

ПОПУЛЯРНО-НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА



Г. В. БЭМ

ЧТО ТАКОЕ
КОЛЛОИДЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

1927

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

ПОПУЛЯРНО-НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

- Андреев, В.—Наше богатство—торф. Стр. 36. Ц. 35 к.
Ауэрбах, Ф.—Пространство и время. Материя и энергия. Элементарное введение в теорию относительности. Перев. с немецкого. Стр. 158. Ц. 30 к.
Визлер, К.—Химические элементы. Пер. с нем. д-ра Ф. И. Гиммериха. Под ред. Б. Г. Андреева. Стр. 84. Ц. 55 к.
Винер, О.—Физика и развитие культуры. Пер. со 2-го нем. издания С. И. Вавилова. Стр. 82. Ц. 1 р.
Вульф, Г. В., проф.—Симметрия и ее проявление в природе. С 100 рис. Изд. 2-е. Стр. 135. Ц. 30 к.
Галанин, Д. Д.—Размеры изучаемого нами мира. Стр. 92 + чертежи. Ц. 1 р.
Григорьев, С. Холод в природе и технике. Изд. 2-е. Стр. 76. Ц. 80 к.
Давидович, П. Я. Физика вселенной. Популярный очерк методов и достижений современной астрономии. Стр. 208. Ц. 1 р. 30 к.
Деккер, Г.—Биология органов чувств. I. Осязание и слух. Перевод 26-го нем. изд. д-ра С. И. Ершова. Под ред. и с примечаниями проф. М. Н. Шатерникова. Стр. 107. Ц. 70 к.
Деккер, Г.—Зрение, обоняние, вкус. Пер. с нем. Под ред. М. Н. Шатерникова. Стр. 77. Ц. 50 к.
Демчинский, Б. Н.—Хвостатые звезды и падающие с неба огненные камни. Стр. 72. Ц. 30 к.
Ихак-Рубинер, Ф. Вечный двигатель. С 40 рис. в тексте. Стр. 190. Ц. 1 р.
Кажинский, Б.—Воздух как движущая сила. Изобретения А. Флеттнера. Стр. 64. Ц. 30 к.
Каммерер, П.—Омолождение и продление личной жизни. Опыты на растениях, животных и человеке в общедоступном изложении. Перев. Б. Заваловского. Стр. 86. Ц. 25 к.
Каптерев, П.—Земля и вселенная. Популярно-научный очерк. Стр. 180. Ц. 1 р. 35 к.
Кекчеев, К. и Нечаев, А.—Труд и утомление. Стр. 78. Ц. 55 к.
Конобеевский, С. Т.—Строение вещества. Изд. 2-е, вновь просмотр. Стр. 220. Ц. 2 р.
Костицын, В. А.—Происхождение вселенной. Стр. 172. Ц. 1 р. 50 к.
Крубер, А. А.—Человеческие расы и их распространение. Стр. 62. Ц. 25 к.
Ланкэстер, Э.—Вымершие животные. Перев. с англ. Под редакцией проф. А. А. Борисяка. Стр. 200. Ц. 1 р. 60 к.
Лассар-Кон, проф.—Химия в обыденной жизни. Двенадцать популярных лекций. Изд. 3-е, испр. по 10-му нем. изд. Стр. 272. Ц. 2 р.
Леммель, Рудольф.—Социальная физика. Силы природы, человек и экономика. Перевод с немецкого. Переработано и дополнено Б. Г. Андреевым. Стр. 116. Ц. 60 к.

ПОПУЛЯРНО-НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

ГАНС ВОЛЬФГАНГ БЭМ

ЧТО ТАКОЕ КОЛЛОИДЫ

ПЕРЕВОД

Д-ра С. Ю. ВЕЙНБЕРГА

ПОД РЕДАКЦИЕЙ

А. Н. ФРУМКИНА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА ☆ 1927 ☆ ЛЕНИНГРАД

ВВЕДЕНИЕ

Мы собираемся ознакомить читателя с одной из интереснейших областей современного естествознания. В настоящее время химия коллоидов может заинтересовать всякого. Она принесла с собой переворот в целом ряде наших представлений. Совершенно невозможно предвидеть чудеса ее дальнейшего развития: жизненные процессы позволяют проникнуть в свои сокровенные тайны, для техники открываются новые неожиданные возможности, и все мы окрыляемся надеждой получить новое, более совершенное представление о мироздании.

Размер книги заставляет нас быть весьма краткими даже при изложении важнейших вопросов. Более полное освещение получили только основные, наиболее элементарные положения. Полагаем, что такого рода изложение сделает книгу доступной и полезной для широких кругов читателей; более же подготовленный читатель нас извинит и сумеет понять, что вещи, знакомые лишь немногим, большинство может оценить только после длительного и вдумчивого изучения.

Во всяком случае, даже самое незначительное побуждение может вызвать охоту к дальнейшему изучению и исследованию.

ГАНС ВОЛЬФГАНГ БЭМ

Осень 1925.

Главлит № 74152. Гиз № 16969 Тираж 5.000 экз.

Тип. Госиздата „Красный Пролетарий“, Москва, Пименовская, 16.

Возможно ли на немногих страницах достаточно понятно и наглядно изложить все чудеса мира коллоидов? Для неподготовленного читателя будут непонятны те сомнения и колебания, которые возникали у меня, когда я задался этим вопросом.

Известный исследователь коллоидов Вольфганг Оствальд говорил, что длинные диспуты по вопросам коллоидной химии обычно остаются безрезультатными потому, что каждый из спорящих имеет свое особое представление о сущности того, что такое коллоид. Эти слова мало кого могут ободрить. Однако за ними отнюдь не скрывается сомнение в правильности понимания основных положений, хотя, конечно, в борьбе отдельных мнений кое-что и кажется непонятным и запутанным. Многое, во всяком случае, может быть уже в настоящее время освещено перед широкими кругами читателей.

Изучая какое-либо явление, мы всегда стремимся разделить его на отдельные моменты и, вникая в сущность каждого из них, мы доходим до понимания всего изучаемого явления. Только таким путем человечество может добиться новых знаний. Особенно наглядно это выступает в вопросе о коллоидах. Исследование их чрезвычайно обогатило нашу эпоху.

