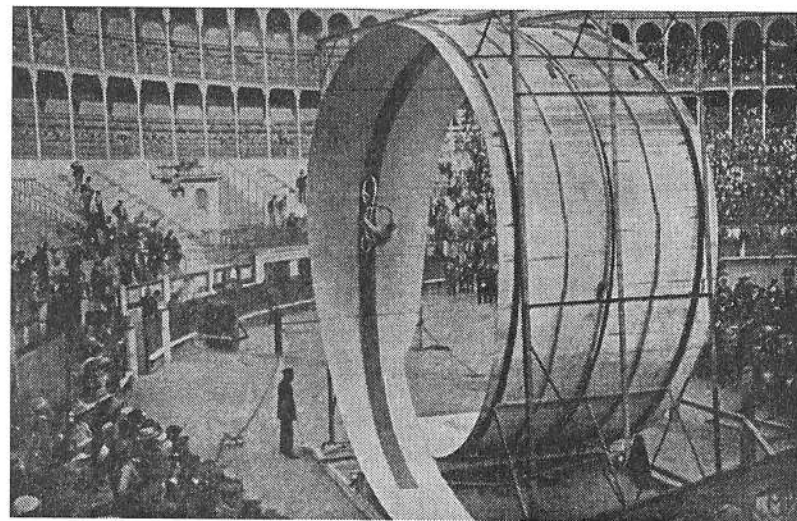


Рис. 32. Центробежная дорога

силу рассматривать, как один из видов действия веса тела, при котором, однако, вес действует не по направлению к центру Земли, как обыкновенно, но по направлению радиусов пути, описываемого движущимся телом. Так как далее центробежная сила увеличивается с увеличением скорости, то,

увеличивая скорость движения тела, мы тем самым имеем возможность увеличить действие веса тела, не увеличивая его массы.

Центробежная сила находит себе очень полезное применение, именно для быстрого разделения тел, которые хотя и сами отделяются друг от друга вследствие различного веса, но значительно медленнее. Таким путем химик отделяет кристаллы и осадки от растворов, в которых они образуются; таким же образом в молочном хозяйстве освобождают и отделяют сливки от тяжелой, водянистой части молока. Разница в удельном весе сливок и водянистой части молока не очень велика: отношение весов равно приблизительно 9 : 10. Если поэтому оставить молоко стоять, то нужно много часов, пока мельчайшие капельки жира, рассеянные в молоке, частью соберутся сверху в виде сливок.

Предположим, например, что в известном количестве молока находится 9 г сливок, тогда вес вытесненной сливками водянистой части будет 10 г и «выталкивающая сила», т. е. причина поднятия сливок, равна 1 г. Если бы сделать обе части в 1000 раз тяжелее, так, чтобы сливки весили 9 кг, а вытесненная часть молока 10 кг, то «выталкивающая сила» была бы равна 1 килограмму.

Эта именно задача практически осуществлена в *центробежном сепараторе*<sup>3)</sup>.

Простая форма сепаратора, пригодная для лабораторных целей, представлена на рис. 33. Рама с 6–10 плечами вращается горизонтально с большой скоростью при помощи особого приспособления, не изображенного на рисунке. На конце каждого плеча находится вращающееся кольцо. В эти кольца вставляются трубки, содержащие вещества, которые надо «центрифугировать». Чтобы не было колебаний прибора, друг против друга должны находиться одинаковые количества жидкости. При вращении этого аппарата под действием центробежной силы трубки отклоняются от своего первоначального положения *А* кнаружи. Когда они приходят в положение *В*, где образуют с первоначальным направлением угол

<sup>3)</sup> Сепаратор — разделитель.

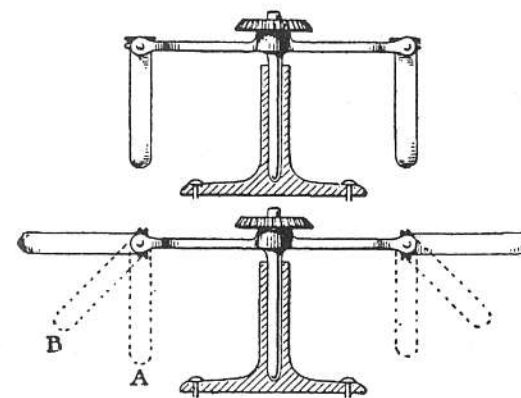


Рис. 33. Центрифуга

в 45° и оказываются, таким образом, посредине между вертикальным и горизонтальным положениями, то сила тяжести, действующая по вертикальному направлению, равна по величине горизонтально действующей центробежной силе. Таким образом, всякий грамм массы внутри трубки, кроме своего веса в 1 г, которому он обязан силе тяжести, еще, так сказать, приобретает 1 г «горизонтального веса» благодаря действию центробежной силы. Центробежная сила пропорциональна квадрату скорости. Таким образом, если машина вращает трубки вдвое быстрее, то развивается вчетверо большая центробежная сила; каждый грамм массы приобретает теперь 4 г горизонтального веса, при удесятеренной скорости каждый грамм приобретает 100 г горизонтального веса и т. д.

Таким путем небольшая первоначальная разница в весе двух тел в такой трубке обуславливает при достаточно быстром вращении прибора весьма значительную разницу в центробежном весе тел, и более тяжелое скоро собирается на наружном конце трубки, т. е. на дне ее. В машинах, основанных на этом принципе и отличающихся от нашего прибора лишь отдельными деталями, ежедневно центрифугируются большие количества молока. Водянистая часть молока гонится при этом во внешние части сепаратора, между тем как более легкие сливки собираются вблизи середины.

Подобным же приемом пользуются в больших прачечных, чтобы быстро удалить воду из мокрого белья. На пасеках таким способом извлекают мед из ячеек пчелиных сот, не разрушая этих последних, как это было прежде, когда их разрезали и раздавливали.

## Замерзание и таяние

### 1. Таяние льда, сопровождающееся его охлаждением

Конькобежцы хорошо знают, как быстро тает лед, когда ветер изменяет направление и теплый воздух дует над поверхностью льда. Путешествующие по арктическим странам часто добывают воду, ставя сосуд со льдом на огонь. Эти примеры показывают, что лед плавится, когда ему сообщают тепло. Но его можно расплавить и не затрачивая тепла, даже более того, при понижении его температуры. Каким же способом можно расплавить лед без тепла? Собственно говоря, и в этом случае плавление льда не обходится без тепла, но оно происходит без притока тепла *извне*. Для плавления всегда нужно тепло; но лед сам должен доставить его себе. Что лед может доставить тепло, это тоже на первый взгляд может показаться парадоксальным. Но несмотря на то, что лед холоден, все же он не совсем лишен тепла. Когда я утверждаю, что он холоден, то этим я говорю только, что в нем меньше тепла, чем в моем теле, и, конечно, не хочу этим сказать, что он совершенно лишен тепла.

Во всех знакомых нам предметах есть тепло; оно содержится и в тех телах, которые мы назовем холодными или прохладными, — конечно, в меньшем количестве, чем в тех, которые мы назовем теплыми или горячими. Для того чтобы сделать лед холоднее, необходимо поставить его в такие условия, чтобы он мог отдать часть своей теплоты. Но тепло есть вид энергии, который способен переходить в другие виды энергии. Тепло может переходить в свет, электричество, магнетизм; оно способно вызывать химические соединения и разложения, плавление, парообразование и механическое движение. Последнее имеет место в наших паровых машинах, которые представляют не что иное, как приспособление для превращения тепловой энергии в энергию движения. Таким образом, взять от тела тепло значит отнять у него

энергию, т. е. заставить его производить некоторую работу. Отсюда мы можем усмотреть следующее: когда лед плавится, не получая извне тепла или другой какой-либо энергии, когда он, следовательно, отнимает необходимую для таяния энергию от самого себя, то в нем остается меньше энергии и эта потеря энергии может выразиться в потере тепла, т. е. в понижении температуры, измеряемой термометром.

Вопрос, следовательно, только в том, как же можно заставить лед таять без тепла? Для этого можно воспользоваться тем обстоятельством, что раствор соли замерзает не при  $0^{\circ}\text{C}$ , как обыкновенная вода, а почти при  $-18^{\circ}\text{C}$ . Можно, следовательно, понизить и точку замерзания воды, прибавив к ней соли, иными словами, смесь воды и соли не может находиться в твердом состоянии при температуре выше  $-18^{\circ}\text{C}$ . Если поэтому мы смешаем воду в твердом состоянии, т. е. лед, при  $0^{\circ}\text{C}$  с солью, то часть этой смеси должна обратиться в жидкость. А так как для этого необходима энергия, то на это затрачивается часть тепла взятой смеси.

Насколько сильно охлаждается смесь из льда и соли, видно из образования толстого слоя инея на поверхности стенок сосуда, в котором происходит смешение. Как это объяснить? На наружной поверхности сосуда, в котором находится лед при  $0^{\circ}\text{C}$  или ледяная вода, часто можно заметить образование росы. Это влага окружающего воздуха. Сосуд, наполненный льдом, охладил воздух, который выделил вследствие этого часть своей влаги на стенках сосуда. Так как наша смесь льда и соли могла достигнуть температуры  $-10^{\circ}\text{C}$ , то ясно, что пары воды, которые находятся в воздухе, могут осаждаться не в жидком состоянии, а прямо в виде тонких ледяных иголок, т. е. в виде инея.

Когда Фаренгейт произвел этот опыт (взяв нашатырь вместо поваренной соли) и открыл, какой сильный холод можно было вызвать этим соединением, то он решил, что получил самую низкую из всех возможных температур. Именно по этой причине он обозначил, на своей термометрической шкале, эту температуру нулевой точкой, между тем как Цельсий обозначил  $0^{\circ}$  точку замерзания воды (таяния льда). Промежуток между точкой кипения и замерзания воды Фаренгейт разделил на 180 частей (градусов), а Цельсий только на 100 частей. По этой причине точка кипения на термометре Цельсия обозначена числом 100, а у Фаренгейта числом 212. Точка замерзания у Фаренгейта обозначена числом 32.



Теперь мы знаем, что Фаренгейт ошибся, думая, что он получил самую низкую температуру. Так, в жидком воздухе мы имеем температуру  $-200^{\circ}\text{C}$  ( $= -344^{\circ}\text{F}$ ), а жидкий и твердый водород еще холоднее. Все же температура  $-18^{\circ}\text{C}$  ( $= 0^{\circ}\text{F}$ ) представляет довольно низкую температуру. Поэтому посыпание мостовых солью, для удаления льда и снега, является неудовлетворительным средством; этим, конечно, достигается, что лед тает при температуре ниже  $0^{\circ}\text{C}$ . Но при этом лед расходует столько собственной теплоты, что ногам людей и лошадей становится чрезвычайно холодно.

## 2. Таяние льда без сообщения ему тепла и без понижения температуры

Существует и третий способ плавления льда — при помощи давления. Если бы мы были достаточно сильны, мы могли бы получить воду, сдавив рукою кусок льда. Но так как мы не в состоянии сделать этого, то нам приходится пользоваться механическими средствами.

➡ На рис. 34 *A* изображает металлическую трубку с очень толстыми стенками, снабженную внутри винтовой нарезкой и запираемую двумя винтами *BC* и *DE*. *F* — металлический шар, а остальное пространство *CD* наполнено водой. Прибор ставится вертикально, *B* внизу, *E* кверху, в охлаждающую смесь из льда (или снега) и поваренной соли. Шар, разумеется, лежит в воде у точки *C*. Когда замерзнет вода, шар, конечно, крепко вмерзнет в лед, в чем можно легко убедиться, открыв трубку.

Затем вставляем снова винт, переворачиваем трубку концом *B* кверху и с помощью рычагов ввинчиваем винты глубже в трубку так, чтобы подвергнуть лед сильному давлению. Затем, оставляя

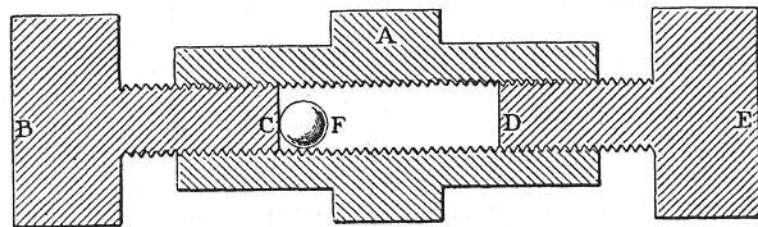


Рис. 34. Плавление льда при помощи давления

конец *B* сверху, вынимаем винт *E*. Тогда мы увидим, что шар перешел к точке *D*, т. е. он, по-видимому, прошел сквозь лед.

Затем поставим весь прибор опять на некоторое время в охлаждающую смесь и повторим все операции. Держа конец *E* кверху, производим давление винтом *E* и затем удаляем *B*. Тогда увидим, что шар вернулся в *C*. ➡

Перемещения шара, которые происходят как бы сквозь самый лед, объясняются тем, что благодаря сильному давлению лед превращался каждый раз в воду, шар при этом падал вниз, а когда давление уничтожалось, то вода снова превращалась в лед. Что это действительно происходит именно так, легко проверить, прислушавшись при переворачивании трубки со льдом, когда она находится под сильным давлением; тогда нетрудно услышать и почувствовать, как при этом шар каждый раз производит удар. Следовательно, мы выводим, что, пока трубка находится под сильным давлением, мы имеем в ней не лед, а воду.

Таким образом легко с помощью давления превратить лед в воду. Это покажется нам вполне естественным, если мы припомним, что вода при замерзании расширяется. Если же мы будем насильно препятствовать этому расширению, то вода не будет в состоянии замерзнуть. Если уже замерзшую воду мы опять поместим в меньшее пространство, то она должна будет из твердого состояния, которое требует большого объема, перейти в жидкое состояние, для которого нужен меньший объем.

## 3. Как разрезать лед, в то же время оставляя его цельным?

Этот легкий и красивый фокус основан на принципе, который мы изложили в предыдущем разделе, и нуждается для своего выполнения лишь в очень немногих приспособлениях.

➡ Нужен кусок льда, у которого форма была бы вполне удобная для зажимания его в штатив. Удобнее всего форма стержня (рис. 35, *AB*). Такой стержень из льда нетрудно приготовить каждому. Необходимо прежде всего взять стеклянную или иную какую-либо широкую трубку около 15 см длиною и один ее конец закрыть пробкой. Потом наполнить ее почти доверху водой и другой конец трубки также закрыть пробкой; затем взять 2 кг снега (или кусочков льда величиной с боб или горошину) и 1 кг поваренной соли,



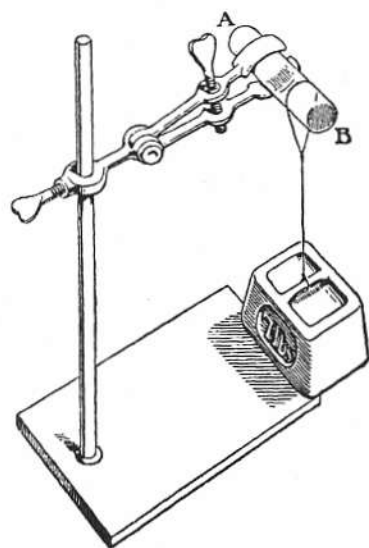


Рис. 35

хорошо перемешать, и в эту смесь вставить трубку с водой. Пройдет не более получаса, как вода замерзнет. После этого вынимаем трубку и опускаем в холодную воду для того, чтобы расплавить поверхность льда, крепко примерзшего и к стенкам трубки, и к пробкам. Потом выталкиваем ледяной стержень. Чтобы легче вынуть лед из стеклянной трубки, можно разломить дно у трубки и этим дать возможность воздуху проникнуть в трубку и помочь выходу льда. Затем горизонтально укрепляем ледяной стержень, сильно зажав один его конец в штативе. Для этой цели может служить круглая дыра нужной величины в вертикально поставленной доске. Далее, кусок льда охватываем тонкой (цветочной) проволокой и к ней привешиваем груз около 5 кг, так чтобы между ним и столом осталось расстояние в 5 см. Если толщина стержня  $2\frac{1}{2}$  см, а толщина проволоки  $\frac{1}{4}$  мм, то площадь под проволокой равна почти 10 кв. мм, или  $\frac{1}{10}$  кв. см. Давление на 1 кв. см, таким образом, составляет не менее 50 кг. Еще раньше мы видели, что под сильным давлением лед плавится. Таким образом, и давление проволоки вызовет плавление льда, который находится непосредственно под проволокой. И вследствие этого проволока станет все глубже врезываться в лед, до тех пор, пока наконец груз не упадет на стол. Но лед оказывается не перерезанным, и его неукрепленная часть, отрезанная проволокой, не падает вниз, а все же остается примерзшей к другой части. ◀

Без сомнения, кто познакомился с содержанием последнего раздела, тот сам без труда найдет этому объяснение.

Жидкая вода, которая получилась благодаря давлению проволоки на лед, опять должна замерзнуть в образовавшейся щели, так как здесь она уже не испытывает давления. Это называется «вторичным замерзанием» или «регеляцией». Если взять и крепко сжать горсть снега, произойдет то же самое.



Рис. 36. Ледник, стекающий в долину

Благодаря давлению часть снежинок тает. А если давление прекращается, то получается «регеляция», и масса до некоторой степени является соединенной в один кусок. Так мы делаем снежки.

Давление, необходимое для плавления льда, должно быть тем больше, чем ниже его температура. Если лед холоднее всего на  $1^\circ$ , то уже необходимо громадное повышение давления. Поэтому нашей силы недостаточно, чтобы делать снежки из очень холодного снега. Все хорошо знают, что легче всего это удастся, если температура снега, благодаря оттепели, поднимется до  $0^\circ\text{C}$ .

Образование и движение глетчеров тоже объясняется «регеляцией». Если в одном месте скопляются большие массы снега, то в глубине снег может слегка таять. Но так как условия давления и напряжения в снеге меняются благодаря перемещению снежных масс, то снег не остается в растаявшем виде, а вновь замерзает, когда давление уменьшается. При частом повторении этого явления могут в глубине снегов образоваться плотные массы льда. Движение глетчеров, или их способность наполнять долины, подобно водному потоку, и затем передвигаться вниз, т. е., короче говоря, пластичность глетчеров — основана на регеляции льда. Если, например, долина суживается, то в широком ледяном потоке образуется затор. Так как в этом месте и на небольшом расстоянии выше этого места лед оказывается под большим давлением, то он отчасти тает, потом

снова замерзает и все более и более принимает форму долины. Таким образом, и глетчер (см. рис. 36) течет наподобие потока вниз, хотя и гораздо медленнее.

#### 4. Лед, который не тает в сосуде с кипящей водой

Если мы станем держать пробирку с водой над пламенем спиртовой лампы или горелки Бунзена, то спустя некоторое время вода начнет кипеть. Но если держать пробирку таким образом, чтобы пламя, как это показано на рис. 37, касалось только ее середины, то будет нагреваться только верхняя часть воды, а нижняя часть пробирки останется совершенно холодной и ее можно будет удобно держать в руке, в то время как сверху вода будет кипеть. Это можно объяснить следующим образом: где вода нагревается пламенем, она расширяется. Когда же объем, наполненный определенным количеством воды, увеличится, то в меньшем, его первоначальном объеме, вес воды будет меньше. В подобном случае можно сказать, что вода стала легче. Эта легкая вода в верхней половине трубки

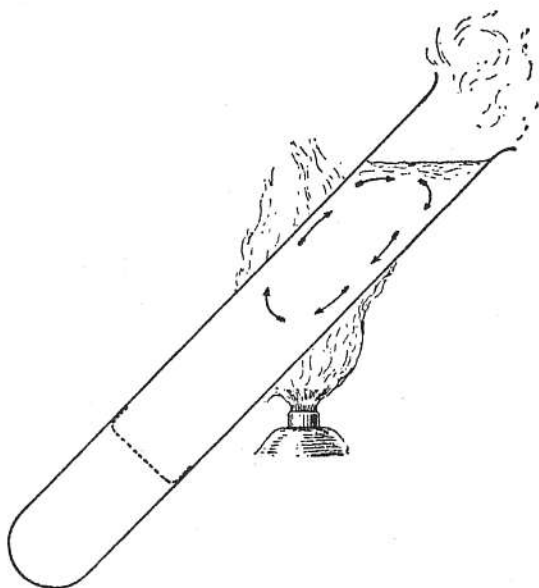


Рис. 37. Лед в сосуде с кипящей водой

будет сверху и с боков окружена более тяжелой водой. Эта более тяжелая вода в своем стремлении проникнуть под нагретую воду вынуждает последнюю подняться наверх.

Пока подводится тепло, будет происходить движение воды, которое указано на рисунке стрелками, и оно продолжается до тех пор, пока наконец вода не начнет кипеть в верхней половине трубки. Но это мало влияет на более тяжелую холодную воду в нижней половине трубки.

Если положить на дно пробирки кусок льда, явление станет еще более поразительным. Лед легче воды и, естественно, он стремится всплыть, как «плавает» теплая вода на холодной. Чтобы лед не поднимался, на него можно положить металлический кружок с отверстием в середине или кусок проволоки, или что-либо подобное, лишь бы не мешать свободному доступу воды; большая часть льда останется нерастаявшей, в то время как вода надо льдом будет бурно кипеть.

#### 5. Увеличение и уменьшение объема от одной и той же причины

В предыдущем разделе мы говорили о том, что вода расширяется под влиянием тепла, или, выражаясь иначе, что то же самое, можно сказать, что вода сжимается от охлаждения. Однако вода в этом отношении представляет редкое исключение и поэтому сильно отличается от большинства остальных тел.

➡ Возьмем бутылку и, наполнив ее водой, закроем пробуравленной пробкой, в которую вставлена стеклянная трубка; такой прибор вполне может служить в качестве термометра (рис. 38).

Когда нагреем бутылку, вода начнет расширяться, подниматься по трубке и наконец течь через край. Если теперь мы поставим бутылку в сосуд, наполненный небольшими кусочками льда, так чтобы лед достигал горлышка бутылки, то заметим, что температура воды начнет быстро понижаться и вместе с тем и уровень воды в трубке.

Чем холоднее вода, тем ниже она опустится; если вода находилась в точке А, когда бутылка начала охлаждаться, то при температуре в 4 °С вода будет приблизительно при точке В. ◀

Можно подумать, что при дальнейшем охлаждении вода станет и далее уменьшаться в объеме. Но, к удивлению, это не так. Это значило бы уж слишком широко применять принцип, как это произошло с одним чело-

веком, жена которого принесла в субботу вечером только что изобретенную печь, благодаря которой, как ее уверили, можно легко сэкономить половину топлива. Тогда муж сказал: «В следующую неделю купим еще одну, тогда мы сэкономим все топливо».

В науке мы также часто можем заметить то же самое, что и в повседневных явлениях, а именно, что принцип хорош только в известных пределах. Неоднократно приходилось сталкиваться с тем, что закон или принцип, вполне справедливый при известных обстоятельствах, в частных случаях нуждался в изменении, а в исключительных обстоятельствах бывал и совершенно неприменим. Замерзание воды и является таким исключительным случаем. По-видимому, замерзание заключается в образовании кристаллов, причем молекулы располагаются в кристалле на гораздо больших расстояниях, чем в жидкости.

Всегда объем льда оказывается на 10 % больше объема воды, из которой он образовался. Таким образом, по-видимому, происходит следующее. Приблизительно около  $4^{\circ}\text{C}$ , когда вода еще недостаточно охладилась, чтобы окончательно перейти в лед, начинается предварительный процесс, который заключается в том, что молекулы стремятся все с увеличивающейся силой образовать новые группы, занимающие больше места. Так расширяется вода все время, пока идет процесс охлаждения от  $4$  до  $0^{\circ}\text{C}$ , а при последней температуре, когда вода переходит в лед, она испытывает еще большее расширение. Таким образом, получается замечательный и, по-видимому, противоречивый результат, заключающийся в том, что когда вода в трубке находится при  $B$ , то безразлично, будем ли мы воду нагревать или охлаждать. В обоих случаях вода будет расширяться и столб воды в трубке подниматься вверх. Если начать опыт с совершенно наполненной трубкой при  $4^{\circ}\text{C}$  и один раз довести температуру до точки кипения, а другой раз охладить настолько, чтобы вода превратилась в лед, и затем измерить приблизительно величину расширения в этих двух случаях (собирая воду, переливающуюся через край, гуттаперчевой трубкой), то мы найдем, что при охлаждении воды от  $4^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$  и последующем замерзании

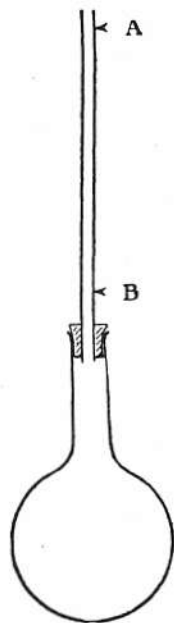


Рис. 38. Аппарат для исследования сжатия и расширения воды

расширение было вдвое больше того, которое было при нагревании воды от  $4^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$ , т.е. при нагревании на  $96^{\circ}\text{C}$ .

Это мнимое противоречие, заключающееся в том, что вода от холода и сжимается, и расширяется, очень важно для людей и животных умеренного и холодного пояса. Когда зимой температура воды в прудах и озерах падает до  $4^{\circ}\text{C}$ , то замерзание ограничивается лишь тонким слоем на поверхности воды. При этом образуются течения, какие уже были описаны в предыдущем разделе, только в данном случае они происходят иным образом. Там эти течения обуславливались нагреванием воды, находящейся над той поверхностью, которой пламя доставляло теплоту. А здесь охлаждается масса воды, лежащая ниже поверхности, подвергнутой действию холода, именно слой воды, лежащий непосредственно под поверхностью пруда. Рис. 39 представляет вертикальный разрез пруда. Вода на поверхности  $A$ , подверженная действию холодных ветров или теряющая теплоту вследствие лучеиспускания, сильно охлаждается. Поэтому она уменьшается в объеме, делается тяжелее остальной воды и опускается вниз, вытесняя на поверхность более легкую, теплую воду. Но благодаря соприкосновению с почвой на дне ( $BCD$ ) охладившаяся вода нагревается, между тем как вода на поверхности становится такой же или еще более холодной, чем вода, находившаяся там первоначально. Следовательно, она стала тоже более тяжелой и теперь, в свою очередь, погружается вниз, вытесняя более теплую воду вверх. Так возникают течения, поддерживающие в воде циркуляцию, пока вся вода не охладится до  $4^{\circ}\text{C}$ .

Что же тогда произойдет?

Вода, которая была сверху, охладившись до  $4^{\circ}\text{C}$ , перестанет сжиматься и при дальнейшем охлаждении начнет расширяться, и поэтому станет «легче». Таким образом, вода, охладившись до  $4^{\circ}\text{C}$ , не будет более погружаться, а будет «плавать» на поверхности осталь-

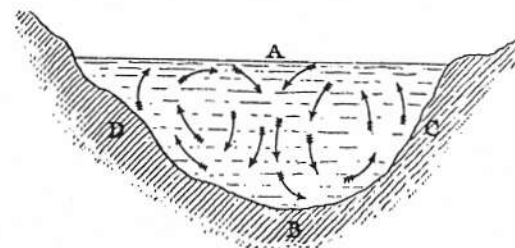


Рис. 39. Течения в пруде



ной воды, и поэтому описанные течения прекратятся. Скоро верхний слой воды охладится до  $0^{\circ}\text{C}$  и замерзнет. Однако внизу, при достаточной глубине, вода всегда будет сохранять температуру  $+4^{\circ}\text{C}$ . Расширяющийся при замерзании лед благодаря этому легче воды, и потому он держится на ее поверхности.

Но что могло бы произойти, если бы вода, подобно иным телам, продолжала бы по мере охлаждения сжиматься. Течения, во-первых, не прекратились бы и вода бы на дне замерзла, а во-вторых, если бы образование льда сопровождалось бы еще большим его сжатием, то лед стал бы тяжелее воды и, по мере образования, погружался бы на дно. Образовавшийся позднее лед тоже опускался бы, и следовательно, лед скопился бы до тех пор, пока вся вода в пруде не обратилась бы в сплошной лед.

Это явление, конечно, окончилось бы полным истреблением рыб, которые живут теперь в воде подо льдом. А затем и люди, и животные, которые живут в климате, где зимы очень суровы, не могли бы существовать, благодаря недостатку в воде, которая каждую зиму совершенно вымерзала. На помощь, к счастью, явилось расширение, и вода на глубине остается незамерзшей и ее легко добыть, вырубая во льду проруби.

Эта поразительная неправильность в расширении воды играет, таким образом, огромную роль в благосостоянии людей.

## 6. Разрушительное действие замерзающей воды

Мы уже упомянули, что вода при замерзании расширяется на 10 % своего первоначального объема. Это расширение происходит с такой силой, что даже крепкие железные сосуды легко могут лопнуть.

При помощи следующего опыта это можно очень легко обнаружить.

➡ Наполним доверху водой небольшой стальной цилиндр (рис. 40) с полостью *A* и шестиугольной головкой *B*. На открытом конце цилиндра, в углублении, вставлена пластинка *C* из тонкой листовой меди. На пластинке лежит крепкое металлическое кольцо, через которое передается давление от шестиугольной гайки *E*, навинчиваемой на цилиндр. У гайки есть отверстие, равное отверстию кольца, так что середина наружной поверхности медной пластинки видна через кольцо и гайку. Гайка крепко прижимает пластинку к

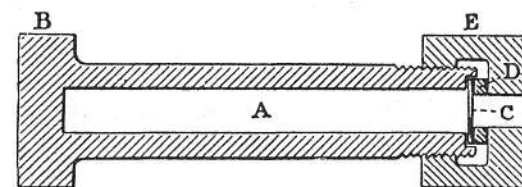


Рис. 40. Прибор для наблюдения взрыва при замерзании воды

цилиндру и герметически закрывает полость *A*. Весь прибор помещаем в охлаждающую смесь, уже описанную выше, так чтобы сверху был виден только открытый конец цилиндра.

Вскоре цилиндр и вода внутри его охлаждаются до температуры замерзания и даже ниже. Вода стремится замерзнуть, но для этого необходим больший объем. Однако при данных условиях вода не имеет его и, следовательно, не может замерзнуть. Вследствие охлаждения молекулы стремятся расположиться в другом, новом порядке и все с возрастающей силой давят на стенки своей тюрьмы, пока не разобьют своих оков в наиболее слабом месте, а именно там, где находится тонкая медная пластинка. Когда она лопается, мы слышим громкий треск, который и указывает нам на ту громадную силу, с которой она разрывается.

Теперь, вследствие разрыва, полость открылась, и вода имеет достаточно места, чтобы замерзнуть. При этом лед не только заполняет всю полость цилиндра, но и выходит через отверстие в медной пластинке, так как объем льда более объема воды, в форме ледяного столбика, который выступает даже за пределы гайки. ➡

В процессе разрушения больших гор важную роль играет разрушительная сила замерзающей воды. Снеговые и дождевые воды, проникая в трещины гор, замерзают там во время сильных морозов. При этом они расширяются с такой страшной силой, что скалы дают тысячи трещин.