Нет такой области в медицине, геологии, промышленности и технике, которая так или иначе не соприкасалась бы с коллоидами. Многие еще не знают этого. Тем не менее они же сами носят в себе великое чудо коллоидов. И если бы этого не было, то человек не мог бы существовать. Все, что мы едим, пьем, во что

одеваемся, на чем спим, жарим, варим, чем красим, стираем или дубим, снимаемся ли мы у фотографа, смотрим ли в синеву неба или на темную землю, зажигаем ли электричество,—во всем этом кроются чудеса коллоидов, которые ждут еще разъяснения.

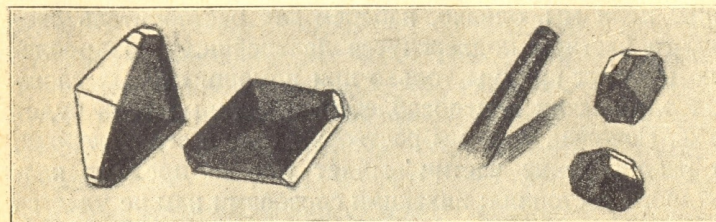
Нам скажут: значит не существует ничего, что так или иначе не соприкасались бы с коллоидами; значит до самого последнего времени мы за деревьями не видели леса. Да, это так: промышленность и техника всегда имели дело с коллоидами, хотя мы этого не знали. Каждая фабрика бумаги является крупным потребителем и производителем коллоидов; потребляемое ею сырье и выпускаемая продукция, это — коллоиды или по крайней мере тела очень близкие к ним. Древние египтяне для получения особо доброкачественных кирпичей прибавляли к глине дубильные вещества и таким образом, не сознавая того, были коллоидными химиками, подобно тем мастерам, которые в настоящее время обжигают кирпичи или изготавливают бумагу, не имея ни малейшего представления о коллоидном состоянии вещества. Однако тот, кто постарается получить это представление, добьется лучших результатов, чем его менее любознательные товарищи.

Мы только что упоминали о коллоидном состоянии вещества. В чем же состоят его основные особенности? Добавляя дубильные вещества в глину, люди издревле делали это для того, чтобы добиться наиболее мелкого ее раздробления. Это состояние доведенного до определенной степени раздробления вещества и есть коллоидное состояние.

Легко можно представить себе любое вещество в той или иной степени раздробления без того, чтобы при этом произошли изменения в его химическом составе.

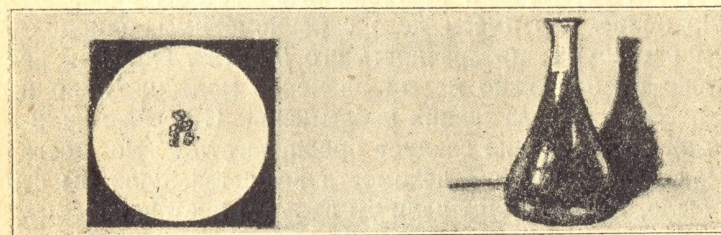
Обратимся к примеру. Всем знакома сера. В природе ее находят обычно около потухших или действующих вулканов. Такая природная сера состоит из сравнительно грубых и крупных кристаллов длиной около сантиметра. В так называемой палочной сере (продукт технической обработки натуральной серы) кристаллы

уже гораздо мельче; наконец, в серном цвете, который получается путем охлаждения серных паров, частицы



Естественные кристаллы серы.

Палочки серы. Отдельные кристаллы едва видны.



Серный цвет (под микроскопом).

Коллоидный молочно-мутный раствор серы в воде. Частицы невидимы в микроскоп.



Коллоидный раствор серы в бензоле (почти прозрачный).

Истинный раствор серы в сероуглероде.

Рис. 1. Степени раздробления серы.

так малы, что они видимы только в микроскоп или лупу. В сере, растворенной в воде или парафиновом

масле, частицы уже настолько малы, что не видны даже в микроскоп. Здесь мы имеем дело уже с коллоидной серой, или, лучше сказать, с коллоидным состоянием серы. Если мы, однако, выберем как растворитель бензол, то частицы подвергнутся дальнейшему раздроблению и будут видимы только при помощи особых сложных оптических приспособлений, о которых речь будет ниже. Наконец, если мы растворим серу в сероуглероде, то раздробление частиц выйдет уже за пределы коллоидного состояния: никакими способами нам не удастся уже их увидеть (рис. 1). В таких случаях говорят, что жидкость совершенно чиста и прозрачна, лучи света свободно проходят через нее, сера вполне растворилась, растворитель и растворенные частицы образуют одно целое. Мы имеем дело с равномерным, однородным раствором; прозрачность его зависит, впрочем, не только от ничтожно малых размеров молекул ¹⁾, но и от несовершенства наших наблюдений. С физико-химической точки зрения следует предполагать возможность очень далеко идущей делимости вещества. Если бы ее не было, то мы не ощущали бы аромата цветов, который передается нам миллиардами разносящихся от цветка мельчайших частиц, или для нас оставалось бы непонятным, каким образом падающие капли в течение веков выдалбливают твердые скалы.

Уже на примере с серой мы имели возможность убедиться, что коллоидное состояние представляет собой всюду возможное состояние вещества.

Однако состояние это изменчиво, как все на свете. В значительной мере коллоидное состояние определяется величиною частиц, расположенных в другой, так называемой дисперсионной ²⁾, среде, т.-е. среде, разделяющей частицы друг от друга. Коллоидное состояние зависит как от природы раздробленных частиц, так и от природы среды. Мы видели это на примере

¹⁾ Мельчайшие частицы данного вещества, не поддающиеся уже дальнейшему механическому раздроблению. Само слово молекула значит самая маленькая частица.

²⁾ От латинского глагола *dispergere* — раздроблять, разделять.