Действие этой силы в меньшем масштабе замечается на водопроводных трубах, которые также лопаются в очень сильные морозы. Если при закрытых кранах вода плотно заключена в трубах, то она не сможет замерзнуть, если трубы крепки и могут препятствовать расширению воды. Если же сила расширения увеличится, то трубам или придется расширяться, или лопнуть. Вода при этом станет просачиваться через стенки труб лишь тогда, когда потеплеет, и лишь тогда можно найти порчу труб, хотя она могла произойти давно, во время мороза.



## Испарение и кипение

### 1. Разрушительная сила нагретой воды

Последний наш опыт заключался в том, что мы охлаждали воду до замерзания внутри прочного сосуда, который в этом случае лопался. Почти невозможным кажется здравому смыслу, что противоположное условие, т. е. нагревание воды, приводит к тому же результату. И все же это всем хорошо известно; стоит только вспомнить частые взрывы паровых котлов.

Если мы захотим показать разрывную силу горячей воды в доме, то необходимо принять меры предосторожности. Для этого удобно взять такой сосуд, у которого одна часть будет слабее другой, чтобы мы могли знать, какая из них лопнет. Необходимо еще сосуд держать так, чтобы никто не пострадал от взрыва. Для этого можно взять прочный железный цилиндр, закрытый медной пластинкой, которым мы уже пользовались в предыдущем опыте. Если достаточно нагреть воду, то она разорвет крышку совершенно таким же образом, как это делал и лед, когда образовывался из воды. Внезапное образование паров будет при этом совершенно безвредным, если умело держать отверстие. Если же мы наполним полость цилиндра только на  $\frac{3}{4}$  водой, то тогда крышка взорвется не вследствие расширения воды, а благодаря разрушительному действию пара. Эти оба вида взрывов можно показывать на одном и том же приборе. В последнем случае, чтобы получить наверное хороший взрыв, лучше заменим медную пластинку резиновой перепонкой. Эта замена вполне успокоит нервного экспериментатора, а сила звука получится почти такая же.

Для объяснения разрушительного действия нагретой воды или водяного пара можно было бы удовольствоваться указанием на то, что тела с повышением температуры всегда расширяются. Сосуд определенной крепости может в течение некоторого времени, пока внутри его давление не достигает известных пределов, препятствовать расширению. Но стоит давлению перейти за этот предел, сосуд неминуемо должен лопнуть, и сотрясение воздуха, которое вызвано

этим *внезапным расширением*, мы слышим, как звук взрыва. Конечно, мы могли бы ограничиться этим объяснением, но мы воспользуемся случаем, чтобы составить себе *более точное* представление о явлениях, которые имеют место в жидкости и паре, и о причинах их разрушительного действия, основываясь на учении, которое в наше время разделяется всеми физиками. Именно, чтобы понять механические действия *тепловой энергии*, следует ее себе представить, как *энергию движения* мельчайших частиц материи.

Мельчайшие части, на которые мы можем разделить вещество, не изменяя его химического строения, называются **молекулами**.

Таким образом, мы представляем себе, что тепловые действия тела возникают благодаря движениям, именно благодаря колебательным движениям его молекул.

Молекулы, в свою очередь, по нашим представлениям, состоят из атомов. При возникновении и распадении химических соединений, т. е. при перегруппировке атомов во время химического процесса, часто возникает тепло, которого раньше не наблюдалось.

Чтобы понять это, нужно допустить, что не только молекулы, как нечто целое, производят колебательные движения, которые мы воспринимаем как теплоту, но еще, что атомы внутри молекул также совершают колебательные движения, которых мы обычно не замечаем, и которые при химических процессах могут превращаться в молекулярные движения, т. е. в теплоту. Возможен и обратный случай, что молекулярное движение, воспринимаемое нами как теплота, превращается в незаметное для нас движение атомов. Есть, действительно, много химических процессов, при которых наблюдается *не возникновение теплоты, а ее поглощение*.

Теперь, после этого небольшого отступления, вернемся к *молекулярным или тепловым колебаниям*. Мы должны себе представлять, что эти колебания происходят с тем большей скоростью, чем теплее наше тело.

Предполагают, что в накалившемся до бела теле молекулы совершают больше шести миллиардов колебаний в секунду. Можно допустить, что в твердом теле молекулы так тесно связаны и колеблются с такой сравнительно небольшой силой, что взаимное притяжение поддерживает их в определенном положении. Это, конечно, соответствует действительности лишь в общих чертах, так как оказалось, что даже в твердых телах молекулы обладают некоторой свободой передвижения.

Когда твердое тело сильно нагрето, т. е. когда его частицы стремятся к более сильным колебаниям, под влиянием толчков со стороны быстро колеблющихся молекул другого тела, например, молекул газового пламени, то частицы самого тела сообщают также друг другу более сильные толчки, и поэтому стремятся все дальше удалиться друг от друга. Таким образом происходит известное явление расширения тел под влиянием тепла.

Представим себе кусок воска во время нагревания. Это значит, что молекулы его колеблются быстрее, сообщают друг другу все более интенсивные толчки и все дальше удаляются друг от друга. Наступает, наконец, момент, когда колебания будут настолько сильны и удаление молекул достигнет таких размеров, что они будут в состоянии преодолеть силу взаимного притяжения; тогда они будут двигаться почти совсем независимо друг от друга. Движение будет происходить почти без взаимного трения или даже вовсе без него и неподвижное расположение молекул нарушится. Вещество *расплавилось*, и стало *жидкостью*.

Теперь возьмем нагретую воду в закрытом котле или цилиндре. Увеличение температуры обозначает вместе с тем усиление и оживление молекулярных движений. Наконец удары, наносимые молекулами друг другу, достигнут такой силы, что молекулы, находящиеся на поверхности жидкости, будут выброшены в пространство над ней. При этом они двигаются с большой скоростью и часто ударяются о внутренние стенки цилиндра и друг о друга. Отражаются обратно и вновь летят, пересекая пространство во всех направлениях. Теперь жидкость перешла в *парообразное состояние*, очень сходное с газообразным. Теперь нетрудно понять, как столь легкое и неосязаемое тело, как пар, дает такое сильное давление; оно объясняется действием ударов колеблющихся молекул на стенки сосуда. Если один мальчик бросит камень в открытую дверь, то, кроме порчи краски, мы не заметим иного результата. Если же мы представим, что тысячи мальчиков бросают каждую секунду по камню, так, чтобы каждый камень попал в наружную сторону двери, то этот дождь камней будет производить непрерывное давление на дверь, и она закроется.

То же происходит и с молекулами водяного пара; так же точно производят они сильное давление на внутренние стенки котла. Взятая в отдельности, каждая из них очень мала, но на каждую частицу поверхности стенок котла направлены миллионы ударов. И потому общее давление велико, как известно, оно будет тем больше, чем

выше температура, т. е. чем быстрее движение молекул. Если котел закрыт или паровая труба засорена, или же предохранительный клапан отказывается служить, то в конце концов напор молекул разорвет стенки котла в наиболее слабом месте. Тогда произойдет взрыв котла!

## 2. Взрыв или разрушение под влиянием других причин?

Учитель наливает водой часть стеклянной бутылки и, нагревая на огне, показывает образование пара. Затем льет немного холодной воды на закрытую бутылку и сейчас же раздается сильный удар и появляется облако пара. Бутылка разбилась вдребезги и осколки стекла и горячая вода летят во все стороны. Большинство зрителей без сомнения воскликнут: какой прекрасный взрыв! А между тем это явление вовсе не взрыв. Рассмотрим его подробнее.

Заставим кипеть немного воды в бутылке таким образом, чтобы некоторое время пар с силой выходил из нее. В последнем разделе мы видели, каким сильным источником энергии представляется быстрое движение молекул пара.

Поэтому пар может выгнать весь воздух из бутылки, преодолевая давление воздуха, равное одному килограмму на квадратный сантиметр. Когда весь воздух удален, бутылку закрывают резиновой или хорошей обыкновенной пробкой. Не следует однако закрывать бутылку, когда она находится еще над пламенем, в противном случае образуется еще больше пара и тогда легко может произойти действительный взрыв. Наиболее удобным для закрытия бутылки является тот момент, когда бутылку сняли с огня, но благодаря нагретому стеклу еще продолжается образование паров. Закупоривание бутылки следует производить быстро, раньше чем воздух успеет, вследствие сгущения паров, снова войти внутрь бутылки. В этом случае стекло наверно выдержит умеренное давление пара, еще продолжающегося образовываться в бутылке. Потом, закрыв бутылку, ее опрокидывают, ставят на соответствующую подставку (рис. 41) и ждут некоторое время.

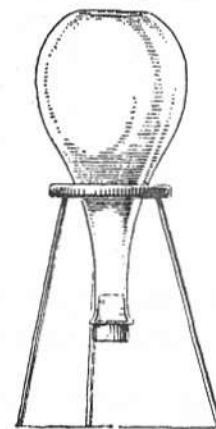



Рис. 41


Окружающий воздух, который холоден по сравнению с кипящей водой, скоро вызовет сгущение части пара в бутылке и охладит остальную часть паров. Если воспользоваться теми представлениями, с которыми мы ознакомились в предыдущем разделе, то теперь молекулы должны лететь с меньшей быстротой, ударяться с меньшей силой о внутренние стенки стекла и поэтому производить на них меньшее давление. Извне же давление остается прежним, т. е. составляет приблизительно один килограмм на каждый квадратный сантиметр поверхности, т. е. много сотен килограммов на поверхность бутылки. Наконец, наступит такой момент, что бутылка не в состоянии будет выдержать все возрастающую разницу в давлении и разобьется. Получающийся при этом треск объясняется следующим образом. Вне бутылки воздух с большой силой надавливает на нее и, раздавив, стремится к центру бутылки, так что происходит взаимное столкновение масс воздуха, движущихся со всех сторон. Возникающее таким образом сотрясение воздуха распространяется в окружающем пространстве и доходит до уха наблюдателя. Нетрудно объяснить, почему часть осколков разбрасывается в стороны. Некоторые из осколков, которые с силой несутся к центру, случайно не встречаются с такими же осколками противоположной стенки, поэтому продолжают лететь дальше в том же направлении.

Если бутылка из очень тонкого стекла, а ее дно широко и плоско, то она лопнет уже при незначительном уменьшении давления внутри нее. Если же бутылка из толстого стекла, и имеет выпуклое дно, то необходима значительная разница в давлении, для чего надо сильнее сгустить пары. Чтобы достигнуть этого, бутылку ставят на подставку и ее обливают холодной водой. Разумеется, некоторые бутылки настолько прочны, что могут выдержать атмосферное давление, даже тогда, когда у них внутри совсем нет воздуха, тогда нужно их разбить легким ударом молотка. И в этом случае послышится громкий шум и мы увидим летящие во все стороны осколки стекла и брызги воды. Тот факт, что пар должен быть сгущен с помощью холодной воды, доказывает, что это явление не может быть взрывом.

### 3. Как можно вскипятить воду посредством охлаждения

 Простой прибор, с которым мы имели дело в предыдущем разделе, может служить и для другого опыта, который кажется очень парадоксальным. На этот раз, однако, бутылка не должна лопнуть.

Следовательно она должна быть из прочного стекла и иметь круглую форму. Ее следует теперь наполнить водой до половины, а не только на несколько сантиметров, как раньше. Теперь доведем воду до кипения и закроем бутылку, в то время когда пар еще энергично выделяется, чтобы, когда пар сгустится, воздух не мог бы войти внутрь бутылки. Когда мы поставим бутылку на подставку, вода перестанет кипеть. Если теперь смочить холодной водой ту часть бутылки, где находится пар, то сейчас же вода начнет кипеть. Когда кипение прекратится, то его легко возобновить — поливая бутылку холодной водой. Конечно это можно повторять лишь в течение некоторого времени, пока вода не охладится настолько, что уже не будет более в состоянии закипать. Это парадоксальное явление объясняется тем, что температура кипения всех жидкостей зависит от давления, под которым они находятся. Сначала, когда бутылка была закрыта, внутри давление было равно внешнему давлению, так как пар был в состоянии выходить наружу, преодолевая атмосферное давление.

Когда же мы закроем бутылку, сгустим пар с помощью холодной воды, то внутри давление уменьшится. Сравнительно с этим уменьшенным давлением энергия движения молекул воды будет еще достаточно велика, чтобы сделать возможным переход молекул в пространство над жидкостью без помощи посторонней энергии. Или, иными словами, вода может теперь кипеть без нагревания. Мы достигаем в этом случае уменьшения давления над жидкостью (при помощи охлаждения пара) того же самого, что мы обыкновенно получаем путем повышения энергии колебаний молекул воды (нагревание воды пламенем). В этом случае кипение будет идти за счет тепловой энергии самой воды, а не за счет энергии пламени. Так как при переходе воды из жидкости в парообразное состояние происходит поглощение тепловой энергии, то в такой воде, *после* кипения, будет меньше тепла, чем было прежде. 

**Объяснение** Это действительно и наблюдается на самом деле! Если кипение повторять несколько раз, то вода станет так холодна, что ее свободно можно будет держать в руках. Кто-нибудь на это может возразить, что неудивительно, если вода в бутылке холодна, так как мы в изобилии лили холодную воду на ее поверхность! В ответ на это мы сделаем еще один опыт, который поучителен и в другом отношении. На рис. 42 показаны две одинаковые бутылки, соединенные пробкой, через которую проходит трубка. Длинный конец трубки должен выдаваться над поверхностью воды или его изгибают, как показано на рисунке, или же берут



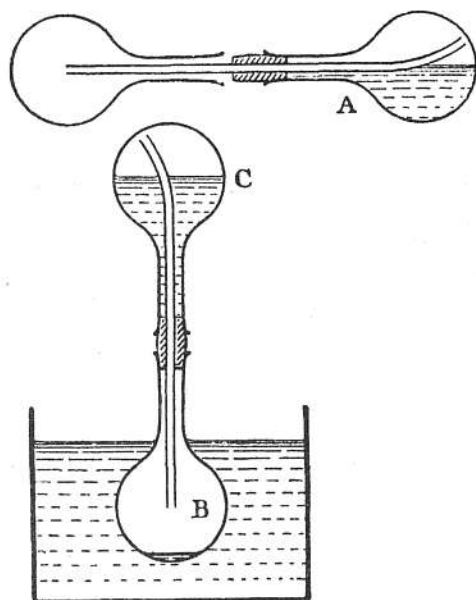


Рис. 42. Вода, кипящая под уменьшенным давлением

прямую стеклянную или металлическую трубку и короткую резиновую трубку. Через резиновую трубку протягивают кусок изогнутой проволоки, которая придает ей нужную форму. Когда вода кипит, бутылки должны находиться в положении *A*, при котором пар выгоняет воздух из обеих бутылок. Потом бутылки можно соединить друг с другом и привести в положение *BC*. ■

В данном случае бутылка *B* служит лучшим конденсатором, чем верхняя часть бутылки на рис. 41, так как она представляет большую поверхность и поэтому дает более сильное охлаждение. Вследствие этого вода в *C* скорее доходит до кипения. Кроме того, этот опыт объясняет причину кипения еще лучше, чем прибор на рис. 41. Во-первых, здесь нет прямого охлаждения воды в *C*, благодаря обливанию бутылки водой. И если теперь вода в *C* при кипении быстрее охлаждается, чем когда она *не кипит*, то ясно, что причина этого лежит в *потере тепла* на кипение. Во-вторых, у нас нет подозрения, что вода, которая образуется благодаря сгущению паров в *B*, способствует своим смешением с кипящей водой ее удивительному охлаждению.

#### 4. Как заморозить жидкость, заставляя ее кипеть

В одном из предыдущих разделов мы указывали на то, что количество теплоты, необходимое для испарения, настолько велико, что горячая вода, кипящая без нагревания при низком давлении, поглощает столько собственной теплоты, что очень скоро сильно охлаждается. Нам нужно только продолжать этот опыт дальше, чтобы заставить кипящую воду заморознуть, если давление, под которым она находится, будет достаточно низко. Для того чтобы получить такое низкое давление, надо было бы обратиться к очень хорошему воздушному насосу и непрерывно поглощать возникающий водяной пар при помощи крепкой серной кислоты. Удобнее морозить воду при помощи других жидкостей, которые испаряются легче воды, как, например, сернистый углерод или эфир. Сернистый углерод является таким веществом, против присутствия которого в доме могут быть, благодаря его запаху, сделаны некоторые возражения, так как аромат моторных экипажей по сравнению с ним напоминает скорее свежий ветерок Цейлонского острова. По этой причине мы возьмем эфир, хотя его запах тоже не слишком подходит к домашней обстановке, поэтому лучше всего выбрать для опыта послеобеденное время, когда родители и другие старшие будут заняты делами вне дома. Удобнее всего это устроить так, как показано на рис. 43.

➡ В куске дерева надо сделать углубление и в него налить несколько капель воды. В воду опустить наперсток, почти наполненный эфиром. Если взять эфира на 10 коп., то его хватит на несколько опытов. Потом взять резиновые меха, которые бывают у пульверизаторов для жидкостей, и конец резиновой трубки надеть на стеклянную трубку или на другой наконечник с очень узким отверстием.

Если экспериментатор молод и обладает хорошими легкими, то он может обойтись без мехов.

Чтобы эфир, на который дуют, не пролился в воду, следует расширить край наперстка, вставляя его в тоненькую дощечку с круглым отверстием. Или вместо этого следует дуть осторожно и терпеливо. Пары эфира легко воспламеняются, и потому нельзя держать вблизи эфира свечу или лампу.

Струя воздуха заставляет эфир быстро испаряться. Этим пользуются прачки, вешая белье для просушки на воздухе в ветреный день. Непрерывно ветер уносит слой воздуха, насыщенный паром,



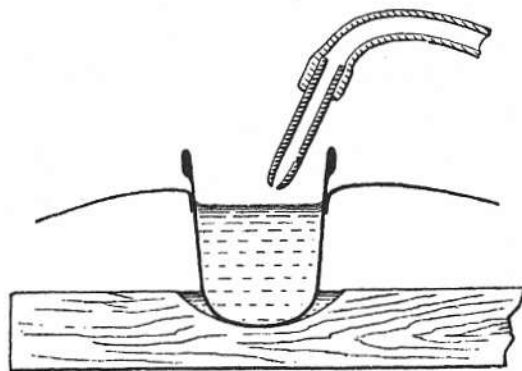


Рис. 43. Замораживание воды при помощи испаряющегося эфира

а на его место гонит сухой воздух, и поэтому вода в белье быстрее испаряется. Ток воздуха, искусственно направленный на эфир, производит такое же действие, т. е. ускоряет испарение эфира. Поглощение теплоты, доставленной самим эфиром, настолько велико, что прежде чем эфир из наперстка испарится, он уже настолько охладится, что будет в состоянии заморозить воду. Наперсток в конце концов примерзнет к доске. Если даже в этом опыте замерзание вызвано не собственно *кипением*, то во всяком случае сходным с кипением процессом ускоренного парообразования. ◀

Мы уже говорили, что для замораживания воды путем кипения при низком давлении нужен хороший воздушный насос и очень быстрое поглощение водяного пара серной кислотой. Еще есть другая жидкость, которая легко переходит в твердое состояние, если мы часть ее заставим испариться (настоящего кипения и здесь также не будет). Это — *жидкая углекислота*. Угольная кислота в газообразной форме всем известна. Этот газ выделяется при открытии бутылки из многих напитков, как сельтерская вода, пиво, шипучее вино, заставляя все эти напитки пениться. При давлении в 60 атмосфер удается угольную кислоту привести в жидкое состояние при обыкновенной температуре. В таком виде она продается, большей частью, в стальных бутылках. Если открыть затвор такой бутылки, когда она *стоит*, то выделится сильная струя газообразной угольной кислоты, которая, вследствие уменьшения давления при открытии бутылки, получается из жидкой кислоты. Давлением этой еще достаточно сжатой газообразной угольной кислоты поль-

зуются в пивных для вытеснения пива из бочек. Наполнить такую бутылку углекислотой стоит недорого (около одного рубля) и некоторые читатели, может быть, в состоянии выписать себе эту бутылку с угольной кислотой от какой-нибудь фирмы, занимающейся производством жидкой углекислоты. Такую бутылку с угольной кислотой кладут на пол или на устойчивый стол, так чтобы отверстие, откуда течет жидкость, лежало бы ниже закрытого конца. Тогда находящаяся внутри газообразная углекислота скопится у закрытого конца, а жидкая у выхода. Если теперь мы откроем кран, то сжатый газ вытолкнет жидкость. При этом удивительно то, что мы совершенно не замечаем струи жидкости, а только видим, как выделяется белый туман, который осаживается на полу или столе в виде белого налета, т. е. в совершенно твердом состоянии. Отсюда ясно, что этот налет состоит из твердых частиц, т. е. из *твердой углекислоты*.

▶ Чтобы получить твердую углекислоту в большем количестве, обвязывают крепко горлышко бутылки мешком из толстой фланели или подобного материала, так чтобы струя углекислоты втекала внутрь этого мешка. Если мы теперь откроем затвор бутылки достаточно широко, то мешок быстро наполнится снегообразной массой твердой угольной кислоты. Все это может быть объяснено очень просто. ◀

**Объяснение** При нормальной температуре жидкая углекислота остается в жидком состоянии, только при очень высоком давлении, если это давление, когда бутылка открыта, уменьшается, то углекислота довольно быстро переходит в газообразное состояние. Этот газ бесцветен и невидим. Необходимая для испарения теплота берется у самой углекислоты, как у той, которая остается в жидком виде, так и у той, которая переходит в газ. Поэтому-то часть углекислоты покидает бутылку в виде маленьких твердых частиц, которые и соединяются в мешке в большие массы, газообразная же углекислота фильтруется в воздух через мешок. Теперь мы действительно убедились, что при испарении одной части жидкости другая часть может заморознуть. Твердая углекислота обладает, понятно, очень низкой температурой, около  $-60^{\circ}\text{C}$ . Необходимо касаться ее очень осторожно, так как охлаждение может вызвать те же явления, какие получаются при сильном нагревании, т. е. «ожог». Если у нас есть под рукой ртуть, из случайно разбитого термометра, то можно ее заморозить; это ясно докажет нам, как низка температура твердой углекислоты. Для этого напомним деревянную чашку, при помощи какой-нибудь ложки, снегообразной углекислотой

и крепко ее сожмем, предварительно сделав посредине маленькое углубление. Когда мы нальем в это углубление ртуть, то уже через несколько минут мы можем ложкой вынуть совершенно твердый комок ртути. Но металл не следует оставлять на столе, так как он уже при температуре в  $-39^{\circ}\text{C}$  начинает таять. При незначительном колебании или наклоне поверхности стола ртуть скатывается в форме шарообразных капель, которые потом довольно трудно поймать, так как они легко проваливаются в щели пола. Так как пары ртути очень ядовиты, то ее не следует оставлять открытой на долгое время в комнате, даже в небольшом количестве. Следует еще заметить, что термометры из ртути не годятся для измерения температуры ниже  $-39^{\circ}\text{C}$ . ■

Для таких случаев берут термометр, содержащий жидкость, у которого точка замерзания значительно ниже, например спирт.

Здесь мы скажем еще об одном наблюдении. Если в течение некоторого времени мы оставим лежать снегообразную угольную кислоту, то легко заметим, что масса ее станет уменьшаться, но не таять. Это объясняется тем, что при обыкновенном атмосферном давлении она, минуя жидкое состояние, переходит непосредственно из твердого состояния в газообразное и делается невидимой для глаз. Так и снег, или кусок льда, который лежит в морозную погоду в открытом месте на весах, постепенно становится легче благодаря непосредственному испарению. Если же вы заметите, что снегообразная угольная кислота или вещество, которое с ней соприкасается, покроются небольшим количеством жидкости, то не подумайте, что это жидкая угольная кислота! Это просто вода, осевшая на очень холодных предметах благодаря сгущению водяного пара из воздуха.

### 5. Как можно скорее охладить какой-нибудь предмет малым количеством воды, чем большим

Если бы мы спросили у совсем простого человека из народа, какой предмет будет холоднее: который весь погружен в холодную воду или же тот, который лишь смачивается холодной водой, то, вероятно, он ответил бы нам, что первый холоднее. Он оказался бы неправ, как это неоднократно с ним случалось и раньше! Проверим это на опыте. На рис. 44 мы видим нижнюю часть двух термометров.

➡ Шарик одного опущен в воду, а шарик другого находится немного выше воды, но благодаря обмотке из бумажной или шерстяной материи остается влажным, так как материя, которая окружает шарик, одним своим концом погружена в воду. И термометр *A*, в таком случае, показывает всегда более низкую температуру. ➡

Это явление основано на законе, с которым мы уже познакомились в предыдущем разделе, именно, что для превращения воды в пар нужна тепловая энергия. И потому вода, которая доставляет теплоту, необходимую для превращения одной ее части в пар, должна охладиться.

Если температура воздуха будет постоянной, то на нашем рисунке вода в резервуаре будет иметь температуру этого воздуха, и эта температура показывается термометром *B*, у которого шарик опущен в воду. У термометра *A* шарик окружен веществом, легко всасывающим воду. Благодаря своей пористости, оно обладает большой наружной поверхностью, и поэтому находится в хороших условиях для испарения воды. Поэтому в сухом воздухе испаряется большая часть воды из мокрого чехла, покрывающего шарик. Теплота, необходимая для испарения, берется у самой воды таким же образом, как это происходило в последнем опыте, где вода кипела без нагревания. Когда слой воды в чехле шарика поэтому достаточно охладится, то эта вода станет поглощать теплоту стекла термометра, а стекло, в свою очередь, поглощать теплоту ртути. Ртуть поэтому, сжимаясь, займет меньший объем и ртутная колонна термометра понизится.

Когда воздух насыщен паром, или, как говорят, совершенно влажен, то чехол шарика высыхает медленнее: тогда тратится меньше тепла, вода меньше охлаждается, и ртуть в термометре *A* стоит лишь несколько ниже, чем в термометре *B*. Таким образом, этой разностью между показаниями термометров можно воспользоваться для определения количества водяного пара в воздухе; и чем разность больше, тем *воздух суше*, и чем она меньше, тем *воздух влажнее*.

*Гигрометр (точнее, психрометр)*. Такой прибор из двух термометров, служащий для измерения влажности воздуха, называется

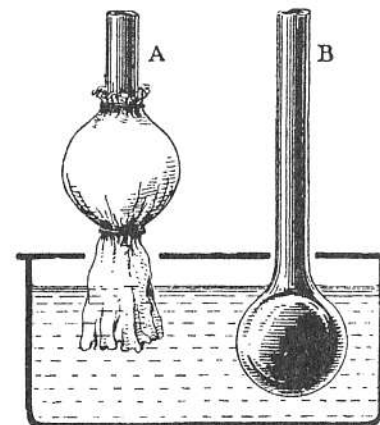


Рис. 44. Принцип психрометра

гигрометром (или психрометром), и его применяют всюду на метеорологических станциях для наблюдения погоды.


Шар *В* такого гигрометра находится, однако, не в воде, а окружен воздухом. В таком случае мы скорее сможем определить температуру воздуха, чем в нашем опыте. Если мы и погружали один термометр в воду, то только для того, чтобы наглядно показать, что предмет, опущенный в холодную воду, менее охладится, чем предмет, лишь смоченный водой.

## Глава 7


### Теплопроводность

#### 1. Сосуд, который слишком горяч для того, чтобы кипятить в нем воду

Если сосуд с кипящей водой опорожнить и впустить в него несколько капель холодной воды, то очень быстро теплота сосуда высушивает воду, т. е. превращает ее в пар. Если же горшок без воды оставить на пламени до тех пор, пока он не раскалится значительно больше, чем раньше, когда в нем кипела вода, пока он, например, не накалится докрасна, и затем налить в него несколько капель холодной воды, то мы, наверное, будем склонны думать, что они еще гораздо скорее с шипением испарятся. И на этот раз заключение, как мы увидим, окажется поспешным! Здесь, однако, полезно принять во внимание те возражения, которые могут сделать кухонные авторитеты против нагревания кухонного горшка докрасна, возражения, которые, весьма вероятно, будут признаны справедливыми и высшей инстанцией. Поэтому лучше продедаем этот опыт с помощью специально сделанного для этой цели прибора.

 Сосудом для опыта служит пластинка в виде чашечки; в разрезе она изображена на рис. 45 а. Она должна быть сделана из металла, хорошо проводящего теплоту, например, из меди, и должна быть с гладкой, блестящей поверхностью; иначе с водой могут произойти явления противные тем, какие мы предсказывали, и пришлось бы снова объяснять зрителям, отчего вода ведет себя не так, как она должна.

Медная чашечка, покоящаяся на приспособленной подставке, накаляется докрасна, а потом в нее осторожно вливают несколько капель холодной воды.

Вода, вместо того чтобы сразу превратиться в пар, останется в чашке в виде сплющенного шара, или «сфероида». Такое состояние воды называют «сфероидальным состоянием». Шар бывает иногда круглый, иногда имеет зубчатую форму, как изображено на рис. 45 б, иногда шар меняет форму, иногда же он медленно вращается. 



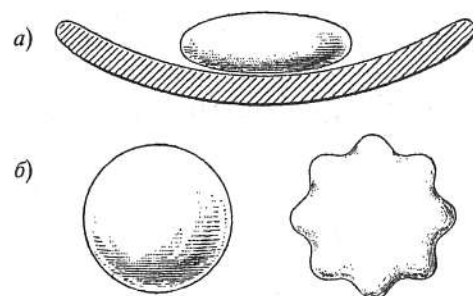


Рис. 45. Сфероидальное состояние воды

Отчего вода, соприкасаясь с раскаленной чашкой, окруженной пламенем бунзеновской горелки, не сразу превращается в пар, а остается в течение нескольких минут в чашке, пока она медленно не испарится?

Вероятно, чашка слишком горяча, чтобы довести воду до кипения. Она так горяча, что раньше еще, чем вся вода успеет к ней прикоснуться, под влиянием тепла чашки часть воды уже испарится. Следовательно, между водой и чашкой будет помещаться слой пара. И благодаря находящейся между ними паровой подушке, чашка и вода не приходят в действительное соприкосновение друг с другом. А газы и пары — плохие проводники тепла. Поэтому как бы ни была велика теплота чашки, она лишь медленно будет проникать через плохо проводящий слой пара и не заставит кипеть воду, которая будет в состоянии лишь медленно испаряться.

Так как вода не приходит в соприкосновение с медью, то между ею и чашкой не может возникнуть прилипание, и медь не будет смачиваться водой. Форма воды будет поэтому зависеть лишь от ее поверхностного натяжения и веса. Незначительные количества воды принимают приблизительно шаровую форму, так же как и небольшие капли ртути принимают шарообразную форму: на стекле, дереве и других предметах, которые ртуть не смачивает, между тем большие массы, благодаря своему весу, принимают сфероидальную форму. Для наблюдения сфероидального состояния простым и хорошо действующим прибором служит медная монета; ударом молотка ее делают гладкой, а с помощью округленного молотка ей сообщают вогнутую форму чашечки. Затем кладут монету на нагретый докрасна кусок железа.

Для наблюдения этого поучительного явления также удобна горячая плита, на которую можно налить несколько капель холодной воды.

## 2. Кто опустит руку в расплавленный свинец?

Из довольно достоверных источников нам передавали, что теперешний король Англии во время одного из своих путешествий по английским промышленным городам смело опустил свою руку в сосуд, в котором был расплавленный свинец. Конечно, неизвестно, правда это или нет, но подобный опыт может быть выполнен и выполнялся нередко, и притом без вреда для опущенной руки.

Вода кипит при  $100^{\circ}\text{C}$ , и если опустить в нее руку на самое короткое время, то в результате будет ужасная боль и сильный ожог. Температура, при которой плавится свинец, на  $233^{\circ}$  выше. Так каким же образом соприкосновение с ним может быть менее опасно? Объяснение этого явления сходно с тем, которое мы уже дали в последнем разделе о сфероидальном состоянии воды.

**Объяснение** Благодаря присутствию теплоты в свинце влага кожи испаряется, и около руки получается как бы паровая перчатка, которая служит очень плохим проводником тепла, и потому теплота свинца может передаваться коже лишь очень медленно. Во внешней своей части кожа состоит из нечувствительного слоя и в течение небольшого времени, пока теплота не достигнет глубже находящихся нервов, кожа может вынести совершенно безболезненно очень высокую температуру. Если вытянуть руку, прежде чем теплота успеет пройти через паровую перчатку и наружный слой кожи, то опыт пройдет без всяких неприятных последствий. ■

Для опыта необходимо, чтобы руки были влажными. И поэтому следует их хорошо вымыть мылом, чтобы удалить жирные вещества, и чтобы вода могла хорошо их смочить и остаться на их поверхности.

Излишним будет добавлять, что руку не следует слишком долго оставлять в расплавленном свинце.

Разумеется, для теплоты достаточно небольшого промежутка времени, чтобы проникнуть через предохраняющий пар и начать проявлять свою разрушительную силу.

## 3. Хожение по раскаленным докрасна камням

На рис. 46 изображена церемония, которую можно наблюдать в различных странах света, но которая особенно распространена на южных островах Великого океана. Когда туземный святой, также совмещающий в своем лице знахаря и жреца, захочет укрепить свою





Рис. 46. Жрец Ита (Таити), приготавливающийся к огненному танцу

славу или окружить ее ореолом носителя сверхъестественной силы, то он старается показать всевозможные чудеса.

➡ Выкапывают яму, в нее кладут камни и дрова, которые зажигают за несколько часов до начала церемонии. Некоторые камни раскаляются докрасна. Их отбирают и накрывают зелеными ветками, последние, обугливаясь, сильно дымят.

Через некоторое время приближается босой кудесник, во главе процессии, которая состоит из его учеников, уверенных, что под охраной его чудодейственной силы они смогут последовать его примеру. Приблизившись к камням, он начинает шагать по ним, причем в первый раз с заметной осторожностью выбирает свой путь. С большой поспешностью его ученики следуют за ним. Но уже обратный путь проходится с гораздо большей уверенностью и лучшим выбором. За ними в конце концов бросается часть зрителей, состоящая из непрофессиональных чудотворцев или из людей, желающих быть таковыми; в большом беспорядке они прыгают по камням, большею частью не слишком удаляясь от обыкновенной земли. Когда наблюдатель видит это зрелище в первый раз, то обычно бывает страшно удивлен. Во всяком случае он чувствует, что при-

существует при чем-то таком, что заслуживает более внимательного исследования. ➡

Серьезные наблюдатели, которые шли смотреть на эту церемонию не только как на интересное зрелище, но с намерением найти истину, открыли следующие факты. Вся церемония носит театральный характер, с тем чтобы вызвать больше удивления.

Вид пламени и продолжительное время, в течение которого оно горит, дает впечатление адского жара. Также этому способствует переворачивание горячих камней, их докрасна нагретый вид и дым от тлеющих веток, воткнутых в промежутки между наиболее горячими камнями. В продолжении этого времени верхние камни успеют уже остыть. И, разумеется, кудесники, идущие по раскаленным докрасна камням, ступают не по ним самим, а шагают через них, по тем именно камням, которые не нагреты докрасна. Этим объясняется, что они не медлят и не колеблются в своих движениях и ни минуты не останавливаются в одном положении. Культурный зритель, который идет вслед за ним, замечает, что кожа на его башмаках не опалается; а туземцы, не принадлежащие к кудесникам, своими босыми ногами толкают эти камни. Из последнего раздела мы знаем, что влажная кожа, в течение короткого времени, может без вреда перенести большой жар. Когда одна нога находится на горячем камне, другая охлаждается, при помощи испарения ее влаги. Возможно, что по приближении к концу пути кожа настолько нагревается, что жар станет невыносим. Также может случиться, что нога попадет на камень, который действительно слишком горяч; то ее сейчас же быстро отдергивают и уже на обратном пути будут избегать этот камень, а боль нетрудно скрыть. Поступки дервишей и фанатиков доказывают, что если дело идет о вопросах веры, то боль может геройски переноситься. Если в итоге принять во внимание, что и кожу башмаков жар камней разрушает не сразу, то несмотря на удивительные факты все же здесь не происходит ничего противоречащего известным законам природы.

#### 4. Кто может пересекать рукою горячую струю пара

Можно без особой поспешности, но быстро, без вреда, провести рукой через не очень большую струю пара, близ места его выхода. Пар, конечно, так же горяч, как и кипящая вода, или как пар из самовара, который легко может обварить кожу.

Так почему же *этот пар* ее не обжигает?

**Объяснение** Прежде всего следует иметь в виду, что здесь дело идет о действительно газообразном паре, а не о том видимом паре, который выделяется из самовара и который отчасти уже конденсирован. Последний состоит из маленьких жидких капель, которые смачивают руку и вследствие своей большой удельной теплоты сообщают ей большие количества тепла. Настоящий пар, как и газы, даже при очень высокой температуре обладает незначительной удельной теплотой; поэтому слой пара, с которым палец на короткое время сталкивается, не в состоянии сообщить коже очень большого количества тепла; а во-вторых, этот пар, подобно газам, обладает небольшой теплопроводностью, и слой пара, который касается руки, не может передать коже тепла других слоев пара. Если мы заметим еще тот факт, что теплота должна пройти сначала наружный нечувствительный слой кожи, раньше чем ее можно почувствовать, то ясно станет, что можно на короткое время подвергать кожу действиям горячего пара, в продолжении лишь очень короткого времени. ■

Опыт, разумеется, нельзя слишком затягивать, так как, если экспериментатор будет очень храбр, то он рискует обжечь себе руку.

## 5. Может ли лед дать теплоту?

Каждая жидкость кипит при определенной температуре. Чтобы заставить ртуть или серную кислоту кипеть, нужно их гораздо больше нагреть, чем воду; а с другой стороны, алкоголь, эфир, и хлороформ могут кипеть при температуре более низкой, чем вода; если вода находится под меньшим давлением, то и она может кипеть при значительно низшей температуре.

Это можно наблюдать при подъеме на высокую гору (см. ч. 1, гл. 6, разд. 3). Воздух вверху значительно реже, давление его меньше, и при этих условиях вода может кипеть при такой низкой температуре, которая недостаточна, чтобы можно было варить в ней картофель.

Жидкий сернистый ангидрид кипит при температуре ниже точки замерзания воды, при  $-8^{\circ}\text{C}$ ; а жидкий аммиак при  $-34^{\circ}\text{C}$ , жидкая закись азота при  $-87^{\circ}\text{C}$ . Еще более низкую температуру кипения имеет жидкий воздух, приблизительно  $-200^{\circ}\text{C}$ . Но все же главной причиной кипения является теплота. Мы имеем тепло даже при этих низких температурах. Некоторые склонны, может быть,

думать, что в воде при температуре ниже точки замерзания нет совсем тепла. Но почему же не сказать того, что тепло не может существовать при более низкой температуре чем та, при которой расплавленный воск или железо снова отвердевают? Действительно мы говорим, что лед, «холодный», а не теплый. Но этим мы говорим лишь, что лед менее нагрет, чем наше тело или большинство окружающих нас предметов. Но если мы сравним лед с некоторыми телами, то увидим, что он обладает значительной теплотой. Например, разница между количеством тепла во льду и в жидком воздухе так значительна, как разница в количестве тепла в накалившемся докрасна железе и воде. И поэтому лед может привести жидкий воздух в такое же сфероидальное состояние, в какое раскаленный докрасна металл может привести воду. Лед оказывается *слишком теплым*, чтобы привести жидкий воздух в состояние кипения, до тех пор пока он не растратит большей части своего тепла и пока его температура не приблизится к температуре жидкого воздуха. Благодаря своей чрезвычайной теплоте (по сравнению с сильным холодом жидкого воздуха) между льдом и жидкостью образуется подушка из испарившегося жидкого воздуха, которая почти непроницаема для тепла, отдаваемого льдом. Когда же лед медленно отдает свое тепло, и его температура приблизится к температуре жидкого воздуха, то промежуточный слой паров исчезнет. Жидкий воздух и лед придут в соприкосновение, и воздух начнет кипеть. Теперь лед *настолько охладился*, что может заставить кипеть жидкий воздух! Пока жидкий воздух кипит, лед все время отдает свое тепло, и в конце концов лед становится таким же холодным, как и жидкий воздух. Тогда переход тепла ото льда к жидкому воздуху делается невозможным и кипение прекращается. Этот опыт можно выполнить двумя способами. Можно, во-первых, опустить кусок льда в жидкий воздух. Тогда в течение первых нескольких минут лед слишком нагрет, чтобы иметь возможность соприкасаться с жидкостью, и поэтому получается только испарение. Вскоре же поверхность настолько охладится, что воздух начнет кипеть. Можно действовать и другим образом. Сделаем углубление в одной стороне льда и нальем туда жидкий воздух. При этом мы заметим ряд явлений, подобных тому, если бы мы налили воду на плиту, раскаленную докрасна.

Последний способ дает возможность сделать еще один эффектный опыт. Мы знаем, что азот испаряется первым, поэтому оставшимся кислородом можно воспользоваться для того, чтобы сжечь в нем кусок дерева. В темной комнате яркий свет внутри льда представит очень красивую картину!

## Замечательные воздушные течения и паровые струи

### 1. Чудесное колесо, которое вращается без видимых причин

Чтобы обнаружить слабые течения воздуха в комнате, употребляют аппараты, которые этими течениями могут быть легко приведены во вращение. Мы подробно опишем ниже один из таких аппаратов.

➡ Проведем карандашом, на листе прочной писчей бумаги, две перпендикулярные прямые  $AB$  и  $CD$  (рис. 47). Затем проведем еще две прямые  $EF$  и  $GH$ , так чтобы они делили пополам образовавшиеся при этом углы. Около точки пересечения этих прямых, как их центра, опишем большую окружность  $ACBD$  с диаметром в 6 см, и меньшую окружность с диаметром около  $1\frac{1}{2}$  см. Если все будет делаться с помощью циркуля, то необходимо постараться, чтобы острие циркуля не оставило в центре отверстия. Чтобы этого не случилось, можно положить, где будут пересекаться линии и где помещается острие циркуля, кусок резины, жести или картона. После того как окружности проведены, следует начертить пунктирные линии (кроме  $MKNO$ ). Затем ножом или ножницами

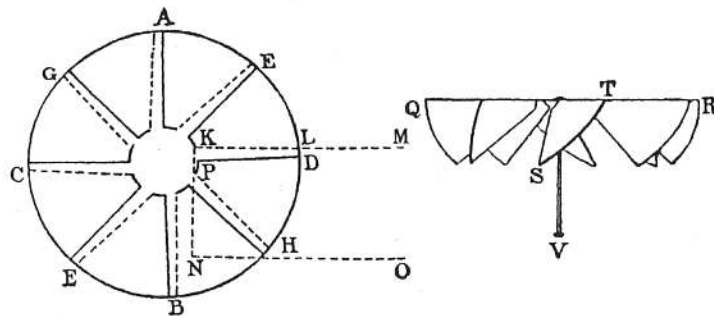


Рис. 47. Подготовка чудесного колеса

вырежем большой круг. Потом нужно разрезать по непунктирным линиям, проведенным к центру до малой окружности, и от внутреннего конца каждого разреза сделать по меньшей окружности разрез так, чтобы он доходил до половины дуги, соединяющей внутренний конец следующего разреза. На рис. 47 эти разрезы обозначены пунктирными линиями. Часть  $EKL$ , похожая на треугольник, и другие такие же части загибаются по пунктирным линиям так, чтобы они образовали со столом угол в  $45^\circ$ . Лучше всего это сделать таким образом: на узкую полоску, которая не отогнута ( $KPDL$ ), кладется линейка  $MKNO$ , краем по пунктирной линии  $KL$ . Крепко прижимаем этот край и подсовываем под часть  $EKL$  кончик столового ножа, которым загибаем ее кверху и боком ножа прижимаем к краю линейки, чтобы по линии  $KL$  образовался острый сгиб. Так же поступают и с остальными 7-ю частями. Затем возьмем карандаш с закругленным острием, и прижмем острие в центре кружка, предварительно положив под него несколько слоев мягкой бумаги. Если станем вращать карандашом между пальцами, то в центре получится небольшое конусообразное углубление. Следует постараться, чтобы только карандаш не провертел в бумаге отверстие. Если посмотреть на кружок сбоку, то он будет иметь вид  $QR$ . Затем возьмем обыкновенную шпильку, и для того чтобы притупить немного ее конец, потрем о мелко зернистый камень или вообще о предмет с подобной поверхностью; необходимо, чтобы на острие не получилось зазубрин. Кончик должен быть гладким, закругленным, но вместе с тем тонким. Теперь, держа булавку большим и указательным пальцем в положении  $V$ , положим на ее отверстие кружок углублением. Отвернутые треугольники направлены вниз.

Этот небольшой аппарат является чрезвычайно чувствительным *анемометром*. Его вес незначителен, поверхность соприкосновения между бумагой и острием очень мала, и углубление в бумаге, которое сделано карандашом, имеет вполне гладкую поверхность. Поэтому колесо очень легко может вращаться. Легкий приток воздуха, который встречает сверху или снизу косые крылья, заставляет эти косые поверхности смещаться, как крылья мельницы, или косо поставленные паруса лодки, и этим приводит всю вертушку во вращательное движение. Если воздух стремится вверх, то, толкая нижнюю поверхность крыла  $ST$ , он перемещает его справа налево; крылья с противоположной стороны будут таким же образом двигаться слева направо. Если воздух будет идти сверху, встречая крыло  $ST$  сверху же, он будет смещать его вправо, двигая в то же время крылья противоположной стороны кружка влево.



Если кружок положить на конец булавки, которую спокойно держать в руке, то легко заметить, что кружок вдруг начнет вращаться, поворачиваясь передней стороной налево. Это, вероятно, происходит оттого, что там, где мы находимся, есть восходящий ток воздуха, который был слишком слаб, чтобы мы могли его раньше заметить. Теперь перейдем с аппаратом в другой конец комнаты, где мы не ожидаем какого-либо воздушного тока. Снова аппарат начнет вращаться и в том же направлении. Очевидно, что и здесь есть восходящий ток воздуха. Если будем исследовать другие части комнаты, то получим такой же результата. Если наверху в комнате есть окно, открытое против очень сильного ветра и расположенное так, что воздух через него будет идти прямо вниз, то под окном образуется сильное нисходящее течение воздуха, которое сейчас же приведет колесо во вращение, в направлении, противоположном предыдущему.

Если не принимать во внимание этих особенных и до некоторой степени насильственных нарушений обычного состояния воздуха, то в любой комнате, в которой воздух, как нам кажется, находится везде в спокойном состоянии, в любом ее месте мы найдем восходящий ток; это похоже на то, как будто воздух проникает через пол, поднимается по всей комнате и выходит через потолок.

**Объяснение** Ключ к отгадке этих явлений легко найти, если мы не будем держать булавку рукой, а укрепим ее как-нибудь иначе. Для этого берут узкую полоску картона или деревянную палочку и укрепляют булавку ближе к одному концу, проткнув ее насквозь до самой головки. Полоску картона мы укрепим так, чтобы она несколько выступала над краем стола, — этого легко достигнуть, если на другой конец положить книгу. Потом поместим кружок на острие и отойдем в сторону. Теперь колесо не обнаружит никакого движения, но если мы станем держать под ним руку, то оно начнет вращаться. Таким образом, движущая сила берется в подставленной руке!

Это происходит оттого, что рука теплее окружающего воздуха. Температура крови тела равна почти  $37^{\circ}\text{C}$ , а температура воздуха в комнате имеет примерно  $20^{\circ}\text{C}$ . Но руки несколько холоднее, чем кровь в теле, так как они постоянно отдают часть своего тепла воздуху. Теплота расширяет тела, поэтому теплота рук, соприкасаясь с окружающим воздухом, заставляет его расширяться. Этот расширившийся воздух менее плотен и менее тяжел. Этим самым нарушается равновесие и он вытесняется кверху ненагретым воздухом, подобно тому как горячий легкий воздух над огнем печки

вытесняется в трубу более холодным, более плотным и тяжелым воздухом комнаты. Таким образом и мы производим восходящий ток воздуха, который непрерывно исходит от нашего лица и рук. Он так слаб, что совершенно не замечается нами. Но если более значительная часть согревшейся кожи соприкасается с холодным воздухом, то получающийся при этом ток легко заметить. Если лысый господин, который живет на значительном расстоянии от станции железной дороги, в холодное зимнее утро, разгоряченный, после запоздавшего завтрака, спешит на станцию и видит, что поезд, точный против обыкновения, уже отошел, и ему придется ждать следующего, то он нередко во время ожидания будет вытирать свой пот. В промежуток между поднятием шляпы и выниманием носового платка можно наблюдать столб паров, которые поднимаются над его головой и благодаря холодному воздуху сгущаются. Эти пары указывают на направление восходящего тока, который обусловлен тем, что теплота головы, нагревая воздух, этим делает его легче.

Восходящие токи воздуха, вызванные каким-нибудь местным источником тепла, образуют вместе с нисходящими токами, которые образуются, благодаря местным охлаждениям, те круговые течения, которые играют такую большую роль в жизни нашей земли. Хорошим примером воздушных течений могут служить течения, получающиеся у комнатных окон. В связи с этим заслуживает некоторого интереса часто рассказываемая история, или вернее шутка над одним пожилым человеком.

В то время, когда большие оконные стекла были редкостью и новостью, один господин, впервые бывший в доме с такими стеклами, сидел вблизи окна, у которого было совершенно целое стекло без единого пузырька. Через некоторое время господин положил руки на свою голову, лишенную волос, и заявил (хорошим зрением он не отличался) — что он простудился из-за сквозняка, вызванного открытым окном. Ему объяснили, что окно закрыто; но так как он вообразил себе, что окно было открыто, и что он простудился, благодаря сквозному ветру, то ему действительно пришлось в течение 14 дней перенести все неприятности простуды.

Этот рассказ приводится как удивительный пример силы воображения и как пример господства духа над телом.

Человек заболел благодаря только своему воображению! Однако нет необходимости делать именно такой вывод! Хотя окно и было закрыто, но все же от него мог исходить холодный ток воздуха. Это



в особенности справедливо, если комната была жарко натоплена, а наружный воздух был холоден и потому охлаждал стекло, а стекло — тот внутренний воздух, который с ним соприкасался.

**Объяснение** Охлаждение воздуха вызывает его сжатие; он поэтому становится плотнее и тяжелее, опускается вниз и течет к середине комнаты, в то время как новые массы воздуха притекают сверху к окну, чтобы в свою очередь там охладиться. Таким образом возникает круговое течение, у которого одну часть составляет холодный ток от окна; вот этот-то ток и мог простудить пожилого господина, хотя бы окно и было закрыто. В большем масштабе такие течения возникают в залах для собраний, у которых имеются окна только по одной стене. Когда наружный воздух холоден, то он охладит стекла, а эти охладят внутренний воздух. Спускаясь вниз, последний движется поперек нижней части залы, где его нагреет теплота от присутствия людей или же искусственное отопление. На стене, противоположной окнам, воздух снова поднимается и по верху опять направляется к этим же окнам. Охлаждение происходит еще сильнее, если часть потолка сделана из стекла или другого тонкого материала. Эффект может быть так велик, что на хорах пламя свечей может принять вместо вертикального направления горизонтальное, благодаря воздушной тяге, если даже вблизи нет открытых окон, дверей и т. п. ■

Если мы примем во внимание, какие удивительные воздушные течения происходят от таких незначительных причин, и если мы сравним с ними громадную силу солнечной теплоты под тропиками, ограничивающими пространство в миллионы квадратных километров, равно как и области страшного холода около полюсов, то у нас уже не будет основания удивляться силе бурь, которые являются теми же воздушными течениями, но в значительно больших размерах. Ветры, приводящие в движение корабли и ветряные мельницы, мы можем в таком случае сравнить с теми восходящими токами, которые, поднимаясь от нашей руки, приводили во вращение маленькое «чудесное колесо».

## 2. Отталкивание и притяжение, вызванные одной и той же причиной

Если проделать в паровой трубке, соединенной с паровым котлом, узкое отверстие, то пар будет выходить из него в виде тонкого луча. Сжатый пар вступает во внутренний конец отверстия

с известной скоростью (около 400 м в секунду). Двигаясь вдоль узкого канала, он расширяется, так как его вначале высокое давление постепенно уменьшается до атмосферного. Следствием этого расширения является то, что пар, оставив отверстие, приобретает скорость, может быть, около 1000 м в секунду. Двигающийся с такою скоростью пар может совершать значительную работу, как, например, при движении паровых турбин.

Наш рисунок (рис. 48) показывает другой способ, каким может быть обнаружена его рабочая сила.

➡ Конец паровой трубки *A* закрыт металлической крышкой, которая снабжена в *B* маленьким отверстием. Когда луч пара встречает препятствие, он с силой гонит его перед собой. Луч пара подталкивает, например, легкую пластинку, подвешенную над лучом в *C*, т. е. сравнительно далеко от *B*, и мешает ей упасть. Вообразим теперь, что прибор изменен следующим образом. Конец паровой трубки расширяется в плоскую пластинку *EF*, просверленную посередине. Предположим также, что подвижная пластинка *D* подвешивается на очень незначительном расстоянии от *EF*. Когда потом выпускают луч пара, то оказывается, что верхняя пластинка, вместо того чтобы отталкиваться, теперь до известной степени притягивается нижней. Необходима значительная сила, чтобы удалить верхнюю пластинку от нижней. Каким образом возможно, чтобы один и тот же луч пара производил два совершенно противоположных действия? ➡

Чтобы объяснить это, нужно прежде всего принять во внимание, что в первом случае давление пара при прохождении его через узкий канал постепенно уменьшается, пока оно сейчас же по выходе пара из трубки не становится равным давлению воздуха. Все

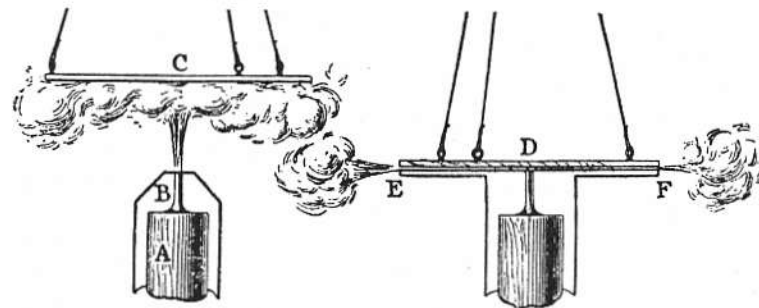


Рис. 48. Притяжение и отталкивание, вызванные струей пара

действие расширившегося таким образом пара происходит за счет большой скорости его частичек. Во втором же случае верхняя пластинка лежит так близко к нижней, что мы можем допустить, что в выходном канале и непосредственно над ним продолжает еще господствовать то же высокое давление, которое находится в паровом котле. Однако вблизи выводного канала пар сейчас же расширяется и давление его становится одинаковым с давлением атмосферного воздуха. В то время как в первом случае пар имеет возможность расширяться *по всем направлениям* и может поэтому сохранить первоначальное направление движения *BC* главной массы пара, — во втором случае он до тех пор, пока пластинка *D* не удалена, находит себе выход лишь по направлениям, параллельным пластинке *EF*. Правда, и в этом случае пар при выходе из отверстия сообщает толчок пластине. Но *непосредственно* он ударяет лишь об очень небольшую часть пластинки, и ввиду «инерции» пластинки не может поднять ее на значительную высоту. Это влияние инерции легко проследить, если мы станем ударять молотком очень быстро и сильно об открытую и легко поворачивающуюся дверь — во избежание неприятностей не следует для этого пользоваться комнатной дверью; в таком случае легче разбить дверь вдребезги, чем заставить ее удалиться на сколько-нибудь значительное расстояние от ее первоначального положения.

Вследствие этого и пар в первую минуту после своего выхода не отодвинет на значительное расстояние верхнюю пластинку. Но и в следующий момент он расширяется в стороны и почти совершенно заполняет весь узкий промежуток между обеими пластинками. Теперь следует заметить, что когда пар переходит от средней точки пластинки к ее краям, объем, который он в состоянии занять, растет чрезвычайно быстро.

Мы можем наглядно представить себе это, если построим на одной из круглых пластинок вокруг ее центра большое число концентрических окружностей и затем проведем два радиуса, которые образуют между собой угол небольшой величины. Ограниченный радиусами сектор расширяется по направлению от центра наружу, как мы это видим у секторов концентрических кругов различной величины. Малое количество пара, расположенное у самого центра пластинок между обеими радиусами, встречает, подвигаясь наружу, все увеличивающийся объем, и вследствие этого постоянно расширяется, занимая все больше места. Разумеется, большая скорость его мельчайших частичек при этом не изменяется, так что и расширившийся пар все еще в состоянии не допускать воздух

в пространство между пластинками, но по мере расширения пара уменьшается его давление на пластинку. В то время как верхняя пластинка испытывает посредине давление, значительно превышающее давление атмосферы, давление пара по мере его вытекания наружу вскоре уменьшается до степени атмосферного давления. Вследствие равномерного уменьшения давления по всем сторонам то место, где наступает это равенство давлений, представится одной из концентрических окружностей. Снаружи от этого круга давление все более уменьшается сравнительно с атмосферным давлением, пока, наконец, на краю, где пар смешивается с воздухом, оно опять почти внезапно не возрастает до величины атмосферного давления. Если та часть подвижной пластинки, на которую приходится «давление ниже атмосферного», значительно превосходит ту, которая испытывает «давление выше атмосферного», то пластинка под действием давления внешнего воздуха должна двигаться по направлению к неподвижной пластинке. Таким образом, получается парадоксальный результат, который заключается в том, что если пластинки сначала находятся на заметном расстоянии друг от друга, то необходимо сильное давление, чтобы приблизить их друг к другу, если же они лежат одна на другой с самого начала, то приходится употребить значительную силу, чтобы оторвать их друг от друга. Следует заметить, для тех читателей, которые не имеют возможности получить вышеописанную струю пара, что это явление может быть обнаружено также при помощи *струи воздуха*. Из тонкого дерева или толстой папки готовят 2 круглые пластинки, которые имеют 15 сантиметров в поперечнике. В одной из них посередине прорезывают круглое отверстие от 4 до 5 миллиметров в поперечнике. Чтобы удобно было пропускать через отверстие струю воздуха, укрепляют посередине пластинки с отверстием перпендикулярно к ней стеклянную трубку приблизительно в 5 миллиметров ширины. Это удастся очень легко, если пробуровать в обыкновенной или резиновой пробке отверстие такой величины, чтобы стеклянная трубка как раз в него входила, и затем укрепить эту пробку на пластинке клеем, сургучом и т. п. Затем пластинку ставят на подходящей подставке таким образом, чтобы поверхность ее заняла *вертикальное* положение, а стеклянная трубка легла горизонтально. Это удастся лучше всего, если зажать трубку в приспособленные для этой цели тиски или прикрепить ее проволокой к вертикальному стержню. Другую пластинку без отверстия подвешивают на двух нитях, которые прикрепляются на расстоянии 3–4 сантиметров друг от друга к краю пластинки (например, при

помощи сургуча). Висящая и неподвижно установленная пластинки должны быть приблизительно параллельны друг другу. Сначала вешают свободную пластинку на расстоянии  $1\frac{1}{2}$ –2 сантиметров от неподвижной пластинки. Свободная пластинка отталкивается, если сильно вдуть воздух через стеклянную трубку. Если же сблизить обе пластинки так, чтобы они находились на расстоянии одного сантиметра друг от друга, или еще ближе того, то хорошо видно, как свободная пластинка притягивается к неподвижной.

### 3. Как слабый побеждает сильного

Паровой инжектор для снабжения котла свежей водой в свое время являлся одним из самых удивительных изобретений инженерного искусства. Исключая инженеров мало кто знает, для чего нужен паровой инжектор и как он работает; а знакомство с ним очень поучительно.

Прежде всего представим следующее: из парового котла проведена паровая труба, которая снабжает машину паром. От паровой трубы отходит трубка *A* (рис. 49), которая доставляет пар инжектору, описанному несколько ниже. В инжекторе *C* струя пара, смешиваясь со струей воды, которая выходит из трубки *B*, гонит ее через третью трубку *D* опять в котел. Короче,

пар, который выходит из котла, где он получает давление, оказывается не только способным преодолевать давление пара, который еще находится в котле, но и приносит с собой в котел свежую воду.

Чтобы объяснить этот парадокс, рассмотрим устройство инжектора. На рис. 49 пропущены некоторые детали, чтобы лучше выделить главное; некоторые же другие для этой же цели значительно преувеличены.

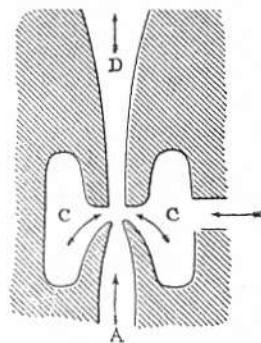


Рис. 49

Пар из котла с большой скоростью поступает через трубку *A* в инжектор. По трубе *B* идет холодная вода, которая вливается в кольцеобразную камеру *C*, где получается кольцеобразная колонна холодной воды, окружающая струю пара. При соприкосновении с ней пар внезапно сгущается в воду и образует тонкую струю быстро движущейся воды. Эта струя поступает вместе с холодной водой, которая с ней смешивается, в пространство *D*, которое находится в соедине-

нии с котлом. По мере движения струи вперед ее скорость постепенно уменьшается, а давление увеличивается, до тех пор пока она наконец не окажется в состоянии преодолеть давление пара в котле.

Теперь возникает вопрос: откуда происходит та значительная энергия, которая необходима, чтобы преодолеть давление пара в котле.