с серой, когда степень коллоидного раздробления менялась вместе с переменной дисперсионной среды: вода, бензол и, наконец, сероуглерод, который не давал уже с серой коллоидного раствора. Танин или мыла обнаруживают, например, коллоидные свойства при растворении в воде и не обнаруживают их при растворении в спирте. С другой стороны, соли щелочноземельных металлов дают в воде обычные растворы, а с древесным спиртом при определенных условиях дают коллоидный раствор. Надо, очевидно, согласиться с Веймарном, что при подходящих условиях и выборе соответствующего растворителя каждое вещество можно перевести в коллоидный раствор. Так, например, углерод, фосфор, калий, натрий, ртуть, золото, платина, фосфорная и кремневая кислоты, многие соли, карамель, индиго и тысячи других веществ могут встречаться то в коллоидном состоянии, то в состоянии еще более мелкого раздробления.

С другой стороны, для многих веществ коллоидное состояние является наиболее обычным при нормальных условиях. Хорошим примером таких веществ являются многие гидраты окисей, т.-е. соединения металлических окислов с водой, затем коллоидные формы живого вещества (белков, протоплазмы), желатина, каучук, клей, смолы и т. д. Особенно тесными взаимоотношениями с растворяющей средой отличаются коллоиды живого вещества, так называемые биокolloиды; исследование их находится еще в зачаточном состоянии. Об этих веществах известно, кроме того, что их химическое строение весьма сложно. Изучение биокolloидов является одной из наиболее заманчивых задач современного естествознания. Само собой напрашивается предположение, что сложное химическое строение обуславливает наличие коллоидной природы данного вещества и, с другой стороны, что вещества, обычно находящиеся в коллоидном состоянии, обладают весьма сложным химическим составом. Однако сравнительно простой опыт — вливание воды в жидкий воздух, — при котором элементарно простое химическое соединение — вода получается

в коллоидном состоянии,—показывает нам, что это предположение не всегда оправдывается.

У читателя, наверно, возникли уже некоторые вопросы. Как понимать слово «коллоид», если под коллоидным состоянием мы понимаем определенную степень раздробления частиц, находящихся в дисперсионной среде или растворителе? Так как коллоидная химия по преимуществу имела дело с жидкими дисперсионными средами, или, вернее, с условиями распределения вещества в таких средах, то можно в определенных случаях вместо термина дисперсионная среда пользоваться термином — растворитель.

Еще один вопрос: как можно доказать присутствие частиц, которые не видны даже в микроскоп? Зависит ли величина этих частиц от каких-то особых условий?

Вспомним сначала, что происходит при растворении твердого вещества в подходящей жидкости. Кусок сахара, растворяющийся в стакане воды, постепенно исчезает. Вода постепенно отрывает с поверхности сахара мельчайшие частицы, которые распределяются в ней, пока не установится состояние равновесия, зависящее от природы растворителя и растворяющегося вещества. В общем частицы в растворе располагаются на равном расстоянии друг от друга, другими словами, крепость, или концентрация, раствора во всех его частях становится одинаковой.

Частицы, таким образом, обнаруживают стремление равномерно распределяться в жидкости, или, как говорят, диффундировать. Миллиарды молекул сахара равномерно распределены в воде. Перед нами молекулярно растворенное вещество, или, иными словами, раствор, в котором раздробление дошло до молекул — так сказать, молекулярный раствор. То же мы наблюдали при растворении серы в сероуглероде. Там так же по окончании растворения мы получили однородный (гомогенный) молекулярный раствор.

Если мы, вместо сахара, прибавим к воде синий раствор медного купороса, то постепенно также произойдет

равномерное смешение обеих жидкостей, подобно тому как постепенно смешиваются два разнородных газа, заключенных в одном помещении. Если начать выпаривать раствор сахара, то сахар выпадет в виде кристаллов, т.е. в виде природных образований, ограниченных плоскостями, расположенными друг к другу под определенными углами. Говорят поэтому, что сахар — кристаллоид, в противоположность хотя бы клею, который, как коллоид, обладает недостаточной способностью к кристаллизации.

Будем продолжать наши опыты. Мы постараемся обойтись простейшими веществами и приборами, которые имеются в каждом хозяйстве. Две миски, наполненные чистой водой, две стеклянные банки, немного крахмального клейстера, немного соли и два кусочка пергаментной бумаги — вот все, что нам нужно. Одну банку мы до трех четвертей наполним раствором соли в воде. Вторую, также на три четверти, — раствором клейстера. Обе банки крепко завяжем пергаментной бумагой; затем опрокинем их в миски с водой так, чтобы пергаментные крышки полностью окунулись. Скоро вода в той миске, в которую мы окунули банку с раствором соли, станет солонее на вкус; в воде же миски, в которую была опущена банка с клейстером, нельзя будет обнаружить ни малейших следов клея. Если мы посолим теперь воду в этой последней миске, то скоро клейстер в банке также станет соленым (рис. 2).

Из этого опыта мы можем сделать следующий вывод: частицы соли проходят через пергаментную бумагу, а частицы клейстера ею задерживаются.

Опыт даст те же результаты, если вместо поваренной соли взять сахар или соду. Соль и сода обладают, подобно сахару, способностью к кристаллизации. Соль, сахар и сода, это — типичные кристаллоиды. Их растворенные частицы, очевидно, настолько малы, что они свободно проходят через поры пергаментной бумаги. Пергаментная бумага, подобно свиному или рыбьему пузырю, колбасной коже или пленке из коллодия, представляет для кристаллоидов легко проницаемую.

преграду. С другой стороны, частицы клейстера, очевидно, слишком велики для того, чтобы пройти через такую пленку. Это относится также к клею, желатине, смоле и пр. Все эти вещества не обладают способностью кристаллизоваться. Они представляют типичные примеры коллоидов.

Прохождение, или, как говорят, диффузию, мельчайших частиц или растворенных веществ через соот-

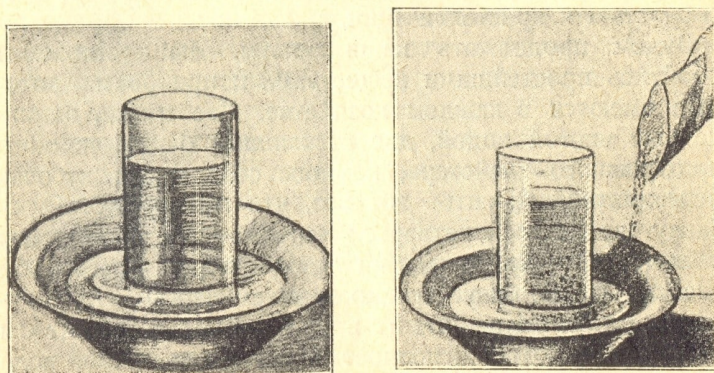


Рис. 2. а) Из раствора соли в банке частицы соли проникают через пергамент в воду; в миске вода становится соленой на вкус. б) Из раствора клейстера через пергамент ничего не проникает в воду в миске. Если посолить эту воду, то частицы соли проникнут внутрь банки, и клейстер станет солон на вкус.

ветствующие пленки или мембраны называют диализом. Самую мембрану можно сравнить с тонким слоем студня (желе). Это доказывается следующим опытом: две пробирки до половины наполняют жидким желатиновым студнем. Если теперь на поверхность студня в первой пробирке налить раствор краски «красная Конго», то граница между слоем краски и желатиной останется резко очерченной. Абсолютно прозрачный раствор краски, оказывается, обладает свойствами коллоидного раствора, частицы которого не диализируют. Налив теперь на поверхность желатины во второй про-

бирке прозрачный синий раствор медного купороса, мы будем наблюдать другую картину: через короткое время значительная часть синего раствора проникнет внутрь желатины. Частицы медного купороса способны к диализу. Они чрезвычайно малы, это—молекулы ¹⁾. Поэтому мы можем сказать, что раствор медного купороса представляет собою типичный молекулярный раствор (рис. 3).

Следующий опыт также покажет чрезвычайно наглядно различие между диффундирующими и недиффундирующими веществами. В любой посуде смешивают по желанию какие-нибудь кристаллоиды с коллоидами, скажем сахар и соль с желатиной, столярным клеем или клейстером. На эту смесь осторожно наливают воду. Через короткое время можно установить, что, в то время как кристаллоиды (сахар и соль) быстро распределились по всей жидкости, коллоиды заметно отстали. Проба воды из верхних слоев обладает соленым или сладким вкусом, но почти ее клейка (рис. 4, а, б, с).

Наблюдения над слабой способностью к кристаллизации у некоторых растворенных веществ, а также над особенностями их диффузии и определили в середине прошлого столетия первые шаги новой науки—коллоидной химии.

Уже в то время итальянскому исследователю Франческо Зельми стало ясно, что существуют вещества, которым не свойственно ни состояние грубой взвеси

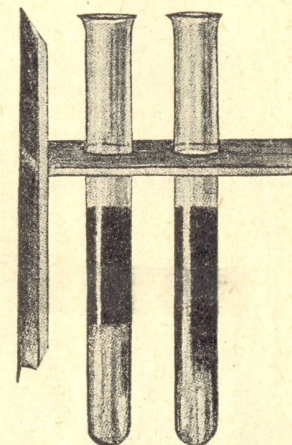


Рис. 3. Раствор краски резко граничит с желатиной (левая пробирка). Раствор медного купороса проникает в желатину (правая пробирка).

¹⁾ Вернее, не молекулы, а ионы—группы электрически заряженных атомов, на которые распадаются в водном растворе молекулы медного купороса и вообще всех солей. Прим. ред.

ни истинного раствора. Он очень удачно назвал обычное для них промежуточное состояние ложным раствором (псевдораствором), что соответствует современному определению коллоидного раствора. Ему кроме того удалось доказать, что при помощи некоторых солей из ложного раствора можно осадить растворенное вещество и что при этом в осадок увлекается также

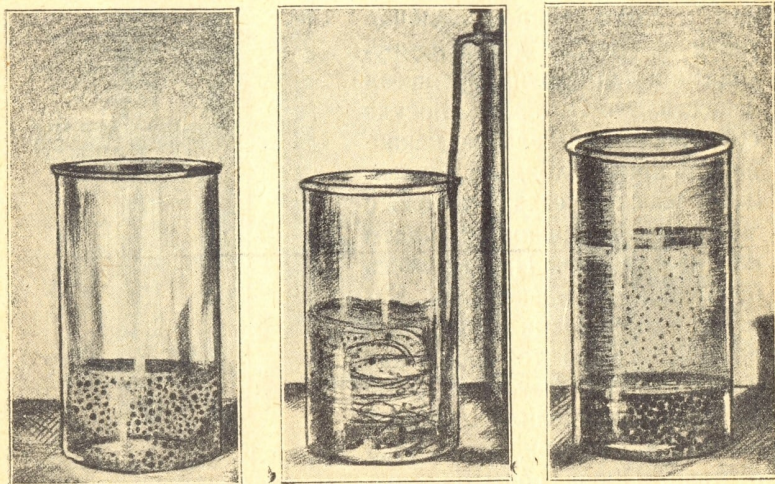


Рис. 4. На раствор кристаллоидов и коллоидов (а) наливают осторожно слой воды (b). Кристаллоиды равномерно распределяются (диффундируют) во всей смеси, коллоиды же остаются на прежнем месте (с).

часть осаждающей соли; далее, что путем промывания осадок можно очистить и, вторично растворив его, опять получить псевдораствор.

Несомненно Зельми был опытным и удачливым исследователем и экспериментатором. В своих сочинениях он говорит о пшеничном крахмале, картофельной муке и многих содержащих альбумин (род белка) веществах как о продуктах, которые не растворяются в воде подобно солям. Будучи смешаны с водой, они приходят как бы в состояние крайнего набухания, так что их

частицы насквозь пропитываются водой. Их раствор во многом напоминает грубую взвесь и отличается от последней главным образом своей прозрачностью. Зельми не заметил еще, что коллоидные растворы едва заметно мутны. (В дальнейшем будет сказано, как открытие этой муты привело к изобретению первостепенной важности оптических приборов, которые решающим образом повлияли на дальнейшее развитие современной коллоидной химии.) Кроме Зельми и Фарадея, открывшего и подробно исследовавшего коллоидное золото, следует особо отметить Томаса Грэхема. Последний видел в клее прототип веществ, которые, в противоположность кристаллоидам (соль, сахар), не обладают способностью к кристаллизации и диффузии; поэтому он назвал такие вещества коллоидами. (От греческого слова «κόλλα» — клей.)