**Объяснение** Представим себе, что струя пара с большой скоростью впускается в некоторое пространство, в котором давление составляет половину первоначального давления. В таком случае пар расширится, и скорость его частиц еще более увеличится; соответственно увеличится и их энергия движения. При обыкновенном атмосферном давлении пар занимает объем, который в 1700 раз больше объема воды, из которой он получился. Поэтому, когда пар сгущается, он занимает 1700-ю часть того объема, который он занимал в форме пара. Это значит, что при внезапном сгущении диаметр струи пара уменьшается более чем в 40 раз. Теперь вся энергия движения сосредоточивается в тонкой струе воды. В объеме, который занимает струя воды, теперь будет заключаться приблизительно в 1700 раз больше энергии, чем прежде.

Хотя в действительности соответствующее число будет несколько меньше, чем следует по теории, все же прирост энергии будет достаточно велик, чтобы дать возможность струе воды преодолеть давление пара в котле и снова войти в него, увлекая вместе с собой и ту воду, с помощью которой она сгустилась. Таким образом, в действительности не струя пара, как это мы предполагали раньше, преодолевает давление паров в котле, а гораздо более богатая энергией струя воды. Концентрация энергии при сгущении паров в воду настолько велика, что даже пар, отработавший в машине и получивший вновь атмосферное давление, оказывается пригодным для инжектора. Таким образом, у поверхностного зрителя действительно может явиться такое представление, что здесь слабейший побеждает сильного. ■



## О вечном движении (*perpetuum mobile*)

### 1. Постоянно движущаяся мельница

В разделе, в котором говорится о мнимом преимуществе ломаного велосипедного шатуна, приведен пример стремлений изобретателей увеличить человеческую силу, не прибегая к помощи постороннего источника. Другой излюбленный опыт состоит в том, чтобы получить работу *без всякой затраты силы*, т. е. построить вечно без посторонней помощи движущуюся машину — так называемое “*perpetuum mobile*”.

Строго говоря, оба стремления представляют по существу одно и то же, так как желать сделать из одного фунта свинца два так же безрассудно, как стремиться получить один фунт из ничего.

Многие изобретатели предполагали возможным построить такое “*perpetuum mobile*” наподобие колеса, которое должно было вечно двигаться, потому что сила тяжести была приложена с одной стороны колеса к более длинному плечу, чем с другой.

➡ На рис. 50 показан такого рода прибор. Колесо снабжено известным числом двучленных спиц. Внешняя вращающаяся часть (*EG*) может вращаться лишь в одну сторону от внутренней части *RE*, как это видно в *RK* и *FK*. На конце каждой спицы находится груз. С той стороны, где спицы подымаются (на рис. 50 слева), внешние части висят вниз; как только плечи начинают спускаться на другой стороне вниз и переходят немного через положение *KF*, то концы плеч перебрасываются на другую сторону (*RG* и *RH*). Таким образом, с правой стороны грузы приложены к более длинным плечам рычага (например, *RG*), чем слева (например, *RA*). Грузы справа имеют большую вращательную силу, чем слева, и благодаря этому колесо вращается по направлению стрелок.

Конечно, часть избытка силы тратится на преодоление трения, остальная же часть может быть отведена с помощью блока *O* и при-

водного ремня и употреблена на полезную работу. Все это звучит весьма правдоподобно. ➡

Все же здесь, несомненно, кроется грубая ошибка в применении закона рычага. Это можно обнаружить даже при помощи совершенно общего рассуждения. Предполагаемый избыток сил машины обуславливается, как утверждают, энергией падающего груза. Но прежде чем груз может переместиться от самой высокой точки своего пути до самой низкой, он должен с другой стороны своего пути пройти расстояние от низшей точки до наивысшей. При поднятии груза расходуется столько же энергии, сколько получается при его падении. Таким способом нельзя получить ни малейшего избытка в энергии.

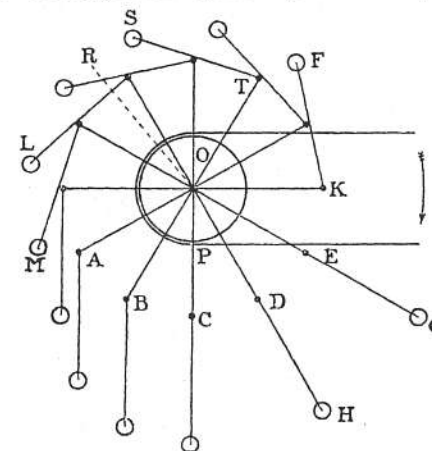


Рис. 50. “Perpetuum mobile”

Даже малейшие потери на трение не могут быть возмещены. Колесо ни в коем случае не может само вращаться, если же при помощи внешней силы привести его в движение, то вследствие трения оно вскоре снова остановится. Это вполне общее доказательство того, что в рассуждениях изобретателя должна заключаться ошибка. Но этот последний не будет удовлетворен суждением, основанным на *общих* положениях, так как он будет думать, что критик так же легко мог ошибаться, при их применении к частным случаям, как и он сам. Мы, следовательно, должны еще показать, в каких именно отдельных пунктах изобретатель неправильно понял законы механики и ошибочно их применил. Прежде всего, мы имеем дело с неправильным пониманием длины плеч рычага. Сила тяжести, направленная вертикально, лишь в том случае приложена под прямым углом к плечу рычага, когда это последнее горизонтально. Лишь в таком случае направление ее совпадает с направлением касательной к круговому пути, проходимому концом плеча рычага и, следовательно, лишь в этом случае ее можно использовать целиком. Когда плечи стоят наклонно, как в *RG*, сила тяжести не может быть целиком потрачена на вращение. Действие ее, другими словами, такое же, как если бы

соответствующий груз действовал с *полной* силой, но на более *короткое* плечо рычага. Здесь можно применить то же рассуждение с помощью параллелограмма сил, которое было приведено в главе о ломаном шатуне. Длина этого укороченного плеча равна длине перпендикуляра, опущенного из точки опоры рычага на направление силы.

Во вторых, изобретатель упустил из виду, что благодаря ломаной форме плеч на восходящей стороне колеса (слева) находится большее число грузов, чем на нисходящей справа, так что и это обстоятельство уничтожает преимущество, обусловленное различием длин плеч рычага. Груз *S*, например, несмотря на то, что его плечо *RT* лежит на правой стороне, сам находится слева от вертикали, проходящей через *R*, и поэтому мешает подниматься левой стороне. Слева находятся 7 грузов, а справа лишь 4. Таким образом, изобретатель должен будет отказаться от своих сомнений относительно правильного применения нашего общего принципа, и ему придется согласиться с нами, что грузы, двигаясь по одной стороне вниз, могут совершать не больше работы, чем было потрачено до того при их поднятии с другой стороны на ту же высоту. Ожидать большего от машины так же неразумно, как надеяться, что из бутылки можно будет получить больше воды, чем в нее влили.

## 2. Жидкий воздух и «вечно продолжающееся движение»

Несколько лет тому назад, когда волнение, вызванное чудесными свойствами жидкого воздуха, немного успокоилось, появилось заявление одного американского экспериментатора, который построил большой прибор для получения жидкого воздуха по системе Гамсона. Ему удалось при затрате 3 литров жидкого воздуха приготовить с помощью сходного с паровой машиной мотора 10 новых литров жидкого воздуха. Он утверждал, что 7 из этих 10 литров могут быть затрачены в другой машине для производства внешней полезной работы, а тремя остающимися литрами можно воспользоваться, чтобы выработать снова 10 литров жидкого воздуха, и так бесконечно. Следовательно, имея 3 литра, он может оставлять 3 литра для машины, и при этом всякий раз получать 7 других литров для работы в мастерских. Если это справедливо в случае 3-х и 7-ми литров, то это остается справедливым и для

30 и 70, 3000 и 7000 и т. д. Также ясно, что если 7 литров не затрачиваются на другую работу, то в следующий раз может быть уже получено 23, в третий раз 76 литров и т. д. В таком случае количество жидкого воздуха и его сила не имели бы границ. Не требуя затраты, хотя бы пригоршни угля или другого горючего материала, эта сила была бы способна увеличиться, подобно маленькому семени, из которого вырастает могучее растение.

Это чудесное открытие должно было бы произвести величайшие перевороты во всех областях. Все машины, отапливаемые углем, газом и маслом, в мастерских и на железных дорогах всех 5-ти частей света, оказались бы совершенно ненужными. Суда, приводимые в движение лишь жидким воздухом, стали бы пересекать Атлантический океан в течение трех суток. При этом им не пришлось бы тащить с собой ни одной тонны горючего материала.

Аэростаты легко бы достигали больших высот; а если бы мы захотели погрузиться на подводных лодках в глубины океана, жидкий воздух доставил бы нам не только необходимую энергию движения, но и свежий воздух для дыхания.

Стараться доказать невозможность всего этого — все равно, что начать ломиться в открытые двери. Хотя, собирая понемногу, и можно набрать много, все же из «немногого», не прибегая к посторонней помощи, нельзя получить «многого».

Маленькие ручейки в конце концов образуют реку, но никаким колдовством нельзя ручей сразу превратить в реку.

Основательно никто не исследовал мнимых успехов этого экспериментатора. Единственное заключение, которое, однако, можно вывести из его сообщений, это то, что, если он получал 10 литров при умеренном давлении, то он не упомянул, что работал с машиной, которая была уже достаточно охлаждена благодаря силе, утраченной для производства первых 3 литров. Он пользовался охлаждением, полученным предыдущими операциями, но работая так, он постепенно нагревал машину, и она становилась неспособной исполнить этот же процесс вторично. Уяснить принцип этого процесса можно на еще более простом примере. Если сильно нагреть пустой паровой котел, а потом влить в него несколько литров воды, то благодаря теплоте металла получится пар, возможно, очень высокого давления, но в это же время металл охладится и станет непригодным для вторичного опыта.

### 3. Неисчерпаемый источник энергии

Если кувшин с теплой водой мы поставим на стол, то вода, как мы уже хорошо знаем, очень скоро остынет. В общем всегда, когда какое-нибудь тело теплее окружающих его предметов, оно постепенно начинает отдавать избыток своего тепла, и это продолжается до тех пор, пока все тела не достигнут некоторой средней температуры.

Так, например, лед, как это мы видели в нашем опыте в ч. 1, гл. 6, сначала поддерживал некоторое время жидкий воздух в состоянии кипения, а потом его температура понизилась до температуры жидкого воздуха, которому он передал весь свой избыток тепла. Вследствие этого он не был в состоянии поддерживать кипение дальше.

Но недавно одно открытие, обратившее на себя всеобщее внимание, возбудило такие взгляды, которые совершенно противоречат всем прежним опытам.

Если мы соединим радий с жидким воздухом, как это делал покойный профессор Кюри, то получим очень сильное кипение. Потом нам покажется, что кипение внезапно стало слабеть и что вот-вот оно прекратится. В действительности же оно продолжается. Даже спустя 24 часа мы можем видеть, что кипение продолжается с той же силой. Если испаряющийся жидкий воздух все время заменять другим, то мы найдем, спустя месяц, год и чуть ли не вечность, что кипение будет неизменно продолжаться.

Следовательно, радий никогда не охлаждается до температуры жидкого воздуха и кажется неисчерпаемым источником тепла.

Дело стало бы более понятным, если бы в радию можно было наблюдать какой-нибудь химический или физический процесс, посредством которого можно было бы объяснить постоянное производство тепла.

Но несмотря на то, что радий исследовался долгое время, в нем не могли установить, даже с помощью самых точных весов, хотя бы малейшего изменения его веса. Это действительно кажется чудом и является уничтожением закона о сохранении энергии. Казалось уже, что "*perpetuum mobile*" может быть действительно осуществлено.

Вскоре, однако, после того как радиоактивные процессы поразили собою весь мир, профессора Университета Макгилла (McGill University) в Монреале Резерфорд и Содди нашли объяснение, которое теперь всеми принято и которое подчиняет действие радия закону сохранения энергии. Более подробным объяснением мы зай-

мемся в одной из следующих глав, а пока мы удовлетворимся лишь несколькими указаниями.

Предполагают, что атомы состоят из еще меньших частиц или *корпускул*, которые с громадной энергией колеблются внутри атомов. Незначительная часть атомов всех веществ распадается постоянно на *корпускулы*. Радий отличается от других веществ тем, что у него это явление значительно заметнее. Корпускулы и группы корпускул покидают вещество с быстротой, соответствующей той большой энергии, с которой они колеблются внутри атомов, со скоростью многих тысяч километров в секунду. Когда они сталкиваются друг с другом, они освобождают при этом количество тепла, которое очень велико по сравнению с исчезающей материей. На основании этого предположения тепло, исходящее из радия, есть продукт естественного процесса, который совершенно не противоречит ни закону о сохранении вещества, ни закону о сохранении энергии. Уменьшение вещества происходит так медленно, что его убыль почти незаметна, в то короткое время, в которое до сих пор могли наблюдать радий.

«Активность» радия потому особенно замечательна, что энергия корпускул, освобождающихся из сравнительно небольшого количества атомов, должна быть исключительно велика.

### 4. Никогда не останавливающееся часы

«Радиевые часы», как их несколько фантастично прозвали, представляют собою открытие Р. И. Стрэтта (John William Strutt, Lord Rayleigh). Они могут служить новым примером мнимого «*perpetuum mobile*». На рис. 51 изображены такие часы в половину своей натуральной величины. Они состоят из электроскопа, подвешенного на нижнем конце маленькой стеклянной трубки; в последней находятся следы радия. Трубка укрепляется в безвоздушном стеклянном сосуде несколько большего размера.

К «эманациям» радия, т. е. к тончайшей материи, которая благодаря распадению атомов истекает из радия в виде лучей по всем направлениям, принадлежат также «альфа-лучи». Последние неспособны проникнуть через внутреннюю стеклянную стенку, как предполагают, вследствие того, что они состоят из сравнительно больших групп отделяющихся корпускул. Далее от радия отделяются «бета-лучи», вес частиц которых, как принимают, составляет



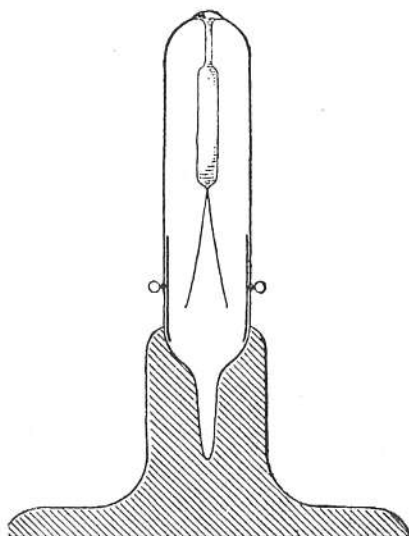


Рис. 51. Радиевые часы

от друга, подобно одинаковым полюсам магнита. По мере увеличения заряда возрастает также расстояние между листочками, до тех пор пока они не прикоснутся к двум металлическим пластинкам, прикрепленным к бокам трубки. Пластинки эти, соединенные металлическими проводами с землею, разряжают листочки, которые поэтому снова спадаются. Но радий не отдыхает, вскоре снова скопляется новый запас положительного электричества, и листочки снова расходятся, а затем снова опадают. Процесс этот может, по-видимому, продолжаться бесконечно, не только месяцы, но годы, и сотни лет. При этом не требуется никакой новой двигательной силы извне, чтобы поддерживать движение. Не нужно ни жечь уголь, ни двигать динамо-машину, ни производить трение, ни сообщать прибору механическое движение. Здесь, следовательно, мы как будто нашли *perpetuum mobile*.

Прибор этот называется часами, потому что движения листочков происходят через такие же правильные промежутки времени, как удары часового маятника, и потому, что этим способом можно было бы в самом деле устроить особого рода часы. Что же касается вечно длящегося движения, то дело обстоит иначе. Теория допускает, что атомы беспрестанно распадаются и исчезают; благодаря этой потере, масса радия уменьшается, правда, сначала незаметно. Вы-

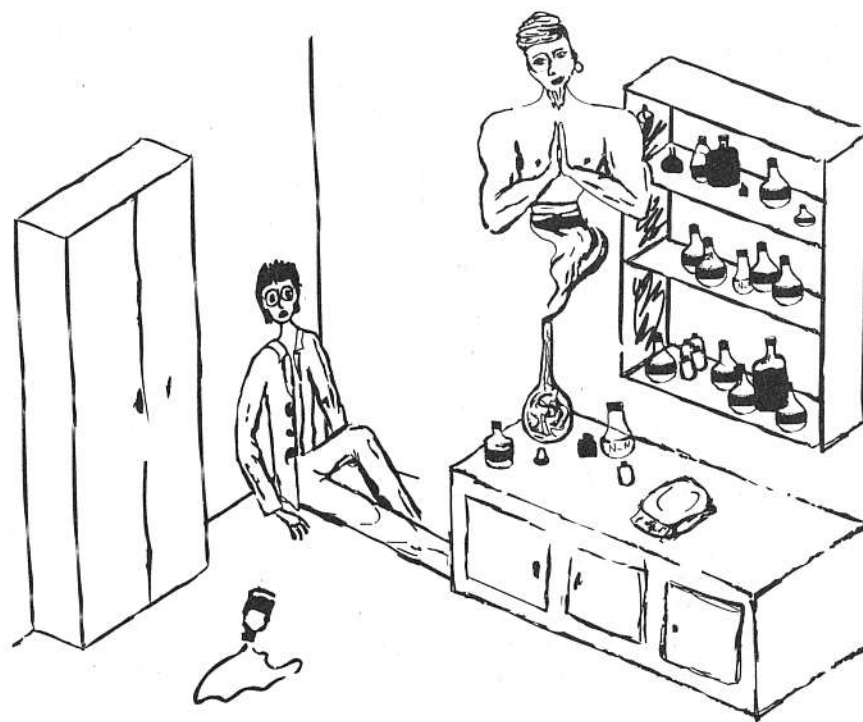
лишь  $\frac{1}{2000}$  веса частиц альфа-лучей и которые движутся в 10 раз быстрее этих последних. Бета-лучи проникают через стеклянные стенки и оставляют трубку с радием; частицы их заряжены отрицательным электричеством, которое они уносят с собой; частицы же альфа-лучей заряжены положительно. Следствием всего этого является накопление внутри трубки с радием положительного электричества, которое вызывает накопление положительного электричества на листочках электроскопа. Когда, таким образом, оба листочка зарядятся одним и тем же электричеством, то они начинают удаляться друг

числили что за 1000 лет<sup>1)</sup> таким путем распадется около половины массы радия, так что действие известного количества радия спустя 1000 лет должно уменьшиться наполовину. Отсюда следует, что часы, действующие с помощью радия и построенные в год рождения Христа, в настоящее время шли бы со скоростью, составляющей лишь  $\frac{1}{4}$  первоначальной скорости.

<sup>1)</sup> Здесь сохранен текст оригинала, однако согласно современным научным данным период полураспада наиболее устойчивого изотопа радия составляет около 1600 лет. — Прим. изд.

Часть вторая

## Химические парадоксы



## Глава 1

# Парадоксальные явления при горении

### 1. Огонь как источник воды

Мы привыкли связывать теплоту, а в особенности пламя с представлением о совершенной сухости; фактически же пламя постоянно доставляет воздуху влагу. В этом можно убедиться на следующем опыте.

▶ На рис. 52 *ABC* представляет тонкостенную медную трубку, наполненную кусками льда и водой. Между внешней металлической трубкой и внутренней трубкой находится свободное пространство. Верхний край металлической трубки можно надрезать на 2–3 см от конца и отогнуть края внутрь для того, чтобы они помогали поддерживать верхний край внутренней трубки; следует только позаботиться о свободном выходе для газов, образующихся при горении пламени (*B*) бунзеновской горелки или спиртовой лампочки. Если держать прибор над таким пламенем, то очень скоро на внешней стороне внутренней трубки появится роса. Капельки скоро собираются в большие капли, которые стекают вниз по трубке и падают около *B* либо в пламя, которым они уничтожаются, или в другой резервуар, где их можно собрать. Можно даже опустить внешнюю трубку и все-таки получить заметное количество воды. ◀

Даже на любом холодном предмете (лезвие ножа, кусок стекла) можно обнаружить образование капель воды, если на мгновение подержать его в огне.

Имея дело с обыкновенным пламенем газа, свечи или керосиновой лампы, следует остерегаться держать предмет в самом пламени: охлаждение препятствует полному сгоранию горючего материала, вследствие чего появляется осадок черного угля, который называется сажей.

Если воздух снаружи холоден, то на оконных стеклах, как известно, легко осаждается влага: «окна потеют»; это водяные пары, которые выделились при дыхании и сгустились на внутренней стороне оконных стекол. То же явление можно наблюдать в том случае, когда никто в комнате не дышит, но в ней горит достаточное количество ламп или свечей и продукты их сгорания скопляются в комнате. Из всех этих наблюдений следует, что в пламени действительно возникает вода. Каким образом это объясняется?

Сгорание есть сопровождающееся выделением теплоты соединение различных веществ с кислородом воздуха.

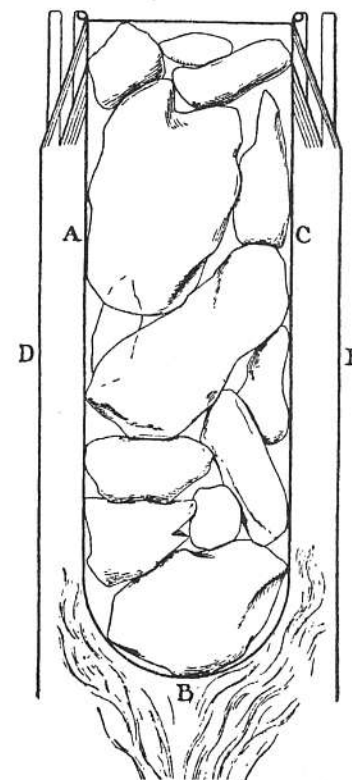


Рис. 52. Образование воды в пламени

Почти все горючие вещества содержат углерод или водород, или тот и другой вместе. Часто к ним присоединяются еще и другие элементы. Когда углерод соединяется с кислородом, мы получаем углекислоту. Результатом же соединения водорода с кислородом является вода, и так как водород почти всегда содержится в горючих материалах, то из пламени обыкновенных горючих материалов действительно всегда получается вода. Можно было бы ожидать, что это явление должно наблюдаться очень часто. Но ввиду того что теплый воздух и теплые газы могут поглощать огромные количества невидимого водяного пара, оказывается, что вода, хотя и возникает всегда в пламени, но не всегда легко может быть обнаружена.



## 2. Доказательство того, что все вещества, сгорая, делаются не легче, а тяжелее

Каждый хорошо знает, что если кусок дерева сгорает, то после него остается пепел, который так легок, что его нетрудно сдунуть при помощи даже незначительного колебания воздуха. И далее, ежедневный опыт учит нас, что у горящей свечи парафин или стеарин исчезает вместе с горением фитиля. В том и другом случае ясно убавляется вес горящего вещества, а в случае со свечей он равняется нулю, так как вещество свечи сгорает без остатка. По-видимому, это явление не подлежит оспариванию, но несмотря на это мы увидим, что подобное предположение неверно или не совсем точно.

➡ Для опытов, которые мы должны теперь описать, необходимы аптекарские весы, снабженные двумя роговыми чашками и укрепленные на подходящей подставке.

Мало-мальски хорошие весы даже при весовой разнице в  $\frac{1}{100}$  г должны давать ясное отклонение стрелки.

Теперь мы приобретем квадратный или прямоугольный кусок железной жести, диагонали которого немного меньше диаметра роговых чашек, и очень чистые железные стружки (опилки) или еще лучше мелкий железный порошок, который употребляют в химических лабораториях. Насыплем немного этого порошка (приблизительно 1 г) на кусок железа, и положим тогда этот кусок (мы берем его за загнутый угол) на одну чашку весов, а на другую будем сыпать столько песка, пока стрелка не начнет отклоняться одинаково в обе стороны, и наконец остановится как раз в вилке весов.

Теперь будем держать осторожно щипцами наш кусок железа или положим его на треножник, для того чтобы его хорошенько нагреть на спиртовом или газовом пламени. При этом серая железная пудра делается черной.

Временно она будет тлеть, как кусочек деревянного угля.

Положив уже охлажденное железо на весы, увидим, что оно сделалось не легче, как деревянный уголь, превращенный в пепел, а тяжелее. У нас является впечатление, что железо (жесть и железный порошок) присоединило к себе какое-то весомое вещество. Это на самом деле можно доказать.

Положим немного железной пудры в тугоплавкую стеклянную трубку, протянем медленно через нее измеренное количество воздуха (приблизительно 1 литр) над порошком, нагретым при помощи

газового пламени, и (с помощью аппарата на рис. 22) соберем снова выходящий воздух — мы получим лишь  $\frac{4}{5}$  литра.

Этот воздух гасит свечу, душит зверя и называется азотом. Часть воздуха ( $\frac{1}{5}$  л), поддерживающая горение и дыхание и называемая кислородом, задержана железным порошком. Серый железный порошок соединился химически с кислородом и образовал черную железную окись (окись железа). Надо заметить, что этот опыт удастся легче, если вместо железа употребляют кусок свернутой блестящей медной проволоочной сетки. Воздух равномернее соприкасается с проволоочной сеткой, чем с лежащим в трубке железным порошком. Теперь читатель сделает, наверно, возражение: да, но со свечей дело обстоит иначе, она исчезает на самом деле, значит, она не делается тяжелее. С этим нужно согласиться, и все-таки здесь опять есть «но». Надо обратить внимание, что вещества, которые происходят вследствие горения, совсем не всегда должны быть твердыми как окись железа, или жидкими, но они могут быть и газообразными. Даже если они при обыкновенной температуре бывают жидкими, то при горении они становятся газообразными. Примером этому может служить образование воды в пламени спирта или газа, описанное в предыдущем разделе. Такие летучие продукты горения не подлежат обыкновенному наблюдению. ➡

Если же, как в предыдущем разделе, приготовить приспособление для того, чтобы их удержать, то мы могли бы их взвесить. Приспособление, которое нужно для более точного исследования сжигания свечи, следующее.

➡ Широкий цилиндр газовой лампы (рис. 53) обвивают проволокой так, что его можно привесить вместо чашки к коромыслу весов. Посредством проволоки прикрепляют под ламповый цилиндр свечной огарок. На верхний конец цилиндра насаживают корзинку из проволоки, в которую кладут известковый натр. Этот известковый натр есть известь, которая погашена вместо воды раствором едкого натра.

Он имеет способность поглощать от струи воздуха водяные пары и углекислоту, если она их содержит. Но водяной пар и углекислота представляют как раз продукты горения свечи, которая состоит из углерода, водорода и кислорода, или если это чистая парафи-



Рис. 53

новая свеча — из углерода и водорода. Углерод, сгорая, образует углекислоту ( $\text{CO}_2$ ), водород образует воду ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Ток воздуха получается благодаря тому, что пламя свечи расширяет воздух в цилиндре и таким образом заставляет его подниматься вверх. Все продукты горения свечи должны поэтому пройти через известковый натр, которым и будут поглощены. Если мы перед зажиганием свечи привели весы в равновесие, например, при помощи песка, то вскоре мы заметим, что тот конец коромысла, на котором находится свеча, опустится вниз. Это доказывает, что остаток свечи вместе с продуктами горения тяжелее, чем первоначально взятая свеча.

Увеличение веса объясняется поглощением кислорода, один литр которого при  $0^\circ\text{C}$  и 760 мм давления весит 1,429 грамма. Но это такое количество, которое расходуется при горении свечи в несколько минут. Как велик расход кислорода, вызванный горением свечи, можно ясно видеть, если горящую свечу поставить под большой стеклянный колокол, который, в свою очередь, поставлен в таз с водой. Свеча вскоре тухнет вследствие недостатка кислорода, а вода отчасти поднимается внутрь колокола. ◀

Для любого тела, как и для свечи, можно доказать, что его продукты горения тяжелее взятого тела на вес соединившегося с ним кислорода. Это имеет место и для угля и дров.

Остающаяся при сгорании угля и дерева зола не принадлежит, однако, к продуктам горения, она представляет собою не что иное, как несгораемый остаток.

### 3. Может ли воздух гореть

Едва ли может быть вопрос смешнее и несообразнее того, который поставлен нами в заглавии. Но несмотря на это он основывается на факте, который на первый взгляд, может быть, и покажется очень странным. Выражаясь кратко, мы скажем:

мы знаем, что светильный газ горит в воздухе, но мы можем сжечь и воздух в светильном газе.

Этот опыт очень легко выполнить.

▶ Посредством стеклянного крана приводят чистый, не смешанный с воздухом светильный газ в большой ламповый цилиндр, который на одном конце плотно закрыт пробкой (рис. 54).

Так как газ легче воздуха, то следует укрепить цилиндр в штативе открытым концом вниз и подвести стеклянную трубку  $G$ , через которую вводится газ, под самую пробку. Если пробуровать пробку, то можно вводить газ и сверху. Во всяком случае он вытесняет воздух из цилиндра и его можно зажечь, как только цилиндр им наполнится. Если непрерывно пополнять затраченный на сгорание внизу газ, то цилиндр остается все время наполненный газом.

Далее нужно иметь в распоряжении не слишком сильную струю воздуха. Для этого можно вытеснять воздух из одной бутылки прибора, изображенного на рис. 22, с помощью воды, находящейся в другой бутылке. Зажимной кран на каучуке даст вполне удовлетворительную регулировку струи.

Если дать воздуху течь через стеклянную трубку  $L$  и подвинуть трубку снизу в цилиндр, то воздух воспламеняется внизу от пламени светильного газа и продолжает гореть дальше в светильном газе внутри цилиндра. ◀

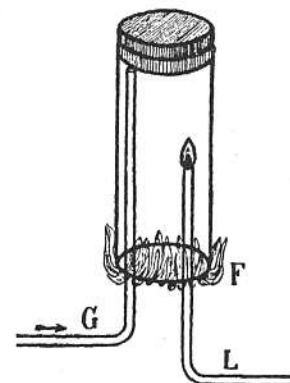


Рис. 54

**Объяснение** Если мы захотим объяснить это парадоксальное явление, то прежде всего мы должны объяснить, как происходит и что представляет собою пламя. Предположим, что из трубы течет горючий газ, например водород. Следовательно, над отверстием трубки на продолжении ее оси находится чистый водород. Однако на некотором расстоянии от оси и несколько выше водород смешивается с кислородом воздуха, а эта смешанная полоса воздуха окружена кислородом (без водорода). Таким образом, полоса смешения, обозначенная на нашем рис. 55 кривой линией, содержит так называемую смесь гремучего газа. Если поместить в эту полосу смешения тело  $Z$  достаточно высокой температуры, например раскаленную проволоку, то в этом месте водород, который до сих пор был лишь смешан с кислородом, соединяется с ним химически, и от этого получается водяной пар. Происходящее при этом тепло достаточно (без дальнейшего участия тела  $Z$ , которое было необходимо лишь для воспламенения), чтобы превратить в воду и тот гремучий газ, который находится по соседству.

Этот процесс, сопровождаемый слабым взрывом, мгновенно распространяется по всей полосе смешения. Улетучивающийся во внешнее пространство водяной пар восполняется изнутри водородом, который вновь смешивается с кислородом.