Не следует, однако, думать, что различие между коллоидами и кристаллоидами, о котором мы уже неоднократно упоминали, очерчено с большой резкостью. Действительно, хотя коллоидные частицы в общем и осаждаются из растворов в виде неоформленных масс, однако известны вещества, обладающие свойствами коллоидов и несмотря на это способные к кристаллизации. С другой стороны, существуют коллоиды, как, например, красящее вещество бычьей крови, которые по высокой степени раздробления частиц приближаются к кристаллоидам. Все же такие частицы (так сказать, молекулы-великаны) слишком велики для того, чтобы проникать через пергаментную пленку.

Несмотря на вышесказанное, надо отдать должное исследованиям Грэхема, который первый описал основные признаки двух различных видов растворов, хотя бы и не резко отличных друг от друга. Эти признаки он изучал во время опытов над диффузией щелочей, кислот, алкоголя, солей, белка, камедей, декстрина, клея и т. д. Им же был построен первый прибор (диализатор), при помощи которого легко удастся удалить из раствора кристаллоиды и задержать коллоиды. Раствор, который желают подвергнуть диализу, нали-

вают в сосуд, дно которого представляет пергаментную пленку. При употреблении этот сосуд помещают на поверхность воды (или в особых случаях спирта, бензола и т. д.), налитой в другой сосуд (рис. 5). Едва ли

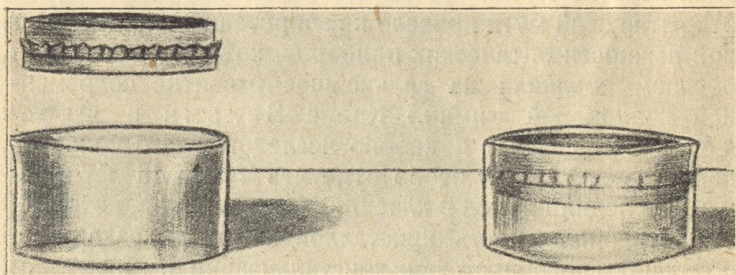


Рис. 5. Диализатор по Грэхему.

надо еще упомянуть, что при этом кристаллоиды будут проникать (диффундировать) через мембрану в расположенную ниже жидкость.



Рис. 6. Простейший диализатор.

Если под руками нет диализатора, можно обойтись следующим простейшим приспособлением. Любой сосуд наполняют водой и затем покрывают пергаментной бумагой с таким расчетом, чтобы последняя, будучи слегка вдавлена, касалась поверхности воды. В получившееся таким образом углубление наливают диализуемый раствор (рис. 6). В продаже имеется, конечно, много различных усовершенствованных систем диализаторов. Так, например, есть диализаторы, через внешний сосуд которых пропускается текучая вода, что заметно

ускоряет работу (рис. 7); есть другие, в которых мембрана складчатая, чем увеличивается диализирующая поверхность.

Грэхем сам не мог предвидеть всего значения своего открытия. Прежде всего, в то время не было еще необходимых приборов и инструментов, при помощи которых современная коллоидная химия достигла своего развития. Вследствие этого, устремления химиков были всецело направлены на изучение химии углеродных соединений, блестяще развившейся за последние десятиле-

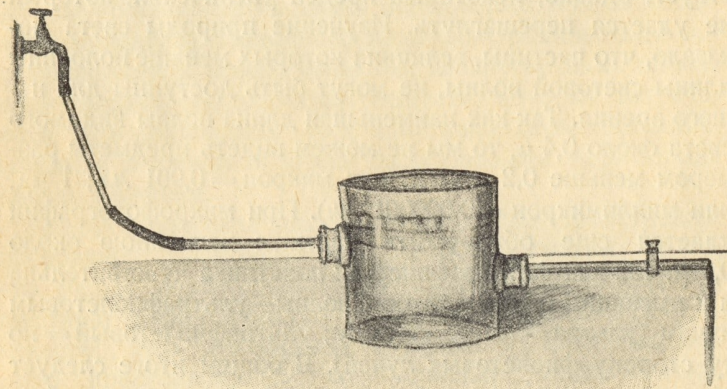


Рис. 7. Диализатор с текучей водой.

тия, а для дальнейшей работы в духе Грэхема не осталось ни времени ни людей; да кроме того от этой работы не ожидали многого. Как бы там ни было, но только в начале нашего столетия, благодаря изобретению ультрамикроскопа и ультрафильтра, коллоидная химия начала приобретать права гражданства. Для исследователей открылись новые широкие возможности.

Коллоидное состояние мы до сих пор кратко определяли как состояние, при котором частицы определен-

ной величины одного вещества взвешены в другом веществе (растворителе).

Естественно, у читателя возникнет желание получить более точные сведения о действительной величине этих частиц. С первого взгляда покажется, что это очень просто. Пользуясь микроскопом, можно увидеть эти частицы, а затем при помощи простого подсчета легко высчитать их действительную величину.

Действительно, оптике удалось при помощи остроумнейших приспособлений значительно увеличить разрешающую способность современных микроскопов. Существует, однако, некоторый предел увеличения, который не удастся перешагнуть. Изучение природы света показало, что частицы, величина которых меньше половины длины световой волны, не могут быть доступны для нашего зрения. Так как наименьшая длина волны видимого света около $0,4 \mu$, то мы не можем видеть предметы размером меньше $0,2 \mu$ (1μ , или микрон $= 0,001 \text{ мм}$; $1 \mu\mu$, или миллимикрон $= 0,000001 \text{ мм}$). При микрофотографии удастся еще обнаружить частицы величиною около $0,1 \mu$, так как фотографическая пластинка чувствительна и к имеющим более короткие волны—ультрафиолетовым лучам (ультра = по ту сторону; ультрафиолетовый = по ту сторону фиолетовых лучей). В общем итоге следует запомнить, что при помощи микроскопа можно обнаружить частицы размером не меньше $0,1 \mu = 0,0001 \text{ мм}$.