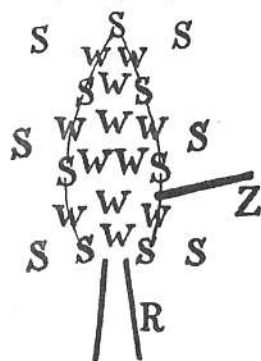


Рис. 55

Дальнейшего накопления гремучего газа, однако, не получается. Как только рядом случается столько атомов водорода и кислорода, что может образоваться молекула воды, она действительно образуется благодаря высокой температуре пламени. ■

Теперь вытекающий водород сгорает без взрыва. Так как высокая температура, получающаяся при соединении водорода с кислородом, доводит часть газовой смеси до накаливания, то этот процесс соединения, который мы называем *пламенем*, становится заметным для глаза. Следовательно,

🔥 пламя есть раскаленная газообразная смесь, каление которой непрерывно поддерживается благодаря химическому процессу внутри смеси.

Кто внимательно следил за этим объяснением, тем будет вполне ясно, что водород и кислород легко могут поменяться своими местами, так как все сводится только к образованию полосы смешения и достаточному пополнению снаружи и изнутри сгоревших продуктов, как это и было в нашем опыте с воздухом и светильным газом. Если бы мы были так устроены, что водород был бы необходим нам для дыхания, и если бы согласно с этим атмосфера земного шара состояла из водорода, то можно было бы точно так же зажечь вытекающий из трубки кислород, подобно тому, как мы заставляли воздух гореть в светильном газе. Если мы хотим придерживаться того взгляда, что горение есть соединение с кислородом, то мы, конечно, не должны говорить, что «воздух горит», так как ведь он же не соединяется с кислородом, но можно, конечно, понятие «горение» еще более обобщить,

Так, например, тоже говорят, что водород горит в хлоре, потому что эти два газа также могут дать пламя. Далее этот опыт имеет место и в обратном порядке, т. е. хлор тоже горит в водороде.

Из всего сказанного видно, что вопрос «может ли воздух гореть?» в конце концов не так несообразен, как это могло казаться вначале.

#### 4. Свеча как газовая фабрика

Факт, о котором мы здесь будем говорить, уже, верно, знаком большинству читателей, а именно, что пламя свечи содержит горючий газ. Также на основании того определения пламени, к которому мы пришли в предыдущем разделе, совершенно ясно, что только газообразные вещества могут гореть, образуя пламя, а жидкие и твердые не в состоянии. Когда мы раскаливали железный порошок (ч. 2, гл. 1, разд. 2), он тоже сгорал, при этом железо, выделяя свет, соединялось с кислородом воздуха.

➡ Это световое явление было следствием раскаленного состояния твердого порошка железа, и мы не принимали во внимание при этом раскаленных газов, так что собственно о пламени здесь не могло быть речи.

Сравним теперь этот способ горения с тлением древесного угля. Конечно, есть большая разница в том, что в одном случае продукт горения железа твердый, а в другом — газообразный (углекислота). Углекислота улетучивается, и остаются лишь несгораемые части угля в виде золы. Утверждение, что только газообразные вещества могут гореть с пламенем, является тоже парадоксальным, если смотреть на это с точки зрения повседневной жизни. Мы видим же, что дрова, каменный уголь, бурый уголь, торф, материал свечи, сера, керосин, спирт, бензин, т. е. твердые или жидкие вещества, горят все время с пламенем. ➡

Объяснение этой загадки заключается в том, что все названные вещества, по крайней мере отчасти, сначала переходят в газообразную форму, а потом образовавшиеся газы или пары сгорают.

➡ Два следующие опыта могут подтвердить сказанное относительно свечи. В пламени свечи будем держать стеклянную трубку, которая немного согнута, как это показано на рис. 56; эту трубку помещаем так, чтобы один конец находился как раз над фитилем. Очень скоро мы заметим, как густые пары текут по стеклянной трубке, отчасти осаживаясь на ее стенках в виде твердого вещества, частью выходя из трубки наружу, где мы имеем возможность их зажечь. Еще нагляднее станет нам производство газа в свече, если мы образующийся газ соберем в газометре, как это показано на рис. 22.

Для этой цели мы введем отверстие трубки *C* в середину пламени, совсем близко к фитилю, после того как бутылка *B*, благодаря поднятию бутылки *A*, совсем наполнится водой. Если мы



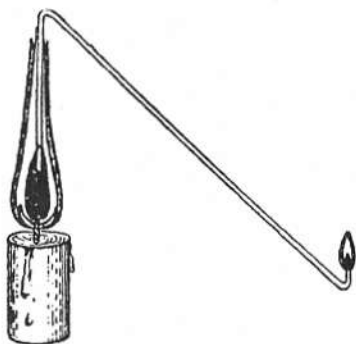



Рис. 56

стать взрывчатой. Если мы наверно знаем, что накопленный газ достаточно свободен от воздуха, его можно вывести из трубы *C* поднятием бутылки *A* и зажечь. Тогда получится настоящее газовое пламя. 

Итак, следовательно, свеча представляет действительно *маленькую газовую фабрику*, и если кто-нибудь из наших читателей захочет устроить себе развлечение, то он может на некоторое время осветить комнату газом свечи. Конечно, он при этом теряет ту энергию света, которая при приготовлении газа была утрачена пламенем.

Да и светосила этого газа незначительна, потому что примешанные к нему пары отчасти опять выделяются в твердом состоянии, еще до начала горения; по-видимому, все против подобного рода освещения, и лишь за него говорить доставленная радость от оригинального способа освещения.

Будет бесполезно, если мы теперь в заключение еще раз разьясим происхождение пламени свечи. Происходящие при этом процессы следующие:

- 1) благодаря приближению зажженного пламени (спичек) стеарин или парафин фитиля начинает таять;
- 2) расплавившееся вещество свечи переходит далее благодаря повышению температуры в газообразные и парообразные вещества (главным образом соединения углерода и водорода);
- 3) затем появляется у фитиля пламя, это происходит так, как было описано в предыдущем разделе;

затем начнем медленно опускать бутылку *A*, то бутылка *B* начнет всасывать газы свечи. Во время этого всасывания пламя свечи уменьшится, благодаря непрерывной потере горячего вещества.

Следует остерегаться того, чтобы отверстие *C* во время процесса всасывания часто или продолжительное время находилось вне пламени, так как в это время к светильному газу могут примешиваться такие большие массы воздуха, что эта смесь может

- 4) возникшее в этом пламени тепло служит для таяния следующего ниже лежащего материала свечи; вокруг фитиля образуется впадина, наполненная уже расплавившимся веществом;
- 5) фитиль всасывает жидкий горючий материал в свои капиллярные отверстия и этим восполняет сожженное вещество.

**Объяснение** В заключение объясним еще вкратце сильное сияние пламени свечи в противоположность несветящемуся пламени водорода.

Это происходит оттого, что часть углеводородов вследствие высокой температуры разлагаются с выделением углерода, который успевает накалиться добела еще прежде, чем он найдет достаточное количество кислорода для своего полного сгорания.

Если кто-нибудь захочет убедиться в наличии углерода, то только следует взять и подержать в пламени какой-нибудь холодный предмет (фарфор, стекло). Сейчас же сильно охлажденный углерод начнет выделяться в виде сажи. Сила света пламени при этом значительно уменьшается.

Если даже слегка дуть на пламя свечи, то уже это вызывает охлаждение, достаточное для образования сажи. ■

## Глава 2

## Замечательные свойства воды

1. Можно получать тепло,  
пользуясь холодной водой

Кажется несообразным, что холодная вода, которую обыкновенно употребляют для тушения огня или охлаждения нагретых предметов, может служить источником тепла. Что это действительно так, покажут нам следующие примеры.

Калий и натрий представляют собою металлы, которые так легко соединяются с кислородом, что обыкновенно их сохраняют в керосине, чтобы предохранить от соединения с кислородом воздуха. Если мы бросим кусочек калия или натрия на воду, то они отнимают кислород от воды, освобождая водород. При этом, как и при всяком соединении с кислородом, развивается такое количество тепла, что освобождающийся водород загорается. При реакции с калием это происходит всегда, при реакции с натрием большей частью. Спирт, который, как известно, хотя и в другом смысле, заключает в себе большой источник тепла, тоже не всегда охлаждается, если его разбавлять водой. Если мы возьмем одну часть воды и смешаем ее с одной частью чистого спирта одинаковой с нею температуры, то заметим ясное повышение температуры смеси.

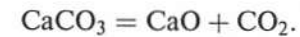
Повышение температуры еще более заметно при смешении воды и серной кислоты, или при растворении едкого калия или натрия в воде.

В этом случае получается такое большое количество тепла, что стакан, в котором производится смешение, может легко лопнуть. Получающиеся при этом жидкости обладают такой большой разъедающей силой, что следует позаботиться о приискании места, подходящего для подобных опытов. Если мы нальем на крепкую кислоту одну каплю или небольшое количество воды, то последняя нагревается с такой силой и так быстро, что сразу переходит в пар и этим вызывает нечто вроде взрыва, благодаря которому часть едкой жидкости может быть разбрызгана вокруг.

Поэтому, составляя смесь, необходимо медленно и осторожно лить серную кислоту в воду, а не наоборот.

Очень красиво можно демонстрировать при зрителях повышение температуры, не пользуясь термометром и не заставляя их прикасаться к стакану, при помощи пробирки, наполненной серным эфиром и погруженной в эту смесь. Эфир тотчас же закипает, так как его температура кипения  $35^{\circ}\text{C}$ .

Другое тело, которое в соединении с водой образует большое количество тепла, это жженая известь ( $\text{CaO}$ ), которая представляет соединение металла кальция с кислородом. Ее можно добыть самому, накаливая в горячем несветящемся пламени газа или даже с помощью паяльной трубки кусочки мрамора (углекислой извести  $\text{CaCO}_3$ ). Углекислота улетучивается и остается жженая известь



Если мы прильем к охлажденной извести каплю воды, то она с сильным нагреванием химически соединится с водой. Получится процесс, который обыкновенно называют «гашением извести»



Часто можно видеть на новых стройках, что вода при этом даже приходит в кипение.

В тех местах, где нет горючего материала, этот метод употребляется в последнее время для согревания пищи. Пища готовится в оловянном сосуде *A* (рис. 57). Этот сосуд окружен, в свою очередь, другим сосудом, содержащим жженую известь.

Когда требуется теплая пища, то открывают внешний сосуд и наливают в известь воду. Оба вещества образуют при своем соединении так много тепла, что содержимое внутреннего сосуда нагревается до весьма высокой температуры.

Мы получим еще более замечательный результат, если будем лить воду на куски барита — вещество со свойствами, подобными извести. Если мы не легко лопающийся стакан наполним сухими кусками барита, которые затем обольем водой, то тепло, которое образуется при этом соединении,

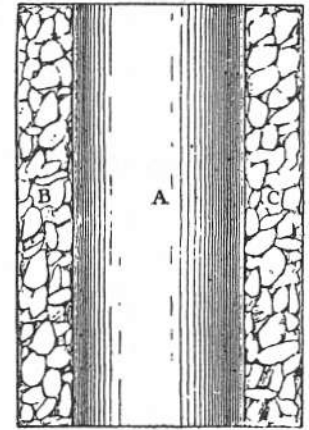


Рис. 57. Приспособление для согревания пищи с помощью извести и воды

заставит воду вскоре кипеть. Еще через некоторое время мы увидим через стенки стакана, что некоторые куски барита накалились докрасна. Мы видим, таким образом, какое большое количество тепла может быть вызвано с помощью холодной воды.

## 2. Чистая вода способна изменять краски

Вполне справедливо принято думать, что чистая вода неспособна разрушать или изменять цвет красок. Только тогда, когда мы растворим в воде известные вещества, например, хлористую известь, она начинает действовать разрушительным образом, но это не есть действие воды, а действие растворенного в ней вещества. Но все-таки и чистая, т. е. дистиллированная или дождевая вода может изменить цвет краски.

Существует соединение металла кобальта с газообразным элементом хлором, которое называется хлористым кобальтом ( $\text{CoCl}_2$ ).

Это вещество можно купить в форме красных кристаллов, содержащих воду. Можно легко убедиться, что они содержат воду, если взять часть кристаллов и нагреть их в пробирке. Тогда кристаллизационная вода начнет удаляться как пар, чтобы опять сгуститься в капли воды на более холодных частях пробирки. Когда вся вода удалится, то вместо красного вещества мы будем иметь синее. Если влить в остуженную пробирку небольшое количество воды, то хлористый кобальт тотчас же станет красным и растворится, если воды будет достаточно. Если бы мы стали испарять воду, заставляя ее кипеть, то сначала получили бы ярко-красное вещество, а после дальнейшего нагревания опять синее.

➡ Можно употребить светло-красный раствор этого соединения в качестве так называемых симпатических чернил для разного рода шуток: если писать ими на белой бумаге, то после высыхания написанное становится почти невидимым, благодаря своей бледной окраске. Но как только мы согреем рукопись над печкой или лампой, то написанное становится синим, благодаря испарению кристаллизационной воды. Для того чтобы написанное опять исчезло, достаточно эту рукопись оставить просто на воздухе.

Влага воздуха поглотится синим кобальтхлоридом. Если мы подышим на написанное, то оно исчезнет скорее, так как наше дыхание содержит водяные пары. ➡

Хлористая медь ( $\text{CuCl}_2$ ) — вещество с вполне подобными свойствами. Его можно купить в виде синих, содержащих воду кристал-

лов. Легко также самому получить это соединение, растворяя при нагревании черную медную окись, полученную нагреванием меди на воздухе в концентрированной соляной кислоте. Получается зеленый раствор, который при более сильном нагревании делается даже коричневатым, а при охлаждении снова зеленым.

➡ Наш опыт мы начнем с того, что, взяв несколько кристаллов этого вещества, разведем их в воде — получится зеленый раствор. Если его немного разбавить чистой водой, то сначала он делается сине-зеленым и потом синим; если мы немного нагреем эти водосодержащие кристаллы, то получим уже не содержащую воду хлористую медь, желто-коричневого цвета, которая с прибавлением воды снова превращается в зеленый или синий раствор.

Этой удивительной смене красок дают следующее объяснение. Мелкие частицы (молекулы) хлористой меди имеют желто-коричневый цвет; при растворении в большом количестве воды большинство этих молекул распадается на свои составные части, а именно на одну часть меди и на 2 части хлора.

В противоположность обыкновенным атомам эти распавшиеся частицы заряжены электричеством (медь положительным, а хлор отрицательным), и их называют ионами.

Медные ионы мы себе представляем окрашенными в синий цвет, а хлорные ионы бесцветными. Если растворить хлористую медь в небольшом количестве воды, то меньшее количество молекул распадается на ионы и от одновременного присутствия молекул и ионов получается зеленый цвет.

В самом деле, можно в некоторых веществах растворить не содержащую воду хлористую медь и получить раствор с желто-коричневой окраской.


Если держать одновременно перед глазами синий и коричневый растворы, то в глаз будут проникать одни зеленые лучи. Так же объясняется и опыт с переокрашиванием хлористого кобальта, который в сухом виде дает синий цвет своих молекул, а во влажном состоянии или с кристаллизационной водой показывает красную краску кобальтовых ионов. ➡

Приведем еще другой способ изменения цветов.

➡ Нагреем в пробирке или в маленьком фарфоровом тигле 1 часть перекиси марганца,  $1\frac{1}{2}$  части едкого кали и 1 часть хлористого калия и после охлаждения обольем этот темно-зеленый сплав водой.



Зеленый раствор отольем от нерастворившегося остатка или профильтруем его. Теперь берем большой стеклянный стакан и понемногу прибавляем воды. Когда мы достигаем определенного разбавления, зеленый цвет сразу переходит в красный.

Благодаря этому изменению цветов зеленый раствор называется раствором хамелеона. 

Объяснение не так просто, чтобы мы могли его здесь привести. Можно только указать, что дело идет о превращении зеленого марганцевокислого кали ( $K_2MnO_4$ ) в красный марганцевокислый кали ( $KMnO_4$ ).

## Глава 3


### Превращение элементов


#### 1. Как один и тот же элемент может быть в различных видах

Хотя мы очень скоро привыкаем к тому, что один элемент, соединяясь с другим, совершенно изменяет свой характер, но вначале нам это кажется очень странным. Кислород, который мы вдыхаем в виде газа, образует в соединении с другим газом, водородом, жидкую воду, которую мы пьем, а в соединении с твердым телом — кремнием (силиций) — *твердый* кварц, кремль или песок.

Элемент может изменить свой вид и свойства, даже не соединяясь с другими элементами. Так обстоит, например, дело с кислородом. Химики пришли к тому выводу, что всякая молекула кислорода состоит из двух атомов. Когда соединяются друг с другом три атома, то получается совершенно другой газ, а именно *озон*, который, как известно, образуется в больших количествах при электрических разрядах, и при ударах молнии производит запах, похожий на запах серы. От простого кислорода он отличается тем, что он легче окисляет другие вещества, поэтому искусственно добытый озон употребляют для белизны.

Замечательными свойствами обладает также и сера.

 Сера большею частью знают в виде желтого порошка (серный цвет) или в виде желтых палочек (черенковая сера). Расплавим довольно большую массу серы в подходящем сосуде и дадим ей остыть настолько, чтобы на стенках сосуда и наверху образовалась твердая кора. Затем проткнем верхнюю кору и быстро выльем находящуюся внутри еще жидкую серу.

Тогда мы увидим внутри сосуда на боковых стенках множество красивых стержнеобразных кристалликов. 

Совсем другую форму имеют естественные кристаллы, которые находят в вулканических местностях. Искусственно можно получить похожие кристаллы, если растворить серу в сернистом угле-

роде (беречь от огня) и дать растворителю испариться на открытом воздухе (из-за плохого запаха). Особенно замечательной формы аморфная сера. Ее получают, если расплавленную серу вылить в холодную воду. Она не делается твердой, но образует коричневую, липкую, эластичную массу, которая большей частью уже на следующий день опять превращается в обыкновенную серу. Фосфор встречается обыкновенно в виде желтого твердого тела, которое можно резать ножом; в таком виде он очень ядовит и так легко воспламеняется, что часто начинает гореть, не будучи даже нагрет. По этой причине нужно его сохранять и резать в воде. Однако существует и красный фосфор, который совсем не ядовит и воспламеняется с трудом.

Такого рода различные формы одного и того же вещества называют *аллотропическими формами*.

▶ Наиболее замечательным примером таких форм является *углерод*, который известен под видом алмаза, графита и искусственного аморфного углерода (сажи). Что эти три вещества представляют собой один и тот же элемент, видно из того, что при сгорании всех трех тел получается одно и то же вещество, а именно углекислота. При этом оказывается также, что одинаковые весовые количества трех форм углерода при сгорании дают одинаковые количества углекислоты. Напротив того, возникающая при этом тепловая энергия различна. Аморфный углерод выделяет наибольшее количество теплоты, алмаз — наименьшее. ◀

## 2. Камень мудреца, или философский камень

В Средние века много искали «камень мудреца», т. е. то таинственное вещество, которое одним своим прикосновением могло бы превратить все металлы, даже все вещи в золото. Прежде всего поэтому алхимики старались ознакомиться со всеми средствами, которые могут превращать одно вещество в другое. Они глубоко верили в свое искусство и, по их мнению, дело заключалось только в том, чтобы проникнуть в его тайну. О границах же этого искусства они имели весьма слабое представление.

Их вера в неограниченную изменяемость свойств веществ должна была становиться тем сильнее, чем многочисленнее были те поразительные изменения, которые им действительно удалось открыть при помощи их стараний. Когда же они увидели, что возможно превращение твердых

металлов золота и серебра в светлые жидкости и получение их обратно из этих жидкостей, легко было поверить, что в этом отношении человеческому уменью не поставлено границ.

Только современная химия научила нас, что тела всегда остаются тем, что они есть, и не могут сделаться ничем другим. Растворяется ли серебро или вновь осаждается из раствора, соединяется ли оно с другими веществами или отделяется от них, находится ли оно в твердом, непрозрачном или жидком, прозрачном виде, — во всех этих превращениях серебро остается в своем первоначальном количестве, и определенными приемами снова можно выделить прежнюю массу серебра. Ни одно зернышко из фунта серебра не превращается в другой металл, и никакая другая крупинка металла не превратится в серебро. Наши познания о составе тел в мире неизмеримо упростились, когда открыли, что сложные тела, нас окружающие, могут быть разложены на 70 простых тел, называемых элементами, и которые образуют своими различными соединениями все тела, нас окружающие.

Чем дальше шло исследование, тем более глубоким становилось убеждение, что каждый элемент вечно неизменяем, что ни один элемент никакими средствами нельзя превратить в другой элемент.

Наравне с этим тесно развилось учение об атомах, мельчайших частицах элемента, которые, как уже показывает их название, считались неделимыми и вечными. Легко заметить, что учение о неизменяемости атомов включает в себе учение о неизменяемой природе элементов. Это учение, положившее основание *новой химии* и достигшее такой высокой степени развития, снова до некоторой степени собирается быть опровергнутым «новейшей химией». Исследования, полученные благодаря замечательным свойствам *радия*, привели нас к выводу, что часть атомов, из которых состоят элементы, постоянно распадается на более мелкие части или корпускулы; а удивительные свойства радия, так отличающие его от других тел, могут быть приписаны тому, что у него это распадение атомов принимает заметные размеры.

Тогда невольно возникают следующие вопросы: что же делается с частями, освобожденными благодаря распадению атомов? Что происходит с оставшимися частями? Несколько лет тому назад частичное решение первого вопроса мы получили от лондонского физика Вильяма Рамсея (William Ramsay). Этот физик поместил небольшое количество продуктов распада, так называемую «эманацию» радия, в маленькую трубку. Спустя неделю он исследовал

содержимое трубки с помощью спектроскопа и заметил, что спектр эманации изменился: в нем ясно выступили линии, до тех пор невидимые, по которым можно было определить присутствие в трубке газа гелия. Рамсей еще за несколько лет до этого опыта открыл этот элемент на Земле, после того как спектральные исследования солнечной атмосферы привели к заключению, что в ней существует еще неизвестный на Земле элемент, именно гелий. Таким образом, в течение недели радий превратился в гелий. Так как радий и гелий по своим химическим и физическим свойствам должны считаться различными элементами, то следовательно здесь мы имеем пример превращения одного элемента в другой. Таким образом, мечта алхимиков отыскать «камень мудреца», хотя и в другом виде, все же осуществилась.

Этот процесс распада радия совсем не прост. Не только некоторые группы корпускул, который выбрасываются распадающимся атомом радия, превращаются в атомы гелия, но и часть оставшихся испытывает то же изменения, проходя через различные стадии, из которых, как кажется, более постоянной является стадия свинца. Как оказывается, радий сам есть продукт распада урана. Теперь мы видим четыре различных элемента, которые генетически связаны между собой.

Далее исследования показали, что наряду с другими известными радиоактивными телами (уран, торий, полоний, актиний), которые обнаруживают изменения, сходные с изменением радия, также и многие хорошо обследованные вещества при детальном наблюдении обнаруживают явления, сходные с радиоактивными явлениями, хотя в более слабой степени. Поэтому необходимо допустить, что и они могут подвергаться сходным изменениям. Ртуть и медь проявили ясные признаки этого рода, и по мере усовершенствования методов наблюдения выясняется, что ни один элемент не может быть без подобных превращений. По-видимому, таким образом, все находится в состоянии распада и превращения. Твердый алмаз, крепкое железо, массивный гранит, — ничто не составляет исключения в этом всеобщем разрушении. Природа действует медленно, но верно. И, быть может, по прошествии миллионов столетий все *атомы нашего мира* расплытятся, чтобы образовать новую вселенную.

## Часть третья

# Биологические и психологические парадоксы





## Глава 1

## Нечто о скелете, кровообращении и питании

### 1. Лошадь в качестве балетной танцовщицы

Наблюдая над нашим телом и телом животных, мы обнаружим значительное сходство во многих существенных чертах их строения. Это естественно послужило к тому, что мы дали сходным частям одинаковые названия.

Но впечатление несведущего человека относительно строения тела известных животных в некоторых случаях не совсем совпадает с фактами. Так, например, часть, которую человек называет коленом у лошадей, овец, быков и других животных, совершенно не соответствует человеческому колену. Это мы можем заметить, сравнивая скелет человека и лошади (рис. 58). Прежде всего сравним человеческую ногу и заднюю ногу лошади. Для этой цели воспользуемся первым и последним из 5 схематических рисунков (рис. 59). Рис. 58, который вполне согласен с действительностью, покажет, как на деле выглядят эти части. Как известно, верхнюю часть нашей ноги мы называем бедром. Лежащая в нем кость (рис. 59) *BD*, которая соединена посредством бедренного сустава *B* со скелетом туловища, поэтому называется бедренной костью. Бедренный сустав лошади обозначен буквой *A*; бедренная кость оканчивается в *C*. За бедренным суставом идет коленный сустав. На скелете человеческой ноги он находится в *D*, а в скелете лошади он обозначен буквой *C*. У лошадей и многих других животных бедренная кость *AC* так коротка, по сравнению с длиной ноги, и притом занимает положение настолько горизонтальное, что у животного, которое находится в хорошем состоянии, этого сустава *C* почти незаметно. Даже в том случае, когда этот сустав заметен, например, если

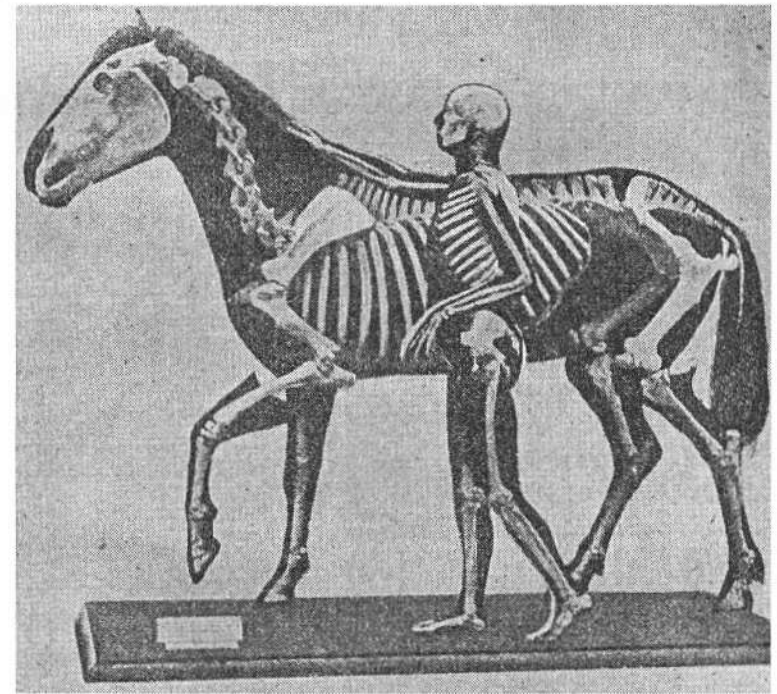


Рис. 58. Скелеты человека и лошади

животное очень сильно исхудало, то все же несведущий человек затруднится подыскать для него нужное название. Вернее всего, он назвал бы его бедренным суставом, так как настоящий бедренный сустав совершенно невидим, находясь очень глубоко под мясом. Теперь перейдем к следующему суставу *E* на скелете лошади.

У лошадей это первый явно выступающий отдельно от туловища сустав. Несведущий человек, который судит, довольствуясь лишь своими наблюдениями над живым животным, обычно называет этот сустав коленом. И только в лучшем случае он удивится, заметив, что у лошади «колено» согнуто назад, а между тем у человека, он знает, согнуто вперед. Конечно, это противоречие только внешнее, потому что «колено» *E* вовсе не есть колено. Прежде чем продолжать дальше наши рассуждения, посмотрим на 3 средних схематических рисунка (рис. 59). Сравнивая их с двумя остальными, мы увидим, что все 5 имеют совершенно одно и то же число костей и суставов, расположенных с одинаковой последовательно-

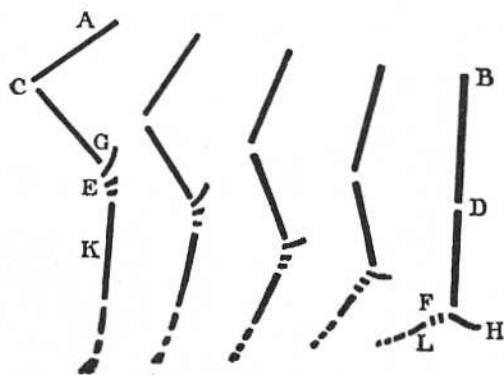


Рис. 59. Для сравнения соответствующих членов у человека и у лошади

стью, а что два рядом стоящих рисунка лишь немного отличаются один от другого длиной и направлением некоторых костей. Иными словами: три средних рисунка представляют собой постепенные переходы между первым и пятым и показывают, что между ногой лошади и человека существует полнейшее соответствие.

Поэтому они помогут нам понять следующее. Сустав, который мы желали бы назвать коленом лошади, в действительности есть сустав стопы, и кость *G* соответствует пяточной кости *H*. За пяточной костью в *E* идут еще несколько меньших косточек, которые соответствуют предплюсне человека. Далее идет довольно длинная кость *K*, которую непосвященный назовет берцовой костью. Но она, вернее, соответствует кости *L* пятого рисунка, т. е. одной из плюсневых костей человека.

Именно здесь мы встречаемся с заметным различием. У лошади в этом месте мы находим лишь одну кость со следами двух других костей по обеим ее сторонам. А у человека здесь находятся пять подряд лежащих косточек плюсны, которые идут от предплюсны до начала пальцев.

Но как же понять это различие, если перечисленные кости человека и лошади все же соответствуют друг другу? Недавно были найдены среди остатков костей вымерших видов животных кости животных, во многом похожих на лошадь, но меньших по величине и с большим числом пальцев. Исследование этих костей привело к заключению, что предки нашей лошади первоначально имели 5 пальцев; а потомки их все больше приобретали привычку

опираться на переднюю часть стопы; благодаря этому, они приобрели приподнятую над землей пятку, а косточки плюсны и пальцев даже стали почти вертикальны; и в конце концов животные стали стоять на концах пальцев или, точнее, на «ногтях»; последние сильно развились в ширину и толщину и стали иметь вид копыт.

В это же время наиболее длинный средний палец стал служить опорой всему телу; он все время развивался и удлинялся, тогда как боковые пальцы атрофировались и исчезали. Об их прежнем существовании у современной лошади служат напоминанием два тонких отростка, которые срослись с большой костью плюсны. Следовательно, нога лошади прошла в своем развитии, начиная с пятипалой ноги, через три поразительных изменения. Во-первых, число пальцев уменьшилось до одного, во-вторых, этот палец так развился, что фактически образовал голень, а в-третьих, копыто, т. е. утолщенный ноготь этого пальца, касается земли.

В настоящее время в этом отношении лошадь приобрела соперников в лице балетных танцоров и танцовщиц, цель которых, по-видимому, кружиться и танцевать на кончиках пальцев. Это стремление ведет к чему угодно, за исключением впечатления красивого и грациозного движения. Очевидно, это рассчитано на зрителей, которые предпочитают удивительное красивому.