Рассматривая коллоидный раствор даже в самый сильный микроскоп, невозможно обнаружить в нем следов каких-либо частиц. Жидкость кажется нам абсолютно однородной, гомогенной. Если и есть какие-либо частицы, то они, очевидно, настолько малы, что не могут быть обнаружены даже в микроскоп. Следовательно можно предположить, что коллоидные растворы весьма близки к истинным молекулярным растворам (молекулярным раздроблениям одного вещества в другом). Кроме того коллоидные растворы, подобно истинным растворам, без остатка фильтруются сквозь обыкновенные фильтры; на взгляд коллоидные растворы, подобно истинным, совершенно прозрачны, хотя и могут быть

окрашены в разнообразнейшие цвета. Естественно возникает вопрос: не основывается ли разница между коллоидными и истинными растворами на различной природе самых молекул?

Уже издавна известно, что при определенных условиях некоторые элементы могут встречаться в той или иной аллотропической, видоизмененной форме. Так, например, если на продолжительное время подвергнуть действию солнечных лучей обыкновенный желтый, восковидный фосфор, то он переходит в красный фосфор. Это явление пытаются объяснить тем, что в данном случае меняется количество атомов в молекуле фосфора (атомы—первичные частички, на которые можно разложить молекулу). Подобного рода аллотропическими модификациями и можно было бы, казалось, легко объяснить загадку раздробления веществ, которые встречаются то в коллоидном то в кристаллоидном состоянии. Прежняя коллоидная химия была близка к такого рода умозаключениям.

Микроскопическое исследование, обычная фильтрация, прозрачность раствора—все как будто говорит за то, что между коллоидными и истинными растворами существует тесное родство. С другой стороны, нам уже известно, что коллоидные частицы, в противоположность кристаллоидным, не проникают сквозь пленки. Диализатор нас не обманывает. Наука находилась в очень затруднительном положении, и казалось даже что все дело выльется только в отвлеченные споры отдельных ученых. Однако все же был найден путь, который, правда, вначале еще усилил споры, но зато вскоре окончательно их устранил.

Коллоидный раствор, который остается прозрачным даже под микроскопом, при определенных условиях (рассматривание на черном фоне) все же обнаруживает некоторое помутнение. Помутнение это подобно мути, которая видна при обычных условиях во всякой взвеси, будь то взвесь капелек—эмульсия (например капельки жира в молоке) или взвесь зернышек—суспензия (например порошок животного угля в воде). Таким образом

явления помутнения приближают коллоидные растворы к этим более грубым раздроблениям. Для того, чтобы легче разгадать эту загадку, вспомним явление, которое мы ежедневно можем наблюдать. В узком пучке солнечных лучей, проникшем через закрытую ставню в затемненную комнату, пляшут и искрятся тысячи пылинок, которые до тех пор не были видны вследствие их ничтожной величины, так что воздух казался нам совершенно чистым и прозрачным. Мы заключаем из этого, что, очевидно, солнечные лучи отклонились пы-

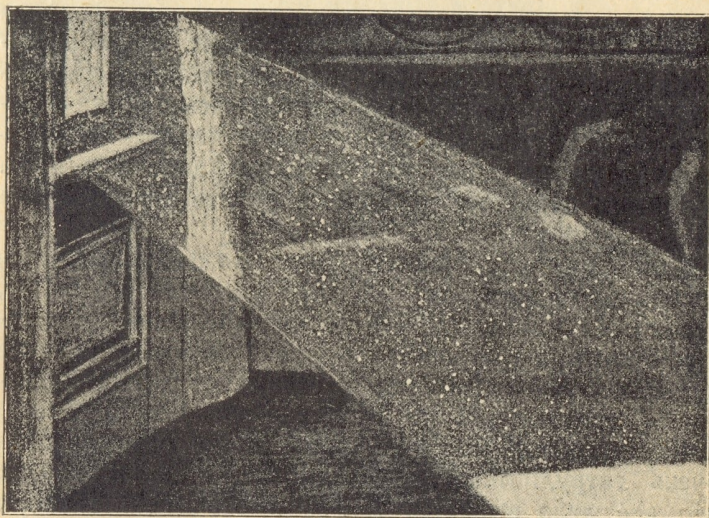


Рис. 8. Пылинки в лучах солнца.

линками и что кажущаяся величина последних возросла благодаря возникшему рассеиванию света. Таким образом сильное одностороннее освещение позволяет нам видеть частицы, которые невозможно обнаружить при обычных условиях (рис. 8).

На основании такого рода наблюдений Фарадей уже 70 лет тому назад ставил опыты, которые возбуждали сомнение в том, являются ли растворы золота

истинными растворами. Он, между прочим, упоминал о фиолетовых и красных прозрачных растворах золота. Еще сегодня можно видеть в музее Королевского общества в Лондоне подлинные растворы, которыми пользовался Фарадей. Оствальд рассказывает, что среди этих растворов есть один фиолетово-розового цвета, который несмотря на десятилетия, протекавшие с момента его изготовления, и плохое качество стекла, из которого сделана бутылка, служащая для его хранения, остался совершенно прозрачным и не выделил ни малейшего осадка.

Сам Фарадей знал, что жидкость, полученная им при растворении золота, не является истинным раствором. По этому поводу он писал: «Все же они (т.е. растворы) не являются истинными растворами, так как в них золото не растворено, а только раздроблено на мелкие частицы. Присутствие последних можно легко доказать, направив на раствор конус лучей света, собранных при помощи зажигательного стекла. Пучок световых лучей в растворе будет видим, и, хотя не удастся увидеть отдельных частиц золота, все же отраженный ими свет имеет золотистый оттенок. Можно предположить, какое громадное (по сравнению с количеством растворенного золота) число частиц взвешено в жидкости. Во многих сильно разбавленных растворах, в которых, судя по цвету, нельзя и предполагать присутствие золота, можно вышеуказанным путем доказать наличие взвешенных мельчайших частиц». Следовательно при сильном одностороннем освещении частицы искрятся; однако при обычных условиях не удастся увидеть каждую частицу в отдельности, а только общее свечение всего участка псевдораствора, на который попадает луч света.

В честь ученого Тиндаля, который подробно занимался изучением этого явления, такой светящийся конус называют конусом Тиндаля.

Слабо светящийся конус удастся получить, даже пропуская лучи света через дистиллированную воду, которая никогда не бывает идеально чистой. Однако он

становится много ярче, вспыхивает зеленовато-белым сиянием, как только мы к воде прильем коллоидный раствор серебра (рис. 9). Достаточно рассматривать пробирки, наполненные разнообразными жидкостями, в пучке лучей, пропущенном через маленькое отверстие в затемненную комнату, чтобы

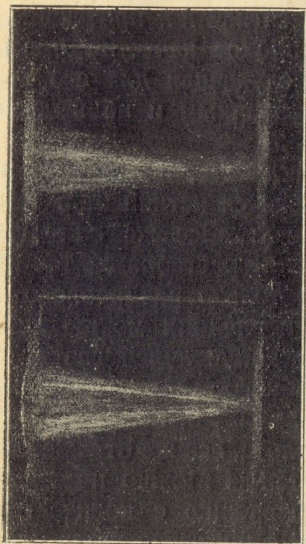


Рис. 9. Конус Тиндаля: наверху—в дистиллированной воде, внизу—в коллоидном растворе серебра.

В кратких словах помутнение жидкости можно определить как следствие отражения, отклонения или преломления световых лучей, зависящее от того, что растворитель и растворенное вещество обладают разными коэффициентами преломления. Точно так же конус Тиндаля, это — не что иное как «особенно ясно выступающее при сильном одностороннем освещении явление помутнения вследствие диффузного рассеяния световых лучей». Мы говорили о диффузном рассеянии вследствие того, что при направлении пучка лучей в раствор мы видим только общее рассеянное свечение, а не отражение лучей от каждой частицы в отдельности.

Естественно возникла мысль построить прибор, при помощи которого можно было бы, так сказать, «разрешить» конус Тиндаля, т.е. увидеть в отдельности каждый диффракционный кружок, получающийся при рассеянии света отдельной частицей. Сама собой напрашивается мысль достичь этого путем соответствующего

щего увеличения. Однако при помощи обычного микроскопа это невозможно сделать, так как в нем предметы рассматриваются в проходящем свете и лучи от осветительного прибора направляются прямо в глаз наблюдателя. Если бы даже отдельные лучи и отразились от поверхности имеющихся коллоидных частиц, то это не могло быть замечено, так как глаз наблюдателя ослеплен общим потоком света. Следовательно

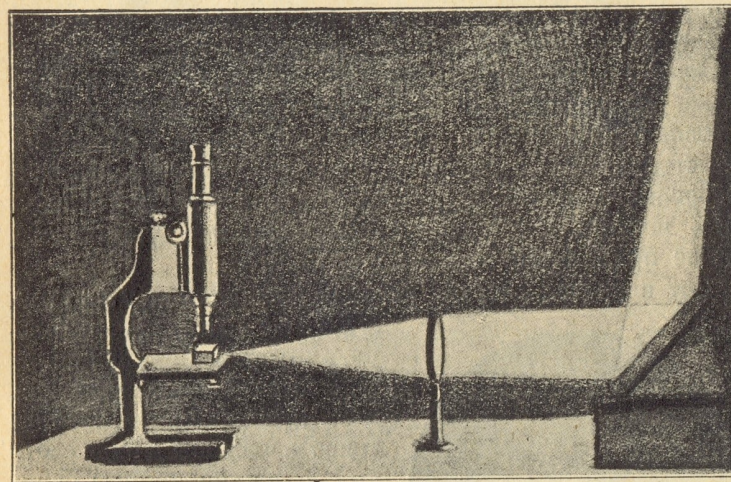


Рис. 10. Простейшая установка для ультрамикроскопии.

нужно добиться того, чтобы прямые лучи не доходили до глаза наблюдателя и чтобы поле зрения оставалось темным; тогда на нем диффракционные кружки будут выделяться в виде звездочек. Для этого нужно, чтобы рассматриваемый предмет освещался лучами, идущими от сильного источника света, в направлении, перпендикулярном к оси зрения; таким образом ни один луч не сможет прямо проникнуть в глаз.

Жигмонди первый лет двадцать тому назад осуществил такой микроскопический конус Тиндаля. Отраженный зеркалом горизонтальный пучок лучей он

собирал чечевицей, на фокус которой был наставлен микроскоп при слабом увеличении. Сосуд с исследуемой жидкостью ставился на предметный столик микроскопа с таким расчетом, чтобы собранные в фокус лучи попадали в ее середину (рис. 10). При такой постановке опыта Жигмонди действительно удалось заметить в определенных жидкостях частички в виде их дифракционных кружков. Тысячи отдельных резко очерченных, а следовательно, и достаточно удаленных друг от друга, светящихся точек выделились на темном фоне. И все это в растворе, который казался невооруженному глазу совершенно прозрачным и в котором даже самый сильный микроскоп не мог обнаружить и пылинки. Соответствующим подсчетом, путем сравнения расстояния между частицами с общим количеством растворенного вещества, удалось установить размер отдельных частиц. Он оказался много меньше упомянутой выше предельной величины в $0,1 \mu$.

Вот в кратких чертах история изобретения ультрамикроскопа, т.-е. прибора, в котором применен принцип затемненного поля зрения, позволяющего рассматривать частицы в виде светлых точек на темном фоне (рис. 11).

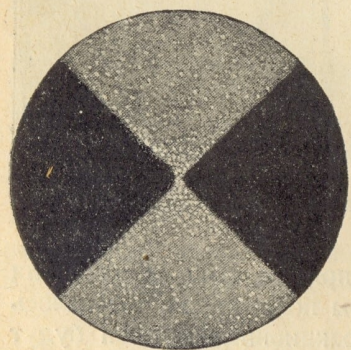


Рис. 11. Коллоидные частицы под ультрамикроскопом.

Работы Зидентофа повели к дальнейшему усовершенствованию ультрамикроскопии; было создано несколько различных систем ультрамикроскопов, в которых, однако, сохранен основной принцип: не допускать прямой свет в глаз наблюдателя. Удалось построить ультрамикроскопы, отличающиеся особой светосилой, при помощи которых можно видеть частицы, не обнаруживаемые с помощью более старых приборов. Теоретически, разрешающая способность ультрамикроскопа

неограниченна, так как она зависит только от количества отраженных лучей.