Однако самая знаменитая балерина в состоянии лишь танцевать на кончиках пальцев, между тем как лошадь, запряженная в экипаж, который ее же привозит на спектакль, ходит не только на кончиках пальцев, но даже на ногтях. Если бы какой-нибудь балетмейстер показал своим балеринам тот ход развития копыта у лошади, который только что разобран нами, то в надежде на подобный же успех, быть может, они удвоили бы свои старания. И уменьшение числа пальцев помогло бы осуществить их пламенное желание иметь маленькие ноги. При этом, конечно, осторожный учитель не станет слишком много распространяться о том, какие последствия влечет за собой уменьшение числа пальцев для этого одного оставшегося пальца и его ногтя.

Мы легко находим такую же аналогию и между передней ногой лошади и рукой человека. Плечевое сочленение едва заметно на живой лошади. Первый хорошо видный сустав соответствует нашему локтевому суставу и лежит на одной высоте с нижней стороной груди лошади. Что мы неоднократно называем у лошади коленом, в действительности соответствует нашему ручному суставу.

Длинная кость, которая находится в этом месте у лошади и имеет направление вниз, есть кость пястья.

Мы можем ясно прощупать пять косточек пястья, с тыльной стороны руки. Но у лошади хорошо развита только одна из них, именно средняя, а вместо двух других намечены лишь тонкие отростки, потом следуют две короткие пальцевые кости и копыто.

Трудно определить, что больше поражает при подобных исследованиях: удивительное ли сходство в строениях, которое мы находим у многих видов животных, или же те поразительные различия, которые произошли лишь благодаря изменению первоначально сходных органов.

## 2. Как давление воздуха соединяет вместе наши кости

Всем хорошо известно, что давление воздуха играет большую роль в жизни животных и растений. Когда мы расширяем легкие, то в них поступает приток свежего воздуха; это происходит благодаря давлению воздуха, и это же давление мы преодолеваем, когда уже испорченный воздух мы выдыхаем обратно. Если мы поднимаемся на высокие горы или поднимаемся на воздушном шаре на очень большую высоту, то может случиться, что наиболее нежные кровяные сосуды, например легкие, лопаются, так как они не в состоянии устоять против давления крови; это происходит оттого, что давление воздуха слишком сильно уклонилось от нормального давления, к которому уже приспособлено строение наших кровяных сосудов.

Известно также, что рыбы с плавательными пузырями, живущие на больших глубинах, так, например, Kropffelchen (*coregonus hiemalis*), плавающие на самом дне, всегда находятся в сети или мертвыми, или полумертвыми с лопнувшими плавательными пузырями и сильно вздутыми животами. Так как эти рыбы живут на глубине 80 м, где давление около  $7\frac{1}{2}$  атмосфер, то понятно, что воздух их плавательных пузырей приспособлен к этому высокому давлению и, следовательно, сильно сжат. При вытаскивании рыб это давление постепенно уменьшается и при достижении поверхности остается лишь давление одной атмосферы. Поэтому при вытаскивании рыбы из воды сжатый в пузыре воздух начинает расширяться, оказывая сильное давление на пузырь, благодаря которому он наконец лопается.

Важное применение давление воздуха находит в различных приспособлениях, которые придают устойчивость и крепость телу зверей. Чтобы легче понять это явление, мы должны сделать одно физическое разъяснение.

Для того чтобы разорвать, сломать или разрезать какое-нибудь твердое тело, необходима известная сила, которая может быть весьма различна, смотря по веществу. Из этого следует, что мельчайшие частицы (молекулы твердого тела) соединены между собой помощью сил притяжения, которые обыкновенно называются силами сцепления.

У жидкостей силы сцепления должны быть меньше, чем у твердых тел, так как массу жидкости довольно легко разделить на несколько частей.

У газообразных веществ сцепление непосредственно не обнаруживается, потому что их молекулы стремятся по возможности удалиться друг от друга (способностью газа легко расширяться).

Если две плоско отшлифованные стеклянные пластинки положить одну на другую, то разъединить их уже представляет некоторую трудность.

Можно также посредством давления так крепко соединить между собою две плоские свинцовые пластинки, что они будут представлять как бы одно тело. Это прилипание частиц у первоначально разделенных тел называется сцеплением.

Сцепление также существует между твердыми и жидкими телами.

Прилипание капли воды к стеклу, склеивание двух простых не плоско отшлифованных оконных стекол лишь при помощи слоя воды и вообще всякое прилипание и склеивание являются для этого хорошими примерами.

➡ Следующий опыт, относящийся к силам сцепления и притяжения, мы считаем весьма поучительным: на весы (рис. 60) горизонтально привешивают хорошо вычищенную стеклянную пластинку и приводят ее в равновесие. Потом осторожно начинают вливать воду в сосуд, подставленный как раз под пластинку, до тех пор пока ее поверхность не коснется пластинки.

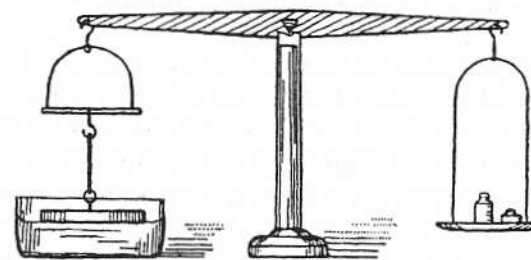


Рис. 60. Силы сцепления



Если пластинка будет величиною в 20 кв. см, то понадобится положить на весы 10 г, чтобы оторвать эту стеклянную пластинку от воды. ◀

По-видимому, мы нашли меру для определения сцепления между стеклом и водой. Подробное исследование нижней части стеклянной пластинки нам, однако, покажет (в том, конечно, случае, если она была хорошо вычищена), что на всей ее поверхности пристала вода. Следовательно, вес 10 г преодолел не притяжение между стеклянной пластинкой и водой, а сцепление между двумя слоями воды. Этот опыт допускает еще одно поучительное изменение.

▶ Возьмем хорошо шлифованную, точно плоскую стеклянную пластинку и поместим ее вместо водяной поверхности. Затем насколько возможно приблизим эту пластинку к висячей, но так, чтобы между ними не произошло соприкосновения. Отсутствие всякого течения воздуха является необходимым условием для этого опыта.

Если положить теперь небольшой перевес на весы, то верхняя пластинка, по-видимому, остается некоторое время на одинаковом расстоянии от нижней.

Более точный способ исследования, однако, показывает, что движение пластинки вверх лишь очень замедлилось, но все же оно началось тотчас же, как был положен перевес. Это замедление становится еще более ясным, если обе пластинки погрузить во время этого опыта в воду.

Если взять две пластинки с площадью приблизительно в 200 кв. см и промежуточным расстоянием в  $\frac{1}{10}$  мм, то даже перевес в целый грамм только приблизительно через 7 минут удвоит величину промежутка между ними. ◀

**Объяснение** Объяснение замедления заключается в том, что все возрастающий промежуток между пластинками должен заполниться водой, чтобы возможно было преодолеть давление воды и воздуха.

Но так как увеличенное трение между пластинками и водой, благодаря их малому расстоянию, очень сильно замедляет это наполнение, то давление воды и воздуха некоторое время удерживает верхнюю пластинку в ее первоначальному положении. ■

Точно такое же объяснение применяется и к опыту в воздухе; только в этом случае вместо воды мы имеем дело с легко подвижным воздухом, трение которого гораздо меньше. Вследствие этого явление выступает с меньшей ясностью.

Так как при совсем не касающихся пластинках не может быть речи о притяжении, то этот опыт служит доказательством того, что при прилипании двух предметов одного к другому действует не только притяжение, но также и давление воздуха. Если, как в нашем опыте, между пластинками находится уже воздух, то воздушное давление будет действовать только замедляюще. Если же пластинки лежат так близко одна к другой, что между ними нет воздуха, чего легко достигнуть, смачивая пластинки, то, чтобы разделить обе пластинки, нужно, кроме притяжения, еще преодолеть полное давление воздуха. При этом следует обратить внимание на то, что воздух давит на каждый квадратный сантиметр с силой, немного большей одного килограмма. Это давление при достаточной величине площади является для сил человека непреодолимым.

Не правда ли, читатель, теперь уже заглавие этого раздела не кажется таким нелепым, как, может быть, это казалось вначале?

Точно так же и при соединении костей в суставах все дело касается относительно весьма точно подогнанных друг к другу поверхностей, так, например, в суставах плеча и бедра относительно шарообразных поверхностей (рис. 61), которые покрыты слизистой жидкостью и плотно касаются друг друга. Сустав обтянут жилистой кожей в виде эластичной кишки, это так называемая «суставная оболочка», которая на концах переходит в надкостницу, покрывающую все кости.

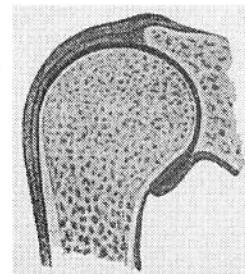


Рис. 61. Сечение плечевого сустава

Можно было бы думать, что жилы и мускулы, которые окружают кость, далее кожа тела и суставная оболочка именно и сдерживают части костей на свободно висящей ноге.

Однако наши опыты определенно говорят, что в этом случае главное место занимает давление воздуха. Это было доказано и на опыте.

У убитого животного можно разрезать все соединительные ткани и все-таки кости не отделяются друг от друга. Если же мы, просверлив сустав (суставную капсулу), дадим возможность воздуху проникнуть между суставными поверхностями, то нижняя кость сейчас же отпадет, если нога свободно висела.

Таким образом, действительно часть силы, которая соединяет наши кости, приходится на долю воздушного давления.

### 3. Насосы без поршней

Одно из наиболее интересных совпадений между произведениями природы и человеческой техникой представляют сердце и вены. Сердце есть насос, назначение которого состоит в том, чтобы гнать кровь во все части тела. Вены содержат целый ряд приспособлений, чтобы возвращать ее в сердце. Эти насосы имеют два больших преимущества перед теми, которые мы строим для накачивания жидкостей. Они способны расти и не нуждаются в поршнях. Кровеносные насосы тела работают таким же образом, как резиновые мехи (шары пульверизатора), т. е. путем переменного сжатия и расширения. При сжимании сердца кровь вгоняется в кровеносные сосуды, а расширение дает возможность новому количеству крови проникнуть в сердце, где она остается до следующего сокращения.

Несмотря на то что действие их различно, результат все-таки тот же, что и в наших искусственных насосах, именно: в обоих случаях необходимы клапаны, чтобы помешать обратному течению жидкости в то время, когда собирается новое количество крови. В физиологических, так же как и в искусственных насосах клапаны являются приспособлениями большой важности. Если они неплотно закрываются, то часть жидкости, вытесненной при сокращении, течет обратно в то пространство, которое должно было бы наполниться новым притоком свежей жидкости, вследствие чего значительная часть энергии насоса пропадает и приходится затрачивать усилия на то, чтобы поддержать в насосе необходимое для работы давление.

Чтобы познакомиться со свойствами и действиями клапанов органов кровообращения, рассмотрим сначала насосный механизм вен так, как он произошел путем простейшего видоизменения кровеносных сосудов. Вены содержат кровь, которая должна возвратиться в сердце. Стенки их мягки и растяжимы, так что путем давления легко могут быть сплюснены. При таком сдавливании кровь потечет в другую часть вен. Ее не только нужно направить к сердцу, но и, кроме того, не давать ей двигаться назад. То и другое достигается при помощи клапанов или заслонок, которые находятся в различных местах вен. Они состоят из парных карманообразных отростков стенок вен, направленных внутрь полости последних.

На рис. 62 а показан вид вены, которую разрезали по длине таким образом, что в каждой половине оказалось по целому карману.

➡ **ABD** есть свободный верхний край, **ACD** край, соединенный со стенкой вены. Рис. 62 б изображает вид вены в таком разрезе,

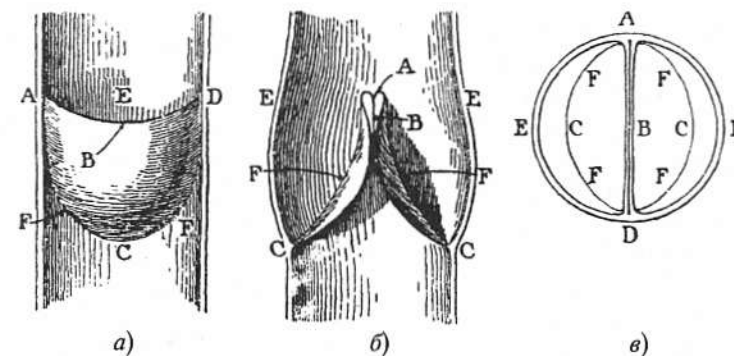


Рис. 62. Клапаны в венах

в котором каждый карман рассечен пополам. Здесь вена сверху растянута благодаря давлению крови, которая наполняет карманы, прижимает друг к другу свободные края клапанов, и таким образом сама закрывает себе путь в нижнюю часть. Наконец, рис. 62 в дает поперечный разрез вены вместе с клапанами. С каждой стороны мы видим в разрезе полость карманов, свободные края которых в **B** прижимаются друг к другу. Эти три рисунка показывают, какое превосходное и вместе с тем простое приспособление обеспечивает нашему телу правильное направление течения крови. Если под влиянием какой-нибудь причины кровь стремится двигаться от **C** к **E**, то она легко раздвигает свободные края клапанов. В тот же момент, когда она устремляется от **E** к **C**, ее собственное давление раздувает карманы и прижимает их друг к другу. ➡

В существовании некоторых из этих клапанов можно легко убедиться на собственном теле, если сдавить, например, большую вену предплечья и таким образом помешать правильному течению крови. Можно заметить, как вена в некоторых местах вздувается, что обусловливается скоплением крови в клапанах вены.

Давление, которое гонит жидкость вперед, в обыкновенных насосах вызывается поршнем, в венах же оно может быть произведено различными способами. Когда мускулы сокращаются, при легкой или тяжелой работе, то это сокращение сжимает вены между мускулами или между этими последними и кожей. Благодаря такого рода сужению, кровь в венах может проталкиваться лишь вперед и направляться к сердцу, так как клапаны препятствуют движению в противоположном направлении. Всякое давление снаружи, как, например, при массаже или обыкновенном ударе, должно действовать

подобным же образом. Изменения в положении тела также могут способствовать движению крови в венах. Если вытянуть руку, подняв ее вверх, то кровь в венах вследствие своей тяжести потечет вниз. Если же, напротив того, опустить руку вниз, то это вызовет скопление крови в венах; это произойдет не потому, что она вследствие тяжести потечет вниз — этому ведь мешают клапаны, а благодаря наполнению вен кровью из более тонких кровеносных сосудов. Если затем поднять руку вверх, то растянувшиеся вследствие давления крови стенки сжимаются благодаря своей упругости и вытесняют избыток крови.

Таким образом, все виды работы, движений и массажа способствуют поддержанию кровообращения в венах и тем укрепляют физическое здоровье. Вены оканчиваются в сердце, которое можно рассматривать как сильно расширенную часть кровеносных сосудов. Если ускорение кровообращения полезно для здоровья, то правильное поддержание его является необходимостью. Для этого служит сердце, которое исполняет свое назначение, безразлично, бодрствуем ли мы или спим, работаем или отдыхаем. Для этой цели недостаточно было бы случайных сужений кровеносных сосудов, вызванных работой или действием внешних влияний. Поэтому в одном месте сосудов образовалось мощное разделенное на четыре полости расширение и в стенках его развились крепкие мускульные волокна, так что сердце можно рассматривать как сильный мускул, имеющий особую форму и особую функцию. Чтобы гнать кровь по артериям и их разветвлениям, необходима значительная сила. Левая полость сердца, которая гонит богатую кислородом кровь в различные части тела, производит с этой целью давление, равное давлению водяной колонны высотой в 270 сантиметров. Правая полость сердца, которая гонит кровь через легкие, производит давление, равное давлению водяной колонны в 90 сантиметров высоты. Количество крови, которое вытекает с каждой стороны при каждом сокращении сердца человека, составляет около 170 грамм. Так как в течение одной минуты число биений сердца равно 70, то работа, производимая сердцем в течение 24 часов, приблизительно равна работе, которую нужно затратить, чтобы поднять 60 000 килограммов на 1 метр вверх или, что то же, 1 килограмм на высоту 60 000 метров. Сердце представляет собственно двойной насос, левая часть которого, как уже было упомянуто, имеет назначение гнать по всему телу богатую кислородом (артериальную) кровь, тогда как правая часть гонит бедную кислородом, но обогатившуюся углекислым газом (венозную) кровь через легкие, где она погло-

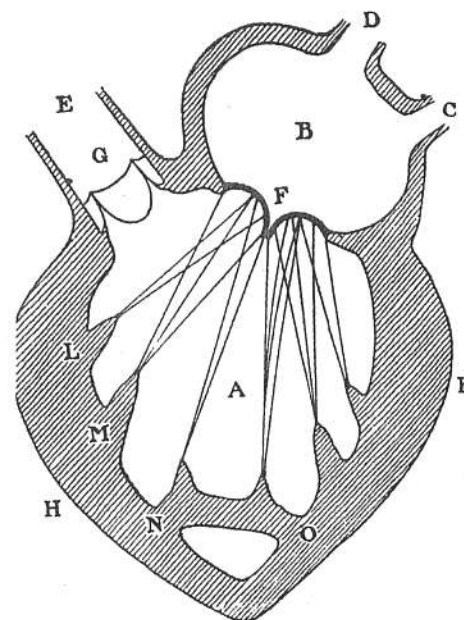


Рис. 63. Механизм сердечного клапана

щает кислород и отдает углекислоту. Так как обе половинки сердца устроены в существенном одинаково, то достаточно рассмотреть строение и действие одной половины, например левой.

➡ Левая половина состоит из желудочка А (рис. 63) и предсердия В. Желудочек обеспечивает прохождение крови по телу («большой круг кровообращения»). Он поэтому снабжен мускулистой стенкой, которая значительно толще стенки правого желудочка, из которого кровь гонится по «малому кругу» через легкие. Предсердие служит главным образом для накопления крови. Если бы сердце должно было после каждого сокращения наполняться кровью непосредственно из вен, то это отняло бы много времени. Сбережение времени достигается тем, что в течение того времени, пока желудочек путем сокращения своих стенок гонит заключающуюся в нем кровь в «аорту» Е, в предсердии накапливается новое количество крови.

В то время как желудочек снова расширяется, кровь из аорты Е могла бы потечь обратно в желудочек. Это устраняется при помощи приспособления, сходного с тем, с которым мы уже познакомились




в венах. Но здесь мы находим три таких кармана, которые сходятся посередине аорты. Один из них обозначен *C*, а рядом видны небольшие части других двух. Благодаря этому приспособлению сердце не может наполниться кровью обратно из *E*, и, таким образом, с этой стороны ему не приходится преодолевать давления. Ввиду этого предсердие *B* не нуждается в особенно большой мускульной силе, чтобы протолкнуть кровь в желудочек, который благодаря своей упругости снова начинает расширяться. Этим и объясняется сравнительно тонкая стенка предсердия и отсутствие особых сердечных клапанов у отверстия вен.

Одним из наиболее замечательных приспособлений в устройстве сердца является сердечный клапан, который препятствует крови течь обратно в предсердие при сокращении желудочка. Этот сердечный клапан в левом желудочке состоит из двух больших упругих перепонок, к которым присоединяются две маленьких; в правом желудочке их всего 3.

Сердечный клапан левого желудочка обозначен на рис. 63 *F*. Мы видим, что кровь легко может проникнуть из предсердия в желудочек, раздвигая лопасти клапана. Для этого необходимо широкое отверстие между желудочком и предсердием. Отчасти вследствие этого, а отчасти вследствие того, что соединение между предсердием и желудочком не имеет формы трубки, применение в этом случае карманообразных клапанов, ввиду высокого давления, которое им пришлось бы выдерживать, вряд ли было бы возможно. Поэтому здесь мы находим в качестве клапана большие упругие лопасти, которые совершенно особенным образом удерживаются в своем положении.

С внутренней стороны стенки желудочка внутрь его полости выдаются несколько сосочкообразных отростков мышечной массы сердца. От концов этих мускульных придатков идут крепкие нитеобразные сухожилия к свободным краям лопастей и к их поверхности. Поэтому, когда желудочек сокращается и давление крови прижимает лопасти клапанов к предсердию, эти сухожильные нити выдерживают напор крови. Если только сердечный клапан не поврежден или отверстие не расширено, то кровь совершенно не может проникнуть в предсердие, в котором тем временем собирается новое количество крови из вен. Было уже указано, что сердечные клапаны вследствие болезни иногда отказываются служить. Точно так же сердечные мускулы вследствие болезни или переутомления могут измениться и ослабеть. Саморегулирующая деятельность сердца не в состоянии всего этого исправить; зато

изнашивание, обусловленное регулярной работой при нормальных условиях постоянно восстанавливается саморегулирующим механизмом сердца. В этом отношении оно превосходит все, даже самые искусные механизмы, построенные рукой человека. 


#### 4. Жевание желудком

Всем известно, как важно для равномерного пищеварения в желудке и кишках, а следовательно, и для нашего самочувствия, измельчение пищи посредством зубов.

Наш желудок не так устроен, чтобы он мог восполнить те недостатки, которые мы допускаем при пережевывании пищи. Поэтому-то наша современная зубоврачебная наука употребляет так много стараний, чтобы сохранить человеческие зубы.

Тем более поражает нас, что между позвоночными животными встречаются многочисленные виды, которые не имеют настоящих зубов, к ним принадлежат птицы.

Так как они тоже принимают пищу, требующую основательного размягчения, как, например, голуби, которые проглатывают горох, зерна кукурузы и пр., то надо предполагать, что у этих существ этот недостаток восполнен иным образом. В действительности это так и есть, и процесс жевания происходит у них совершенно особенным образом. Рассмотрим для примера курицу (рис. 64).

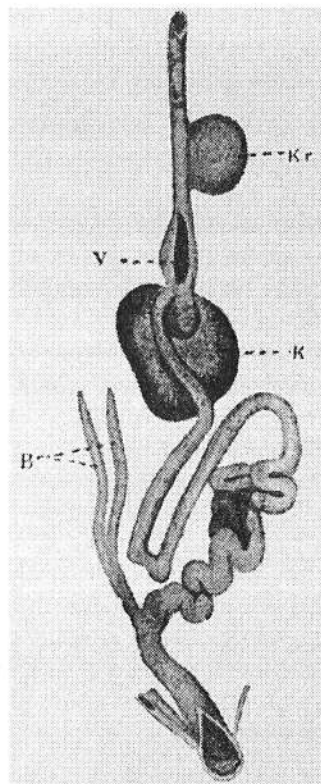
 Как известно, у большинства птиц в пищевод есть расширение, которое называется зобом и которое у зерноядных, как у голубей и кур, служит для размягчения зерен.

Таким образом размягченные уже плоды и семена попадают в передний или так называемый железистый желудок, который получил свое название от кишечнообразных желез, которые помещаются внутри его стенок, и смачивают пищу пищеварительным соком.

Подготовленная таким образом пища поступает наконец в жевательный или мускулистый желудок; он имеет очень толстые стенки, которые состоят из мышечных волокон. Эти волокна внутри слоены. Благодаря стягиванию и растягиванию мышечных волокон, размягченные зерна, двигаясь, постепенно перетирают друг друга.

В желудке для пищеварения часто находят значительное количество песка и маленьких камней, которые, конечно, не случайно туда попали.

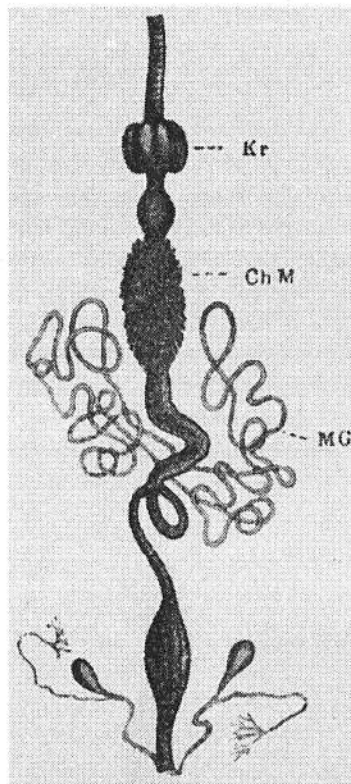
Эти твердые тела сильно помогают размельчению пищи. Поразительно, что неоднократно находили в желудке страуса камни



**Рис. 64.** Пищеварительные органы курицы: *Kr* — зуб, *V* — передний желудок, *K* — мускулистый (жевательный) желудок, *B* — слепая кишка

и другие твердые тела, как монеты, черепки, если, конечно, он находился в зоологическом саду, где имел возможность их найти. Вес таких неудобоваримых предметов в желудке страуса доходит иногда до нескольких килограммов. Поразительно и то, что древние, вымершие птицы имели в клюве зубы. ◀

Здесь мы не имеем в виду древних птиц, найденных в шиферных отложениях в Золенгофе (*Archalapteryx*) и представляющих собою птицеобразных оперенных пресмыкающихся, а главным образом тех птиц с зубами, остатки костей которых часто находят в каменных породах одного возраста с мелом.



**Рис. 65.** Кишечный канал жулици: *Kr* — зуб, *ChM* — печеночный желудок, *MG* — Мальпигиевы сосуды

Подобно тому, как мы предполагаем, что предки наших лошадей имели больше чем один палец на ноге, из которых все, кроме одного, постепенно изменяясь, исчезали, точно так же весьма вероятно, что и наши теперешние лишенные зубов птицы происходят от птиц с зубами, которые постепенно с тысячелетиями их потеряли.

Мы не сделаем большой натяжки, если скажем, что многим зерноядным птицам удалось приобрести вместо настоящих зубов в клюве искусственные в форме камней и песка в желудке. Этот странный пережевывающий аппарат птиц повторяется у некоторых других пород, совершенно чуждых позвоночным животным, как, например, у суставных животных — именно у насекомых и раков.

Так, например, речной рак и все его родственники имеют сильно развитый желудок для жевания; подобный же мы находим у водяных жулици (рис. 65), у хрущей, у короедов, кузнечиков, медведек и у обыкновенных других насекомых.

Наружный вид этого желудка напоминает простой отек между зубом и печеночным желудком, в котором находятся кишечные железы.

Внутри его мускулистая стенка покрыта кожей из рогового вещества (*Chitin*), на которой нередко находятся тысячи зубов, колючек и пр.

Если мы вспомним, что суставные животные принадлежат к гораздо более древней группе, чем птицы, и что они, вероятно, имели такое устройство желудка и в прежние времена, то хотя желудок птиц и кажется нам странным, мы можем все-таки сказать: «Все это существовало и раньше».

В организации суставных животных есть еще много странных явлений, которые в некотором смысле можно назвать парадоксальными. Так, например, многоножки (сколопендры) кусают свою добычу первой парой ножек и убивают ее при помощи яда, который они впускают в образовавшуюся рану.

Полевые кузнечики стрекочут ножками, благодаря тому, что они сильно трут их о покровы крылышек, а луговые кузнечики, для этой же цели, трут покровы крылышек друг о друга.

Еще о луговых кузнечиках можно сказать, что они слышат ножками, потому что у них орган слуха помещен у первой пары ножек; а между тем у полевого кузнечика и саранчи на каждой стороне первых задних брюшных сегментов находится по одному уху.


Тот, кто интересуется подобными поразительными приспособлениями, может найти в мире насекомых неисчерпаемый материал.

Причина, что нам так многое у них кажется странным, без сомнения, лежит в совершенно иной конструкции их тела. Так как наше тело построено по плану позвоночных животных, то сталкиваясь с жизнью низших животных, особенно насекомых, мы невольно испытываем чувство, похожее на то, когда мы в первый раз попадаем в далекую страну, с совершенно новыми и далекими для нас нравами, обычаями и с иными представлениями о жизни.

## Глава 2

### Глаз и зрение


#### 1. Слепое пятно на здоровом мозгу

 Закройте левый глаз (положив, например, на него левую руку) и смотрите пристально правым глазом на букву *R* на рис. 66. При этом можно легко видеть и букву *L* на другой стороне чертежа несколько не изменяя направления зрения. Держите теперь рисунок приблизительно на расстоянии 25 сантиметров от глаза и медленно приближайте его к глазу.

*R**L*

Рис. 66. Для наблюдения слепого пятна в человеческом глазу

На расстоянии около 15 см буква *L* делается невидимой. Еще за мгновение до этого она была видна сбоку, хотя взгляд и не был на нее направлен; теперь же она делается видной только в том случае, если отвести глаз от буквы *R*. Но если, не делая этого, продолжать приближать чертеж к глазу, буква *L* делается снова видимой.

Будем теперь поступать в обратном порядке; поднесем чертеж настолько близко к глазу, чтобы еще можно было легко различать буквы, и станем смотреть правым глазом на *R*. Буква *L* будет также видна, хотя мы и не будем смотреть на нее. После удаления чертежа на 15 см от глаза буква *L* опять становится невидимой; при дальнейшем удалении она снова появляется. Тот же опыт можно проделать и левым глазом, прикрыв правый глаз правой рукой и держа бумагу в левой руке; при этом взгляд должен быть обращен на букву *L*. 

Чем же объясняется это замечательное явление? Для пояснения его может служить рис. 67. Круг представляет горизонтальный разрез правого глаза. Ось правого глаза направлена на букву *R*.



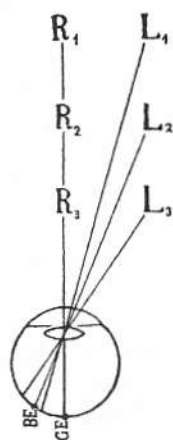


Рис. 67

Свет, идущий от  $R$ , пройдя зрачок и хрусталик, попадает на сетчатую оболочку (Retina) в так называемое «желтое пятно» ( $GF$ ).

Это желтое пятно, и в особенности небольшое углубление на середине его, наиболее чувствительно к свету и дает самые отчетливые изображения предметов. Поэтому мы непроизвольно поворачиваем глаза таким образом, чтобы изображение предмета, который мы желаем подробно рассмотреть, образовалось на желтом пятне. Это называется «фиксировать» предмет. Но и другие части сетчатой оболочки чувствительны к свету, хотя и не в такой же степени. Поэтому свет, идущий от находящихся сбоку предметов, дает изображения, хотя и менее ясные. Таким образом, мы видим также предметы, лежащие вне главного направления, по которому мы смотрим. Но если бумагу с буквами постепенно приближать к глазу так, чтобы буквы занимали последовательно положения 1, 2 и 3, то ясно, что изображения  $L$  возникнут на трех различных местах сетчатой оболочки, если ось глаза будет по-прежнему направлена на  $R$ .

Положим теперь, что когда бумага занимает положение 2, буква  $L$  становится невидимой; из этого следует, что на сетчатке в месте  $BF$ , где теперь собираются световые лучи от буквы  $L$ , находится место, не чувствительное к свету. Это заключение неизбежно, так как, пройдя через хрусталик, лучи дают изображение предмета по известным физическим законам. Если же мы не видим этого изображения, то это может быть объяснено только тем, что в глазе здесь находится слепое пятно.

Существование слепого пятна объясняется строением глаза. Слепое пятно есть место, где в глаз входит зрительный нерв. Здесь нерв распадается на бесчисленные волокна, которые оканчиваются особыми чувствительными органами (палочками и колбочками), образуя вместе с ними «сетчатую оболочку». Сам нерв этих аппаратов не содержит, даже в месте своего вступления в глаз, и вследствие этого он нечувствителен к световым раздражениям точно так же, как телефонные сообщения воспринимаются не в том месте, где проволока входит в телефонную трубку, а только там, где находится особый специально для этой цели приспособленный аппарат.

## 2. Двойное зрение

Усядемся поудобнее, и станем фиксировать ручку двери, циферблат часов или другой ясно очерченный предмет средней величины на противоположной стене. Если желают взять предмет вне дома, то таковым может быть всякий хорошо выделяющийся предмет, как, например, шест от флага, фабричная труба или церковная колокольня. Фиксируя спокойно неподвижно ручку двери, поднимем до высоты глаза указательный палец, держа его по направлению кверху. Ручка двери будет ясно видна, но по обеим сторонам ручки мы увидим, хотя и менее ясно, по одному пальцу. Теперь будем смотреть пристально на палец, удаленный от глаза на расстоянии 15–25 см. Мы ясно будем видеть палец. Менее ясно, но достаточно ясно мы увидим с обеих сторон пальца по одной ручке.

Объясняется это следующим образом. В последнем разделе мы видели, что углубление в желтом пятне, лежащее посреди сетчатой оболочки на задней стенке глаза, является наиболее чувствительным к свету местом. Вследствие этого прямая линия, соединяющая это пятно с центром хрусталика, т. е. «ось глаза», является направлением наиболее ясного зрения. Если мы желаем видеть отчетливо какой-либо предмет обоими глазами, то каждый глаз должен быть повернут таким образом, чтобы обе оси глаз были направлены на этот предмет. Если предмет находится на определенном расстоянии, то оси образуют определенный угол.

На рис. 68  $R$  представляет правый,  $L$  — левый глаз, если рассматривать их сверху. Оба глаза направлены на предмет  $P$  и, хотя в каждом из них получается отдельное изображение предмета, устройство мозга таково, что мы видим только один предмет. Это объясняется тем, что оба изображения возникают на соответствующих местах сетчатой оболочки, а именно: каждое на желтом пятне. Если возле  $P$  находится другой предмет  $S_1$ , то глаза приблизи-



Рис. 68. К объяснению двойного зрения

тельно «направлены» правильно и для этого предмета, так как угол  $LS_1R$  приблизительно равен углу  $LPR$ . Поэтому, если фиксировать  $P$ , то оба изображения  $S$  тоже возникают на соответствующих местах сетчатой оболочки обоих глаз, а именно слева от желтого пятна. Иначе обстоит дело с предметом  $S_2$ . Угол  $LS_2R$  гораздо больше угла  $LPR$ ; поэтому, если глаза направлены на  $P$ , то они не направлены на  $S_2$ . Если фиксировать  $P$ , то оба изображения  $S_2$  не возникают на соответствующих местах сетчатой оболочки, но одно является слева, а другое справа от желтого пятна. Поэтому мозг воспринимает  $P$  и  $S_1$  как один предмет, а  $S_2$  как двойной.

Если, наоборот, направить глаза на  $S_2$ , то ясно, что теперь оба изображения  $P$  или  $S_1$  появятся не на соответствующих местах сетчатой оболочки, и поэтому в мозгу возникнут восприятия как бы от двух различных предметов. Пусть  $P$  — ручка двери, а  $S_2$  — палец, и вышеописанное явление находит себе объяснение.

Вообще говоря, двойное зрение возникает всегда в том случае, если оси глаз направлены на далекий предмет, а внимание обращается на более близкий предмет, или если оси глаз установлены на близкий предмет, а более далекий предмет привлекает наше внимание. Тот предмет, на который мы обращаем свое внимание, покажется удвоенным. Нет даже необходимости точно фиксировать определенный предмет, чтобы другой показался удвоенным.

Многим легко удается намеренно избежать правильной установки глаз для какого-либо предмета, и они видят его удвоенным. Но такой случай бывает и *ненамеренно*. Злоупотребление алкогольными напитками, нарушая правильное функционирование мозга и всей нервной системы, вызывает также неправильности в деятельности мускулов, находящихся в зависимости от нервов. Это явление всем известно; стоит лишь вспомнить о некоординированных движениях пьяного. Мускулы глаза очень легко поражаются алкогольным ядом. Вследствие этого при «неумеренном» потреб-

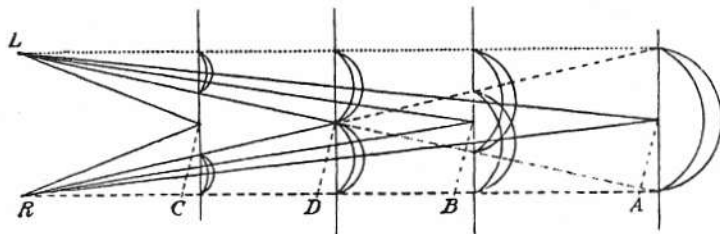


Рис. 69

лении алкоголя правильная установка осей глаз становится затруднительной, и наступает явление двойного зрения.

Рис. 69 показывает, как при неправильной установке осей глаз на точки  $B$ ,  $D$  и  $C$  лунный серп  $A$  должен представляться удвоенным,  $L$  и  $R$  обозначают правый и левый глаз.

Оба изображения предмета либо кажутся отдельными друг от друга ( $C$ ), либо они соприкасаются ( $D$ ), либо частью покрывают одно другое ( $B$ ).

### 3. Можно ли видеть через руку

Возьмите в левую руку свернутую из бумаги трубку, держите ее перед левым глазом и смотрите через нее на светлый отдаленный предмет, например на картину на противоположной стене. Держите ладонь правой руки перед правым глазом, так чтобы край ладони касался стенки трубки. Обе руки должны находиться приблизительно на расстоянии 15–20 см от глаза. Казалось бы, что при этих условиях трудно видеть правым глазом; между тем наблюдатель замечает, что он глядит сквозь отверстие в правой руке, и при этом видит упомянутую картину. Отверстие находится приблизительно на том месте, где на рис. 70 находится круг.

Это замечательное явление основывается на свойственной нам привычке, в силу которой мы всегда обращаем внимание только на некоторые определенные предметы и мало замечаем все остальные.

Мы можем отличать три таких случая, в которых мы не замечаем видимых вещей.

Если мы желаем, например, отчетливо разглядеть предмет, мы направляем на него обе оси глаз таким образом, чтобы в каждом глазу появилось изображение посреди его поля зрения. При этом мы не обращаем внимания на предметы, лежащие вне средней линии зрения. Если мы смотрим пристально на картину, висющую на противоположной стене, то мы часто совершенно не замечаем действия лица, находящегося на расстоянии 2 метров от нее, если наше внимание всецело поглощено картиной.

Во-вторых, мы можем не замечать вещей, которые не находятся на надлежащем расстоянии для того, чтобы быть ясно видимыми. Мы можем установить наш глаз на предмет, который мы

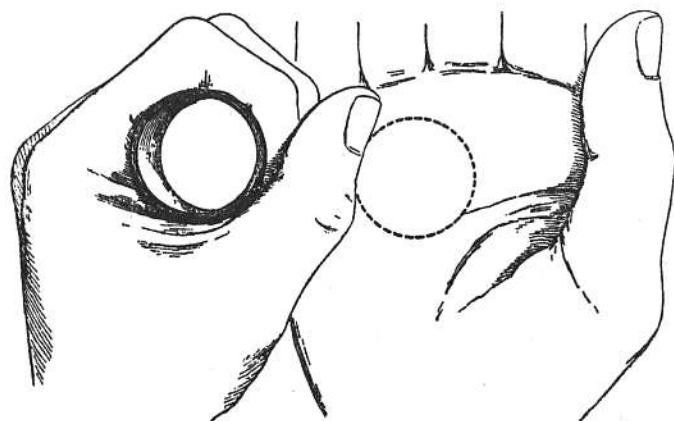


Рис. 70. Как можно видеть через отверстие в руке

желаем видеть, так же точно, как фотографическую камеру или подзорную трубу. Мы делаем это, изменяя с помощью известных мускулов форму хрусталика. Если хрусталик установлен на определенный предмет, то другие предметы, находящиеся впереди или позади него, становятся неясными, вследствие чего на них меньше обращается внимания. Если бы мы этого не делали, то, как показывает опыт, приведенный в предыдущем разделе, мы жили бы в «двойственном» мире.

Если, наконец, только один глаз может видеть предмет, возбуждающий интерес, то мы не обращаем внимания на вещи, которые в это же время видны другому глазу.

Солдат может легко научиться смотреть на мишень правым глазом, не закрывая ни на мгновение левый. На то, что он видит в это время левым глазом, он не обращает внимания. Так же дело происходит и в вышеописанном опыте.

Левый глаз видит через трубку освещенную стену. Там он видит предмет, возбуждающий интерес, и поэтому хрусталик произвольно устанавливается на стену. Но при этом у нормального человека приспособление (аккомодация) одного хрусталика не может произойти без того, чтобы и второй хрусталик не испытал такого же приспособления. Поэтому правый хрусталик также устанавливается на далекое расстояние.

Мы получаем следующий результат. Левый глаз получает отчетливое изображение только той части стены, которая ограничена

бумажной трубкой, но неясно видит внутренность трубки, для которой хрусталик не приспособлен. Кроме того, внутренность трубки не в состоянии обратить на себя внимание какой-либо необычной формой. На внутренность трубки поэтому не обращается внимания, но вместо этого яснее выступает то, что видно правому глазу, т. е. неясный облик руки, бросающийся в глаза благодаря своей форме. Коротко говоря: левым глазом мы ясно видим часть стены, правым неясно видим руку. При соединении обоих изображений в одно, мозг не обращает внимания на ту часть руки, которой в другом глазе соответствует круглое изображение стены. Таким образом, мы получаем такое впечатление, как если бы соответствующая часть стены была видна через отверстие в правой руке.

На часть правой руки, которая соответствует круглому отверстию, мы только не обращаем внимания, хотя и видим ее: это легко показать, если возбудить внимание таким же приблизительно образом, как это делали дамы посредством мушек. Поместите маленький кусочек белой бумаги на том месте правой руки, где должно появиться отверстие. Тогда эта бумага делается видимой, и при внимательном наблюдении, если по-прежнему фиксировать стену, можно даже различить несколько линий на руке.

Подобным же образом делается заметной надпись и т. п. на внутренней стороне бумажной трубки, если только мы позаботимся, чтобы внутрь ее проникало через отверстие достаточно света.

#### 4. Синий и желтый цвета не дают при смешении зеленого

Те, которые в детстве играли ящиком красок, — а кто этого не делал? — скоро узнавали, что пропавшую зеленую краску можно заменить смешением синей и желтой красок; точно так же пурпуровый цвет можно получить смешением синего и розового цветов, а оранжевый соединением красного и желтого.

Если спросить, какой цвет получится, если свет лампы пропустить сначала через желтое стекло, а затем через синее, то многие ответят, если только они не подозревают, что их хотят уличить в заблуждении, что мы увидим все в зеленом свете. Оказывается, что они ошибаются.

Прежде всего необходимо знать, что белый дневной свет состоит из лучей различных цветов. Это обнаруживается, если разложить белый свет на его составные части. Каждая капля росы или дождя,



преломившая солнечный луч, посылает в наш глаз вместо белого света целый ряд цветных лучей, если смотреть на нее в определенном направлении. Подобное же разложение мы будем наблюдать, если белый свет пропустить, например, через призматический кусок стекла. Возникающие таким образом «цвета радуги» могут быть снова соединены в белый свет.


Желтое стекло кажется нам желтым по двум причинам. Во-первых, оно пропускает только желтые лучи из падающего на него белого света, и во-вторых, *оно задерживает все остальные лучи.*


Вторая причина столь же важна, как и первая. Точно так же синее стекло является синим не только потому, что оно пропускает синие лучи, но и потому, что оно задерживает все остальные. Если пропустить белый свет через желтое стекло и потом через синее, то на синее стекло упадут лишь желтые лучи, но эти лучи задерживаются синим стеклом. Следовательно, вообще никакие лучи через оба стекла не пройдут.

Другими словами, свет, находящийся позади синего и желтого стекол, окажется невидимым, если цвета чисты и достаточно густы. В результате получается почти темнота, к большому удивлению всех, кто ожидает увидеть зеленый цвет.

Если же эти краски не чисто спектральные, то может случиться, что кажущееся нашему глазу желтое стекло пропускает кроме желтых лучей еще синие, а синее стекло кроме синих также и желтые лучи, но в меньшем количестве. Тогда в результате все-таки может получиться зеленый цвет (сравни химические парадоксы, ч. 2, гл. 2, разд. 2).

## 5. Каким образом можно смотреть на один цвет и видеть другой?

 Возьмите с полки книгу в светлом переплете яркого цвета, например, светло-красного. Если на ней есть буквы, смотрите на какую-нибудь точку, где перекрещиваются две линии. Если на ней нет надписи или какого-либо украшения, то сделайте на поверхности ее маленький знак. Держите голову и книгу неподвижно и смотрите пристально на выбранную точку в течение минуты или хотя бы полминуты. Но в течение этого времени нельзя отводить глаз от намеченной точки и смотреть в какое-либо другое место. Это стремление сохранить одно и то же направление взгляда противоречит нашим естественным наклонностям и требует усилия воли.

Спустя приблизительно полминуты посмотрите на большую, совершенно белую поверхность. Вы увидите изображение того предмета, на который только что смотрели, но не в его естественном цвете. Цвет будет дополнительным к первоначальному, т. е. это будет тот цвет, который вместе с первоначальным дает белый цвет. Если книга светло-красного цвета, то мы увидим зеленое изображение ее, и наоборот. Дополнительным цветом для желтого цвета является синий, а для синего — желтый. Чем же объясняются эти «контрастные» цвета? 

Чувствительные к свету нервные окончания, так же как и нервы, могут устать. В справедливости этого мы можем легко убедиться на каждом шагу. Если, например, сетчатая оболочка совершенно отдохнула в темном помещении или при закрытых глазах, то внезапно представляющийся глазу источник света покажется часто ослепительным и во всяком случае значительно ярче, чем в том случае, когда сетчатая оболочка уже испытала продолжительное световое раздражение, когда она, следовательно, утомлена или, как говорят, когда она привыкла к свету. Белый свет, как мы знаем, состоит из цветных лучей и поэтому может быть разложен на свои составные части. Если сетчатая оболочка утомлена известными цветами и не воспринимает их, то это не значит, что она нечувствительна к остальным лучам, которые вместе с первыми дают белый свет, т. е. к дополнительным цветам.

Таким образом, белый свет, падающий на утомленную к восприятию зеленого цвета часть сетчатки, вызывает впечатление красного цвета, и наоборот. То же самое верно и для остальных дополнительных цветов.

Опыт можно сделать еще следующим образом: после фиксирования цветного предмета глаза закрывают; через веки все-таки проходит еще такое количество света, которого достаточно, чтобы нервные окончания испытывали световое раздражение; или, если этого нет, то все-таки еще продолжается действие белого дневного света или света лампы, который только что падал на сетчатую оболочку. Поэтому и в этом случае мы увидим изображение предмета в дополнительном цвете.

## Глава 3

## Глаза в качестве лжесвидетелей

## 1. Противоположные движения могут казаться одинаковыми

Весьма большую часть того, что мы, по нашему мнению, видим, мы видим отнюдь не глазами. Очень часто то, что мы считаем виденным, есть лишь результата суждения, полученного из нашего опыта. Этим объясняется тот общеизвестный факт, что честные свидетели какого-либо происшествия часто изображают виденное или совершенно различным, или иногда даже противоположным образом.

Представим себе в некотором отдалении ветряную мельницу. Ночь темна, позади наблюдателя не видно никакого света, позади мельницы темное небо. Отдельные предметы не видны. Заметны только большие массы, и то без теней, которые позволяли бы заключать о форме предметов. Видимая при таких условиях мельница представлена на рис. 71 а.

Относительно движения крыльев можно только различить, что они поднимаются слева и опускаются справа, как это показано

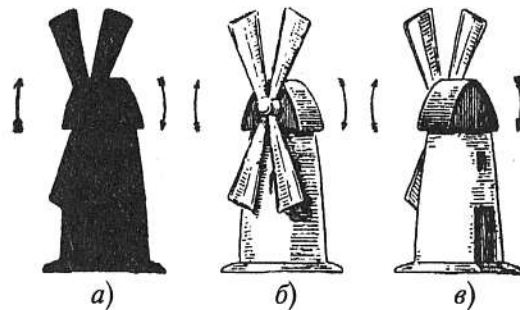


Рис. 71. Дополнение зрительных впечатлений с помощью рассудка

стрелками. Концы их описывают эллипс, а не окружность. Это показывает, что их плоскость вращения не перпендикулярна к направлению, по которому зритель смотрит, но он не может решить, ближе ли к нему правая сторона или левая. Судя по тому, что наблюдатель видит на рис. 71 а, совершенно нельзя сказать, находится ли мельница в положении, показанном на рис. 71 б или на рис. 71 в. Но разум не ограничивается показаниями чувств. Он делает свои построения далее, руководствуясь бессознательным размышлением и инстинктивными суждениями, которые образовались из предшествующего опыта. Быть может, например, в этой местности все мельницы строятся таким образом, что крылья их вращаются в одинаковом направлении. Допустим, что когда наблюдатель обращен спиной к ветру, крылья вращаются по направлению часовой стрелки. В этом случае мельник, замечая, что ветер дует справа налево, при виде мельницы будет уверен, что перед ним передняя сторона крыльев и что мельница стоит, как показано на рис. 71 б, так как только в этом положении ветер может вращать ее крылья по направлению часовой стрелки.

Но мельник, который знает, что именно эти крылья построены *противоположно* общему правилу и, следовательно, вращаются справа налево, если смотреть на них, повернувшись спиной к ветру, — такой мельник при первом взгляде на картину, изображенную на рис. 71 а, решит, что единственно возможное положение мельницы есть изображенное на рис. 71 в, если только ветер дует слева. Таким образом, 2 свидетеля, оба одинаково компетентные, могут составить себе совершенно противоположное впечатление об одной и той же вещи, которую они оба видят одновременно с одного и того же места. У несведущих наблюдателей зависит от случая, будут ли они думать, что явлению, изображенному на рис. 71 а, соответствует расположение, показанное на рис. 71 б или на рис. 71 в. Но если они в одном случае признают какое-либо из этих двух расположений истинным, то оно так сильно запечатлется, что большинство впоследствии окажется совершенно неспособным увидеть в изображении рис. 71 а другое расположение. Первое впечатление оставляет такое же убеждение, как настоящее знание, и эти люди часто вполне искренно сообщают сведения, которые, однако, оказываются совершенно ложными.

Подобное же явление мы наблюдаем, следя за маленькой лодкой на далеком горизонте вечером после заката солнца. Рис. 72 дает нам представление о расстоянии и о незначительной величине

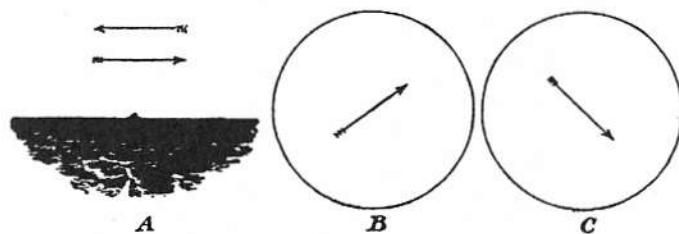


Рис. 72. Ложное толкование недостаточно полных зрительных впечатлений

предмета. Лодка находится слишком далеко и слишком слабо освещена, чтобы мы могли различить положение паруса или направление самой лодки. Но после нескольких минут наблюдения мы видим, что лодка движется в направлении нижней стрелки. Так как ветер дует в направлении верхней стрелки, то ясно, что лодка движется в косом направлении, но в каком именно нельзя решить. С птичьего полета, например с воздушного шара, который находился бы над этой частью моря, можно было бы, конечно, увидеть, движется ли лодка в направлении *В* или *С*; при наблюдении со стороны решение невозможно. Здесь снова приходится принять в соображение влияние предшествующего опыта и бессознательно-го суждения.

Рыбак, который случайно заметил лодку на горизонте и может только видеть, что она движется направо против ветра, но знакомый с обычными приемами местных рыбаков, скажет не задумываясь: «Вот возвращается в гавань первый катер рыбацкой флотилии». Он будет инстинктивно чувствовать, что лодка идет в направлении *С* и будет готов засвидетельствовать, что он видел, как судно двигалось к берегу. Но постоянный житель гавани, знающий, что в данное время еще нельзя ожидать возвращения судов, и знающий к тому же, что одно судно ушло по направлению к западу настолько времени раньше, что теперь могло достигнуть наблюдаемого пункта, будет уверять, что он видел судно, которое удалялось от берега в направлении *В*.

Таким образом, может случиться, что два честных и, по-видимому, одинаково компетентных наблюдателя, видевшие в одно и то же время одни и те же движения лодки, будут потом совершенно добросовестно утверждать — один, что лодка направлялась к гавани, а другой — что она от нее удалялась.

## 2. Параллельные линии, которые кажутся не параллельными, и линии, кажущиеся параллельными, но которые не параллельны

Если облака расположены на небе в виде полос, то замечалось, что на горизонте все линии облаков как бы сходятся в одной точке, как это видно на рис. 73. А если все небо покрыто такими полосами облаков, и наблюдатель повернется кругом, то ему покажется, что эти линии сходятся и в другой точке неба, которая противоположна первой. Это явление, однако, не часто приходится наблюдать. Иногда же облака не расположены по прямым линиям и имеют округленный вид. Но и эти неправильные облака при внимательном рассмотрении можно расположить в ряды и линии, а если потом эти линии облаков исследовать, то становятся заметными две противоположные точки, где они сходятся.



Рис. 73. Кажущаяся сходимость облаков к горизонту

Когда такое расположение облаков видно достаточно ясно, то у наблюдателя не остается никакого сомнения в том, что все линии облаков сходятся. Но несмотря на все это, здесь мы имеем дело только с одним из обманов чувств. В действительности линии не сходятся, так как они параллельны. Когда мы рассматриваем какие-нибудь очень длинные прямые линии, параллельные между собой, то они нам кажутся сходящимися в наиболее удаленной от нас точке. Когда мы смотрим, например, вдоль внутренности туннеля (рис. 74 а), или же рассматриваем железнодорожные рельсы (рис. 75), то кажется, что рельсы и линии туннеля, о которых

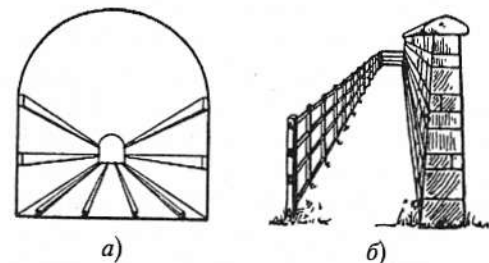


Рис. 74. Примеры к закону перспективы



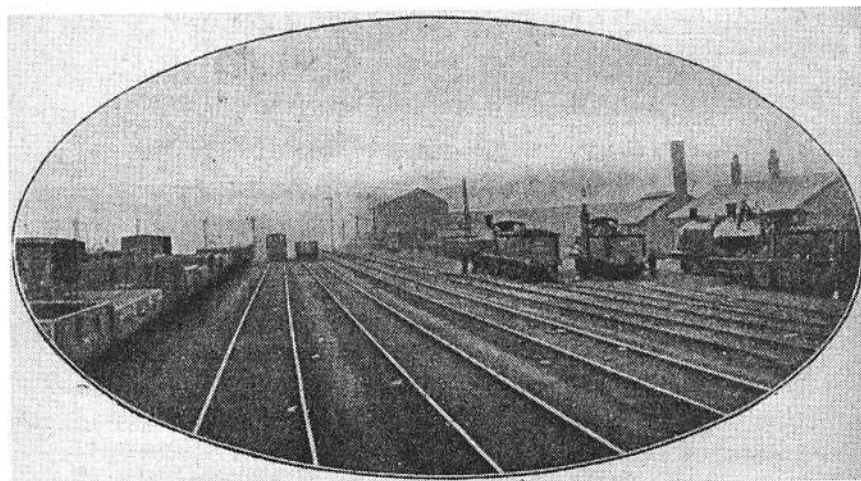


Рис. 75. Железнодорожные рельсы в перспективе

мы знаем, что они параллельны друг другу, почти совсем сходятся в конце. Или же, если мы смотрим вдоль прямой дороги, которая ограничена, например, с одной стороны решеткой, а с другой стеной (рис. 74 б), то мы заметим подобное же явление. Это всем известный факт, являющийся одним из законов перспективы.

Более подробное исследование и объяснение всех подробностей завело бы нас слишком далеко. Поэтому здесь мы ограничимся лишь замечанием, что всякий отрезок кажется нам тем короче, чем меньше угол зрения, под которым мы его видим, т. е. чем дальше он находится от наблюдателя. Под углом зрения понимают угол, который образуется прямыми линиями, идущими из глаз к крайним точкам отрезка. И поэтому расстояние между двумя параллельными прямыми тем меньше, чем больше они удаляются от нас. Закону перспективы, который так часто наблюдается нами на аллеях, колоннадах, и во многих других случаях, также подчинены и ряды облаков. Даже если линии облаков, гонимых ветром, представляют в действительности части концентрических кругов, или расходящихся радиусов, то эти круги такой огромной величины, и части линий облаков относительно так малы, что на практике их нельзя отличить от линий действительно прямых и параллельных.

Например, вполне вероятно, что двигаясь в туманную пасмурную погоду вдоль ограды, идущей вокруг манежа, мы думаем, что идем по прямому пути. Также может случиться, что два человека,

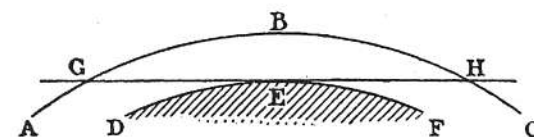


Рис. 76. Шарообразная форма небесного свода

удаляющиеся от ограды по прямым, к ней перпендикулярным и расположенным на небольшом расстоянии друг от друга, уверены, что их дороги параллельны, между тем как фактически они сходятся в центре.

Параллельные линии, подчиненные закону перспективы, кажутся тем ближе друг к другу, чем они дальше удалены от нас. Наиболее близко они лежат к нам над нашей головой. И поэтому здесь производят впечатление параллельных. А по мере удаления они как бы сближаются впереди и позади нас. А вблизи горизонта даже кажется, что они сходятся в точке, лежащей ниже горизонта.

В случае облаков это впечатление еще усиливается тем фактом, что в действительности концы линий лежат ниже середины. Даже в том случае, если бы небо было плоским, по закону перспективы линии облаков казались бы ближе к горизонту, чем их средняя часть к наблюдателю и поверхности земли. Но небесный свод ( $ABC$  на рис. 76) не является плоскостью, а представляет шаровую поверхность, концентричную с поверхностью земли  $DEF$ , которая пересекает горизонт по  $GEN$ . Благодаря тому, что наблюдателю  $E$  свод  $GBH$  кажется шарообразным, точки  $G$  и  $H$  кажутся ближе, чем точка  $B$ . Поэтому веерообразное расположение облаков кажется еще более поразительным.

### 3. Ложное суждение о высоте

При взгляде на какой-нибудь пейзаж мы часто получаем совершенно ложное впечатление о сравнительной высоте его отдельных частей. Велосипедисты, легко замечающие малейшие неровности почвы, часто замечают, что дорога, которая довольно круто подымалась перед ними, на самом деле горизонтальна, или даже немного отлога.

Но чаще приходится делать неприятное открытие, что часть дороги, по которой можно было надеяться на удобную езду, идет в гору.

Такого рода ошибки чаще обуславливаются суждением, чем глазом. Мы неверно истолковываем впечатления, вызываемые горизонтальной плоскостью, расположенной позади возвышенности, или спуском, сменяющим горизонтальную плоскость, или постепенным расширением или сужением дороги.

Заблуждение может быть вызвано и тем, что дорога вступает в полосу тени, или выступает из нее, или тем, что размеры деревьев, стоящих у дороги, кажутся нам больше или меньше, и многим другим.

Немногие, но общеизвестные примеры могут разъяснить это подробнее. Мы часто замечаем, что местность, которая с высокой горы кажется нам плоской, как стол, на самом деле немного волниста, иногда даже холмистая или гористая, имеет возвышенности и долины, высоко лежащие замки и глубокие ущелья, большие луга и реки между лесистыми местами. Неправильная картина возникла вследствие того, что мы находились на значительной высоте. Последняя сглаживала все неровности, и местность приняла уютно-плоский вид.

Если же мы будем с такой же высоты наблюдать более высокий холм, находящийся по другую сторону долины, то он нам покажется, как это ни странно, и круче, и выше, чем если бы мы смотрели на него снизу. Точно так же, когда мы смотрим на море с ближайшего холма, то оно кажется нам холмом или возвышенностью значительной величины, которая поднимается от берега. Таким образом, рассматривание ландшафта со значительной высоты иногда ведет к уменьшению холма вплоть до полного его исчезновения, иногда же к увеличению; иногда даже оно вызывает впечатление холма там, где его вовсе нет.

Эти противоречивые результаты наблюдений отчасти являются следствием того, что мы применяем и в исключительных случаях обычные нам суждения и определения, выработанные при обычных условиях.

Если место нашего наблюдения находится глубоко внизу, то легко отличить холмы от долин, потому что выше расположенные части закрывают вид на более низкие места, расположенные за ними. Если же место наблюдений находится очень высоко, то глаз лишен этого руководящего указания для суждения о высоте.

Он одинаково хорошо видит внизу под собой холмы и долины, а разница в высоте между более высокими и низкими частями незначительна в сравнении с их отдалением от глаза наблюдателя, что незаметно ускользает от него. В подобных случаях наблюдению

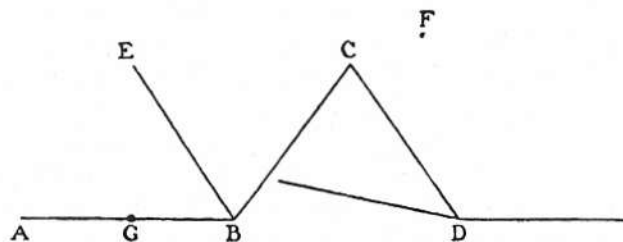


Рис. 77. К объяснению ложных представлений о склонах и высотах

недостает высот и глубин. Точно так же бывает и в тех случаях, когда высоты кажутся больше их действительной величины. Предположим что  $AB$  (рис. 77) представляет полосу ровной местности,  $BCD$  — холм. Привыкнув к горизонтальной плоскости, мы определяем крутизну и высоту холма по величине угла  $ABC$ . Если же вместо плоской поверхности  $AB$  перед нами возвышается холм со склоном  $BE$ , и мы смотрим с точки  $E$  на холм  $BCD$ , то основной линией является не  $AB$  а  $EB$ , и сторона противолежащего холма  $BC$  образует с основной линией угол  $EBC$ , который значительно меньше угла  $ABC$ . Хотя мы знаем, что основная линия  $EB$  не горизонтальна, как  $AB$ , все же в нашем уме так тесно переплелись представления о крутизне и высоте с определенными углами наклона, что линия  $BC$  нам кажется значительно круче, а вершина  $C$  значительно выше, чем прежде. И когда мы смотрим на море с возвышенности, расположенной на берегу, то мы по той же причине легко испытываем такое впечатление, как будто поверхность моря подымается перед нами в виде холма. Но холм, на который мы смотрим с противоположного холма, может нам казаться выше, чем он есть, еще по следующим двум причинам. Всякая возвышенность, если смотреть на нее с ее вершины, кажется нам выше, чем при рассматривании снизу. Мы гораздо чаще видим дерево, церковную башню или крутой холм снизу, чем сверху. Если же мы имеем возможность видеть башню с верхушки ее, то высота ее производит более сильное впечатление, и она кажется нам вследствие этого значительно больше. Поэтому холм, если смотреть на него с верхушки, также кажется нам выше, чем когда его рассматривают из долины, и противолежащий холм равной высоты вследствие этой причины тоже кажется выше.

Наконец, наблюдателю, находящемуся на противоположном холме, часто открываются более высокие части холма, которые

снизу не были видны. Обратившись еще раз к рис. 77, мы видим, что если холм  $BCD$  имеет вторую более высокую вершину  $F$ , то она не видна из пунктов  $B$  или  $G$  на уровне подошвы холма, так как склон  $C$  ее заслоняет. Если же взобраться на противоположный холм  $E$ , то ее можно увидеть. Таким образом, существуют различные причины, почему холм, рассматриваемый с противоположной возвышенности, кажется больше в то время, как маленькие холмы, рассматриваемые с высокой горы, как будто теряют свою высоту и их нельзя отличить от плоской поверхности.

#### 4. Кажущаяся непрерывность зрительных ощущений

Наш глаз легко замечает большие различия в строении тел и их поверхности. Губка, куча зерен, сахару или песку, все эти предметы заметно пористы, т. е. состоят из не совершенно сплошного вещества. Песчаник, кирпич, бумага не имеют таких пор. Но при ближайшем наблюдении можно заметить, что и они состоят из разрозненных отчасти частей, между которыми находятся пустые промежутки.

Многие другие вещества имеют совершенно другое строение. Поверхность кожи, ногтя, стекла или металлического предмета, кусок воска или свинца, — все эти тела кажутся сплошными и как будто не имеют пор. Однако более подробное наблюдение учит нас, что это впечатление ложно. Крыло бабочки или лепесток цветка, какими бы гладкими они ни казались глазу, все же построены из многих маленьких частей, подобно тому как дом сложен из кирпичей. Если рассматривать лепесток цветка под микроскопом, то мы найдем, что он выглядит, как изображено на рис. 78 а; круглые или округленные частички представляют собой отдельные окрашенные ячейки, между которыми находятся бесцветные стенки ячеек. Рис. 78 б показывает нам чешуйки крыла бабочки тоже в значительно увеличенном виде. В своем естественном положении на крыле они все укреплены в одном направлении, одна покрывает часть другой подобно черепицам крыши. То же явление можно показать на других телах и без помощи микроскопа. Поле в мае, которое на расстоянии километра кажется огромным блестящим смарагдом, в действительности состоит из миллионов отдельных былинки. В сентябре некоторые равнины нашего отечества издали кажутся одетыми в огромную

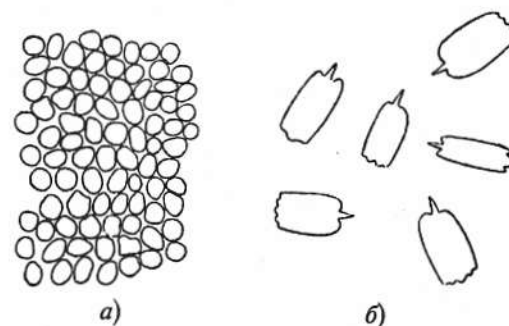


Рис. 78. Примеры кажущейся непрерывности

пурпурную мантию: в действительности это бесчисленные подернутые лучами солнечного заката цветы вереска, которые вводят нас в заблуждение своей несуществующей в действительности непрерывностью. Так мы постоянно должны быть настороже и не считать вещество сплошным потому только, что оно так выглядит. Дело заключается просто в том, что существует известный низший предел для величины возникающих в нашем глазу изображений; ниже этого предела они перестают вызывать в нашем мозгу отдельные впечатления. Если их много, то в совокупности они производят впечатление *непрерывности*, между тем как в действительности имеет место противоположное, т. е. прерывность.



## Уши в качестве ложных свидетелей

### 1. Чревовещание

Ухо не может определить, по какому направлению или в каком отдалении слышится звук. Оно может лишь воспринимать силу, высоту и тембр звука. Из этого мозг затем выводит свои заключения. Мы начнем со следующего опыта (рис. 79).

Кто-нибудь с завязанными глазами садится на стул. Двое других становятся по сторонам возле него. Один держит в руке две монеты, которыми может стучать. Он может воспользоваться также каким-нибудь другим предметом, которым можно произвести слабый шум. Шум производится в различных местах плоскости симметрии головы, и каждый раз сидящему задают вопрос относительно направления, в котором слышен шум. Чтобы устранить указания, которые могут быть даны шорохом, возникающим при движении членов и рукавов, второе лицо каждый раз двигает руку в другое место плоскости симметрии.

Сидящий действительно не имеет никакого обоснованного представления о месте возникновения звука. Он может иногда верно угадать, но в большинстве случаев он указывает не то место. Он часто

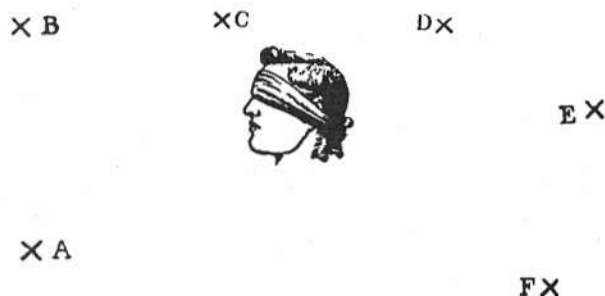




Рис. 79. Ложное суждение о направлении звука

укажет, что звук идет из *D*, между тем как он исходит из *A*, и отнесет к месту *C* звук, идущий из *F*. 

Кое-что относительно направления можно сказать, но не на основании одних только показаний уха. Воспринятые ухом звуки должны еще быть переработаны сознанием. Это случается иногда так скоро, что кажется скорее делом инстинкта, чем сознательной работы. Если, например, при описанном опыте шум производится немного в стороне от средней линии, то он слышится более ясно с этой стороны, и в этом случае лицо, подвергающееся опыту, вообще указывает сторону правильно. Когда мы далее хотим определить, в какой местности кричит кукушка, то мы путем ряда испытаний определяем то положение головы, при котором звук кажется одному уху наиболее ясным. Повернем голову, окажется что звук воспринимается теперь другим ухом более ясно. Мы заключаем отсюда, что звук возникает именно с этой стороны. Очевидно, что при этом ухо доставляет нам указания лишь относительно силы звука, а не направления его, а уже разум выводит дальнейшие заключения из положения головы и силы звука.

Точно так же ухо неспособно различать расстояние, на котором возникает звук. Следующие примеры могут это показать.

В большой комнате спали 2 человека; кровати их находились на расстоянии около 4 метров друг от друга. Среди ночной тишины один из них услышал слабый шум: казалось, что кто-то осторожно шел по усыпанной гравием дорожке, которая находилась под самым окном, на короткое время останавливался, как будто прислушиваясь или заглядывая в окно, и затем тихо шел дальше. Тогда он спросил своего друга, слышит ли тот, как кто-то крадется по дорожке, и после утвердительного ответа подошел к одному из окон, чтобы узнать, в чем дело. Но он ничего не увидел и не услышал, а поэтому лег обратно на кровать. То же самое повторилось второй раз, и притом с тем же результатом. Когда он услышал шум в третий раз, то подбежал к окну, быстро его открыл и, перегнувшись, стал звать незнакомца. Опять ничего нельзя было ни увидеть, ни услышать. После этого он закрыл окно и стал очень внимательно прислушиваться, пока шум не возник вновь. Тогда он открыл его причину; оказалось, что шум производила бабочка, которая билась крыльями в пространстве между занавесью и стеклом окна. Слабый звук в комнате так был похож на более сильный и отдаленный звук, что 2 человека, которые внимательно прислушивались, введены были этим в заблуждение. 

Не уши их обманули. Они сообщили лишь сведения относительно высоты звука, силы его и продолжительности, а разум вывел отсюда ложные заключения относительно направления и происхождения звука, потому что при данных обстоятельствах ему не доставало соответствующих наблюдений. Вот еще пример такого рода.

Каждому, кому приходилось провести время в августе в земледельческой местности, знаком громкий шум, который производит молотилка, шум этот легко распознается. Однажды этот шум послышался ясно среди тихой ночи, и при этом так громко, как если бы молотилка находилась на крестьянском дворе, расположенном на расстоянии приблизительно  $\frac{1}{2}$  километра; шум по временам прекращался, затем снова начинался, то усиливаясь, то ослабевая, как если бы направление и скорость звука изменялись благодаря ветру. Но в данном случае дело происходило в предместьи большого города, и ближайший крестьянский двор находился на расстоянии 2 километров позади нескольких холмов; молотилку нельзя было бы услышать на таком расстоянии. Притом было уже около полуночи, и никакая молотилка не могла в это время работать. Тщательное исследование показало, что шум был слышен в одних частях комнаты лучше, чем в других. Следуя этим указаниям, мы скоро нашли то место, где шум был особенно ясно слышен и сопровождался теми вторичными звуками, которые для него особенно характерны. В конце концов оказалось, что шум исходил из узкой щели между деревянной обшивкой окна и стеной, куда обвалилось немного штукатурки. Ветер дул через эту щель и колебал подвижной кусочек обшивки, который выступал над обшивкой. Он действовал, как язычок духового инструмента, и таким образом получались звуки, сила которых изменялась вместе с силой ветра.

Здесь опять ухо доставляло сведения относительно силы, высоты и тембра звука, разум же сперва строил на этих данных ложные заключения относительно происхождения звука. Обыкновенно образование суждения разумом непосредственно следует за восприятием звука ухом. Поэтому нам часто кажется, что мы не только слышим звук, но и знаем, откуда он происходит. Однако образование суждения отлично от восприятия звука ухом и при других условиях суждения также может оказаться совершенно иным. Этим обстоятельством пользуется и *чревовещатель*. Если кто-нибудь ходит по гребню крыши, то голос его внутри дома производит впечатление слабого шепота. По мере того, как он удаляется к краю здания, шепот все слабеет. Если мы сидим в какой-нибудь комнате дома, то

наше ухо ничего не может нам сказать относительно направления звука и расстояния говорящего лица. Но из изменения голоса наш разум выведет заключение, что говорящее лицо удаляется от нас. Если же самый голос скажет нам, что обладатель его движется по крыше, то мы легко поверим этому заявлению. Если бы, наконец, кто-либо стал разговаривать с лицом, которое находится снаружи, и получал бы осмысленные ответы, то иллюзия получилась бы полная.

Таковы условия, при которых работает чревовещатель. Когда очередь говорить доходит до человека на крыше, чревовещатель слабо бормочет, когда же очередь доходит до него, он говорит полным чистым голосом, чтобы оттенить контраст с другим голосом. Содержание его замечаний и замечаний его мнимого собеседника усиливает иллюзию. Единственным слабым пунктом в этом обмане могло бы оказаться то обстоятельство, что мнимый голос находящегося снаружи лица фактически исходит от человека на сцене, т. е. имеет ложное направление. Но так как ухо не указывает нам направления, а рассудок благодаря внушению имеет основания образовать ложное суждение, то обман удается полностью.

Здесь следует заметить, что название «чревовещатель» является неподходящим. Чревовещатель должен скрывать от своих слушателей тот факт, что, когда очередь дойдет до его мнимого партнера, он в действительности говорит сам. Для этой цели он пользуется различными уловками. При помощи всякого рода жестов он старается отвлечь внимание слушателей от себя. Склоняясь набок и держа руку у уха, как будто прислушиваясь, он стремится по возможности спрятать свои губы. Когда он не может спрятать своего лица, то старается делать лишь самые необходимые движения губами. Удивительно, как мало движений лица нужно искусному актеру. Этому помогает то обстоятельство, что часто требуется лишь неясный слабый шепот. Движения губ скрываются так хорошо, что некоторые люди думают, будто голос актера выходит откуда-то из глубины; отсюда название «чревовещатель».

## 2. Кажущаяся непрерывность слуховых впечатлений

Подобно тому как отдельные световые раздражения воспринимаются нами слитно, если они попадают на слишком близкие участки сетчатой оболочки или слишком быстро следуют друг за другом,

точно так же и слуховые впечатления по тем же основаниям очень часто ведут нас к ложным представлениям. Когда мы воспринимаем протяжный нежный звук, то получается такое впечатление, как если бы причина этого лежала в совершенно непрерывном раздражении нашего уха. Но фактически это не так.

Самый нежный звук обуславливается рядом воздушных волн, вызванных последовательными воздушными толчками. Удары эти вызываются в музыкальных инструментах какими-нибудь колеблющимися частями, например, в языковых трубах колеблющейся пластинкой, так называемым язычком. Число ударов, необходимое для возникновения звука, очень разнообразно; наиболее низкие музыкальные тоны вызываются 40 и наиболее высокие 4000 колебаний в секунду. Но мы можем еще воспринимать тоны с числом колебаний между 16 и 38 000 в секунду.

Можно было бы думать, что если звуки вызываются рядом последовательных толчков воздуха, то мы должны получать ряд отдельно следующих друг за другом впечатлений. При известных условиях так и есть на самом деле. Если человек говорит низким голосом и при этом прижимается спиной к стенке скамьи, то другое лицо, опирающееся на ту же скамью, чувствует колебания спинки. Можно также положить руку на грудь или на спину говорящего лица и предложить ему произнести какое-нибудь слово «басом». Когда мы пытаемся произносить басовые звуки, более низкие, чем самые низкие тоны музыкальной шкалы, то мы уже ухом начинаем различать отдельные колебания, которым эти звуки обязаны своим происхождением. Это и есть причина, почему шкала музыкальных тонов меньше шкалы слышимых звуков. Каким же образом колебания, имеющие определенную скорость, вызывают в нас не отдельные впечатления, а непрерывные звуки, причиной которых, как нам кажется, является некоторое равномерное непрерывное состояние? Это явление основано на том факте, что слуховые, как и зрительные впечатления не прекращаются в тот же момент, как и раздражение, или звуковая волна, а продолжают еще некоторое время. На этом основано, между прочим, действие синемаатографа; так как показываемые картины сменяются очень быстро, то в глазу сохраняется еще впечатление, вызванное одной картиной, в то время как другая картина, очень сходная с первой, уже вызывает следующее впечатление. Поэтому мы вовсе не замечаем смены картин и получается такое впечатление, как если бы постепенно изменялась одна и та же картина. То же имеет место и по отношению к звуку и слуху. Всякое слуховое впечатление


длится в течение известного времени, и пока оно еще сохраняется, возникает другое такого же рода, являющееся как бы продолжением первого. Таким образом ряд отдельных звуковых колебаний образует слитное звуковое ощущение — тон, конечно, в том случае, когда колебания достаточно быстро следуют одно за другим. Здесь мы опять имеем пример того, что наши чувства (без помощи искусственных орудий) непригодны в качестве орудий научного исследования. Если они не притупились под влиянием того, что мы называем цивилизацией, то они обыкновенно довольно ясно сообщают нам обо всем, что нам нужно знать в качестве существ, сходных с животными, но мы не можем полагаться на них, если мы желаем исследовать более глубокие причины явлений.




## Ощущение как ложный свидетель

### 1. Более теплое кажется более холодным

Тепло и холод являются понятиями, имеющими только относительный смысл, так как оба являются выразителями одного и того же состояния лишь в различной степени, это так называемые «относительные понятия». То же относится и к нашим ощущениям тепла и холода. Мы называем предмет теплым или холодным, смотря по тому, выше ли его температура или ниже, чем нормальная температура нашего тела ( $37^{\circ}\text{C}$ ). Но та часть тела, которой мы испытываем температуру, как например рука, сама может быть предварительно охлажденной или нагретой. А отсюда истекают поразительные обманы чувств.

 Наполним водой 4 сосуда. В одном (*A*) вода будет теплой, но все же не настолько, чтобы эта теплота оказалась неприятной для руки, а в другом сосуде (*B*) вода будет холодной, а в два последних сосуда (*C* и *D*) нальем смесь равных количеств воды из первых двух сосудов, так что температура ее будет средней между температурами воды этих сосудов. Теперь предложим кому-нибудь, не выдавшему всех этих приготовлений, опустить на минуту одну руку в *A*, а другую в *B*, а затем спросим, где вода теплее; конечно, при этом мы завяжем ему глаза, чтобы помешать видеть пары.

Разумеется, это лицо скажет, что вода в *A* теплее, чем в *B*. Теперь пусть это лицо, вынув руки, их немедленно погрузит в сосуды *C* и *D*. Тогда оно станет утверждать, что вода в *D* теплее, чем в *C*, если, конечно, это лицо не знает опыта и не захочет доставить себе удовольствия испортить его. А ошибка объясняется очень просто. Рука, которая погружена в воду *C*, сначала нагрелась в *A*, поэтому вода в *C* ей покажется прохладной или холодной. А рука, опущенная в воду *D*, предварительно охладились в воде *B*, и следовательно потому вода в *D* показалась ей теплее. 

Это противоречие легко сделать еще более поразительным, если налить теплой воды в сосуд *C* несколько больше, чем в *D*, так чтобы в первом вода была теплее, чем в последнем, разница в ощущении будет так велика, что вода в *C* покажется все-таки холоднее.

Еще более поразит того, кто продельывает этот опыт, если вместо двух сосудов *C* и *D* воспользоваться *одним сосудом* такой величины, чтобы данное лицо не заметило, что теперь только *один* сосуд. Затем, если мы снимем повязку с его глаз, в то еще время, как его руки опущены в сосуд, то он увидит, что его руки, которые, как он был уверен, были опущены в две различные массы воды, в действительности находятся в одном сосуде.

### 2. Боль в ноге после ее ампутации

Испытывать боль в органе, которого мы лишились, это кажется нелепым. И все же это вещь довольно обыкновенная.

Бывает также, что в существующем органе мы испытываем боль, для которой в этой части тела не существует никакой причины. Это может случиться во сне или у истеричных лиц. Явление это не менее удивительно, чем первое. Объяснение его заключается в следующем. Боль вообще никогда не сосредоточивается в том органе, к которому мы ее относим: она обуславливается процессом, происходящим в мозгу. Начинаясь от головного мозга идут в спинном мозгу внутри позвоночного столба нервные волокна; от них ответвляются группы волокон в различные части тела, подобно тому как от кабеля, идущего вдоль дороги, отделяется одна или несколько проводящих электричество проволок, которые направляются в города, деревни и отдельные дома. Какая-нибудь из этих проволок может быть перерезана в каком-нибудь месте, удаленном от конечного пункта, и если при помощи телефона, связанного с ее новым концом, в главное отделение поступит какое-нибудь заявление, то тот, кто получит его, будет думать, что оно идет от старого конечного пункта. То же самое происходит в разрезанном при ампутации нервном волокне. Всякое нервное волокно направляется к определенному месту органа или тела. Когда нерв перерезан, то и перерезано также каждое из его волокон. Во время процесса заживления или спустя некоторое время после него, когда стягивание рубца или что-нибудь другое раздражает волокна, получается такое же ощущение, как если бы волокна тянулись еще до своего

первоначального места назначения и там испытывали раздражение. Если, например, раздражаемые волокна раньше направлялись к большому пальцу правой ноги, то пациент может испытывать боль или зуд в этом члене, после того как правая нога уже ампутирована.

### 3. Моментальное повиновение невозможно

Нам часто приказывают сделать моментально то или другое. Буквальное исполнение этого приказа невозможно.

Сначала полученное приказание передается по нервам от уха или глаза в бюро центрального управления, т. е. в головной мозг. После регистрации этого сообщения в мозгу и установления связи его с другими предшествующими или одновременными событиями, мозг посылает приказ руке или ноге, которые должны выполнить необходимые движения, чтобы осуществить приказание. Это последнее приказание снова передается по нервам к месту своего назначения. При передаче сообщения нервы действуют приблизительно так же, как электрические провода. В одном только отношении нервы сильно отличаются от проводов, а именно в скорости, с которой они передают сообщение. Электрический ток движется по проволоке с такой скоростью, что он в состоянии обойти вокруг Земли несколько раз в течение одной секунды.

Для небольших расстояний действие тока, говоря практически, моментально. Скорость же передачи по нервам далеко не так велика. Найдено, что она составляет всего от 30 до 45 метров в секунду. Поэтому должно пройти время, поддающееся измерению, пока приказание передается ухом или глазом в головной мозг и затем возвратится от мозга в мускулы. Ввиду этого даже для самого послушного слуги теоретически невозможно моментальное послушание. К этому нужно прибавить, что практически существует еще большая разница между тем, призывает ли колокол к началу работы или к ее окончанию.

### 4. Кажущаяся непрерывность осязательных раздражений

Кожа на спине и на руках не различает осязательных раздражений одно от другого, если те точки, к которым прикасаются, удалены друг от друга не более пяти сантиметров. Если раздвинуть

на такое расстояние ножки циркуля и одновременно поставить их на кожу (не слишком быстро, если они очень остры), то получается такое впечатление, как будто к коже прикасаются лишь в одном месте. Таким путем удалось установить, что на тыльной стороне руки мы различаем прикосновения, если расстояние между ними не менее 25 мм, на ладони — если расстояние равно 10–12 мм, на конце указательного пальца — если это расстояние составляет 2 мм. Наиболее чувствительной частью тела в этом отношении является кончик языка, он отличает раздражения, удаленные друг от друга на 1 мм.

По этой причине небольшие выступы в песчанике или в другом подобном веществе, которые меньше 1 мм, не могут быть ощущаемы каждый в отдельности: что такие выступы все же существуют, обнаруживается «шероховатостью» этих предметов, т. е. известного рода трением, которое они вызывают, если проводить по ним пальцем.

Однако же некоторые тела, например стекло, глазированная посуда или полированные металлы, производят даже на самые чувствительные части нашего органа осязания (кожи) ощущение чего-то совершенно гладкого и сплошного. Между тем под микроскопом часто оказывается, что эта кажущаяся гладкость и непрерывность только относительны. Полированные поверхности металлов обнаруживают несомненное кристаллическое строение и вследствие этого некоторую зернистость. С виду совершенно ровные края при достаточном увеличении становятся похожими на зубрины пилы. С чувством осязания повторяется то же, что и с другими чувствами; непрерывность, которую мы как будто замечаем в предметах, представляет лишь следствие несовершенства наших органов чувств.

## Приложение

### Математический парадокс

#### Ахиллес не может догнать черепахи

Однажды черепаха, символ медлительности, поразила Ахиллеса вызовом состязаться в быстроте бега. Более рассмешенный, чем раздосадованный смелостью своей соперницы, Ахиллес сейчас же согласился. Он не делал также возражений, когда речь зашла о том, чтобы пустить черепаху на значительное расстояние вперед, а именно на половину всего пути в 200 м. Он рассчитывал за то время, пока черепаха пройдет 1 метр, пробежать больше 10 метров, и ему казалось даже, что он может дать льготный промежуток в 90 % и все же обгонит ее.

Во время состязания он, к великому своему удивлению, заметил, что, несмотря на по-видимому выгодные для него условия, он никогда не может окончательно нагнать черепаху. Это его так смутило, что он остановился в беспомощном удивлении перед своей неспособностью и стоял так долго, что черепаха имела достаточно времени, чтобы достигнуть цели.

Трудность, перед которой он отступил, представлена на рис. 80. А представляет то место, с которого Ахиллес начинает свой бег,

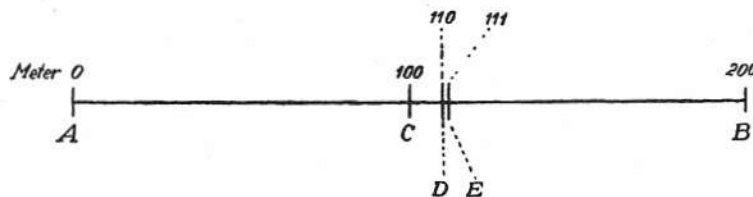


Рис. 80. Почему Ахиллес не мог догнать черепахи

С есть середина пути, т. е. место выхода черепахи, В — конец пути. Допустим, что Ахиллес бежит в десять раз быстрее черепахи. Таким образом, черепаха проходит 10 м в то время, как Ахиллес пробегает 100 м, отделяющих его от черепахи в начале состязания. Когда Ахиллес находится в С, то черепаха поэтому находится в D, на 10 м ближе к цели. Пока Ахиллес проходил 10 м, черепаха подвигается вперед еще на 1 метр, Ахиллес теперь находится в D, а черепаха в E. В то время, как Ахиллес пробегает далее этот метр, его противник снова подвигается на  $\frac{1}{10}$  м. Он пробегает и это расстояние, но черепаха за это время снова успевает пройти  $\frac{1}{100}$  м = 1 см. Так продолжается без конца. Всегда черепаха оказывается впереди, хотя и на очень малое расстояние. Другими словами: Ахиллес никогда не может догнать черепахи, а тем более обогнать ее.

Вот эта теоретическая трудность так сильно изумила быстрого Ахиллеса. Отсюда можно заключить, что у него было больше силы в ногах, чем в голове. Иначе говоря, он должен был бы, выражаясь языком теперешней математики, сказать себе приблизительно следующее.

Предположим, что Ахиллес в состоянии пробежать расстояние АВ в  $x$  секунд, а следовательно, черепаха в  $10x$  секунд, в таком случае ей понадобится  $5x$  секунд для того, чтобы пройти расстояние ВС. Так как  $5x$  больше  $x$ , то она придет к цели позднее, чем Ахиллес. Следовательно победителем состязания должен быть Ахиллес.

Это так ясно, что никто бы не стал держать пари за черепаху. Но ответ, полученный нами от математика, совершенно нас не удовлетворяет, так как он приблизился к рассмотрению этого вопроса с несколько иной стороны: перед логикой греческого философа Зенона, который придумал этот парадокс еще за 500 лет до Р. Х., мы все-таки находимся в таком же смущении, как и Ахиллес в этой шуточной истории. Чтобы лучше познакомиться с сутью этого дела, следует сложить все расстояния, которые прошла черепаха. Согласно нашим прежним рассуждениям, они равны: 10 м; 1 м; 0,1 м; 0,01 м; 0,001 м; 0,0001 м; 0,00001 м и т. д. Каждый следующий промежуток составляет одну десятую часть предыдущего. Подобный числовой ряд в математике называется: «геометрической прогрессией». Чему равняется его сумма? Очевидно:

$$10 + 1 + 0,1 + 0,01 + 0,001 + 0,0001 + 0,00001 + \dots$$

Эти точки означают, что сумма состоит из неограниченного числа слагаемых, из которых мы только выписали несколько первых чисел.



Эту сумму мы представляем в виде десятичной дроби, а именно:  $11,111111\dots$ . Это бесконечная периодическая десятичная дробь с периодом 1. Превратив ее в обыкновенную, мы получаем  $11\frac{1}{9}$ . Результат поразителен, если бы мы продолжали рассуждение в духе Зенона до бесконечности, то сумма бесконечно большого числа все уменьшающихся слагаемых составила бы, как это показало вычисление, все же только  $11\frac{1}{9}$  м, т.е. когда черепаха пройдет  $11\frac{1}{9}$  м, то Ахиллес ее догонит. Решение этой задачи можно получить также при помощи уравнения (пропорции). Путь, который черепаха пройдет, пока ее нагонит Ахиллес, пусть будет  $x$  метров. В этом случае путь, который прошел Ахиллес, будет  $(100 + x)$  метров. Так как пути, пройденные этими двумя движущимися телами в одинаковые промежутки времени, относятся между собой, как скорости, то получается следующая пропорция:  $(100 + x) : x = 10 : 1$ . А отсюда, что

$$10x = 100 + x \quad \text{или} \quad 9x = 100 \quad \text{или} \quad x = 11\frac{1}{9}.$$

Но последний способ решения проблемы не может нам ничего дать в смысле возражений против Зенона, так как он, подобно первому из трех арифметических рассуждений, подходит к этому делу с совершенно другой стороны и с совершенно иными средствами.

Таким образом, возвратимся для окончательного решения к нашей десятичной дроби  $11,111111\dots$  — мы увидим, что эта дробь, несмотря на неограниченное число слагаемых, в сумме имеет конечное, ограниченное значение. Не правда ли это звучит парадоксально? Неограниченное множество чисел складываются, но все же не дают безгранично большого числа. Где искать причину?

Это объясняется тем, что числа этого ряда не увеличиваются и не остаются одинаковыми, а все убывают. Остановимся на каком-нибудь знаке десятичной дроби; значение этой дроби будет тем ближе к истинному, т.е. к величине  $\frac{1}{9}$ , чем большее число десятичных знаков мы возьмем, так как каждая последующая «единица» составляет лишь десятую часть предшествующей; например,  $0,1 = \frac{1}{10}$ ,  $0,11 = \frac{11}{100}$ ,  $0,111 = \frac{111}{1000}$  и т.д. Получить же значение  $\frac{1}{9}$  мы можем лишь тогда, если *вообразим* десятичную дробь *бесконечно продолженной*.

Пожалуй, мог бы отыскаться человек, который, будучи глубоко убежден в справедливости того, что только что было сказано относительно *чисел*, все же был бы в изумлении, узнав, что даже безграничное число *отрезков* при сложении друг с другом могут дать при

некоторых известных условиях лишь вполне ограниченный отрезок. Мы можем ему сказать, что те числа, которыми мы только что пользовались, представляют собой измерения этих отрезков; этим объяснение исчерпывается. Тому, кто еще сомневается, мы можем помочь еще больше. Представим отрезок длиной в 1 метр. Разделим его на 2, 4, 8, 16, 32 и т.д. частей.

Это деление по желанию можно продолжать без конца. Мы также можем вообразить отрезок, разделенный на 1000, 100 000, одним словом *на бесконечно большое число частей*. Чему же равняется вся сумма этого *бесконечного числа частей*? Также 1 метру. То же относится и к расстоянию, проходимому нашей черепахой.

Разница заключается лишь в том, что в последнем случае нам необходимо *сначала составить эту сумму*, и поэтому происходит то, что мы не сразу замечаем, что *сумма* имеет только конечную величину. А если у нас спросят, в состоянии ли мы представить число  $11\frac{1}{9}$  *разложенным* на безгранично большое число частей, то мы, конечно, не замедлим дать утвердительный ответ.