Рис. 12 дает представление о сравнительной величине некоторых микроскопических предметов при увеличении в 10 000 раз. В то время как красное кровяное тельце человека, палочка сибирской язвы и отдельные дрожжевые грибки могут быть рассматриваемы под микроскопом, коллоидные частицы золота можно заметить только с помощью ультрамикроскопа. Размер этих частиц почти в 10 раз меньше предельной для микроскопа величины. Между тем в ультрамикроскоп можно увидеть еще гораздо меньшие частицы, размером около 3μ , а при условии более уточненного наблюдения даже около 1μ . Эта последняя величина почти в 100 раз меньше предела разрешающей способности обычного микроскопа.

При определенных методах работы, о которых мы здесь не имеем возможности говорить подробнее, удастся точно подсчитать размер частиц величиною от 2 до 3μ и даже определить их вес.

Поскольку дело касается искусственно приготовленных коллоидных растворов, как, напр., раствора серебра или золота, в которых каждая частица хорошо видна при ультрамикроскопировании, средний вес каждой частицы определяется простым подсчетом. Если в литре воды растворен 1 г коллоидного вещества, то в 1 мм^3 его находится 0,001 миллиграмма. Если теперь при рассматривании под ультрамикроскопом в 1 мм^3 подсчитывается 1 000 частичек, то значит каждая из них весит 1 миллионную часть миллиграмма. Считая, что отдельные частицы имеют шаровидную форму и учитывая удельный вес растворенного вещества, можно без труда подсчитать также и диаметр каждой частицы. Можно, конечно, довольствоваться и относительными числами, определяя только молекулярный вес коллоидных частиц, т.-е. определяя, во сколько раз частица весит больше молекулы водорода ($=2$).

При помощи весьма сложной методики наука пыталась уже, многократно повторяя измерения по отношению

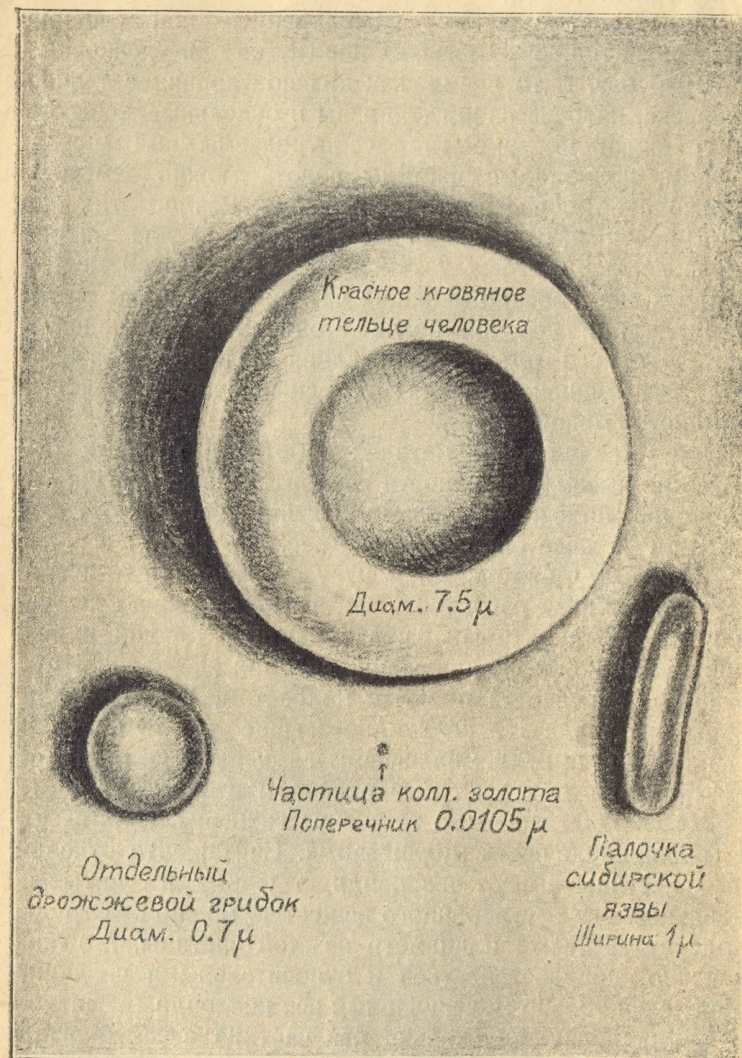


Рис. 12. Сравнительная величина различных микроскопических частиц.

к одному и тому же раствору, разрешить эту последнюю задачу. И хотя часто определялся вес частицы, во много тысяч раз превышающий молекулярный вес водорода, все же есть основание думать, что в некоторых случаях сама коллоидная частица представляет собою молекулу, хотя бы и гигантского размера. Мы уже указывали на это, говоря о коллоидном красящем веществе бычьей крови. Все же при современном состоянии науки вопрос этот не получил еще окончательного разрешения, и ученые склоняются к мысли, что коллоидные частицы обычно представляют собой группы молекул, в то время как частицы, состоящие только из одной молекулы, свойственны истинным (молекулярным) растворам. Нельзя, однако, забывать, что в современном знании существуют еще зияющие пробелы, только благодаря которым мы и вынуждены говорить о разграничении между коллоидными и истинными растворами; не надо забывать, что может быть уже завтра границы эти будут стерты. Изучать изменчивое течение вещей и событий—вот задача всякой науки, и она останется таковой до тех пор, пока будет продолжаться прогресс человечества на земле.

Явления, описанию которых мы посвящаем дальнейшие строки, могут послужить одной из лучших иллюстраций этих слов. Мы вкратце остановимся на них, а затем перейдем к описанию достижений ультрамикроскопии, которые помогли разрешить вопрос—являются ли коллоидные растворы более родственными грубым взвесям или истинным растворам. То же, что еще останется неясным, поможет разрешить ультрафильтрация.

Всякое помутнение зависит от того, что взвешенные частицы представляют препятствие для световых волн. Мельчайшие частицы, не препятствующие уже прохождению длинных волн, препятствуют все же прохождению коротких.

Так, коллоидные частицы отклоняют коротковолновые голубые и фиолетовые лучи света. Это явление можно наблюдать в обычном конусе Тиндаля (см. рис. 13, левую сторону). Здесь, как сказано, отдельная частица

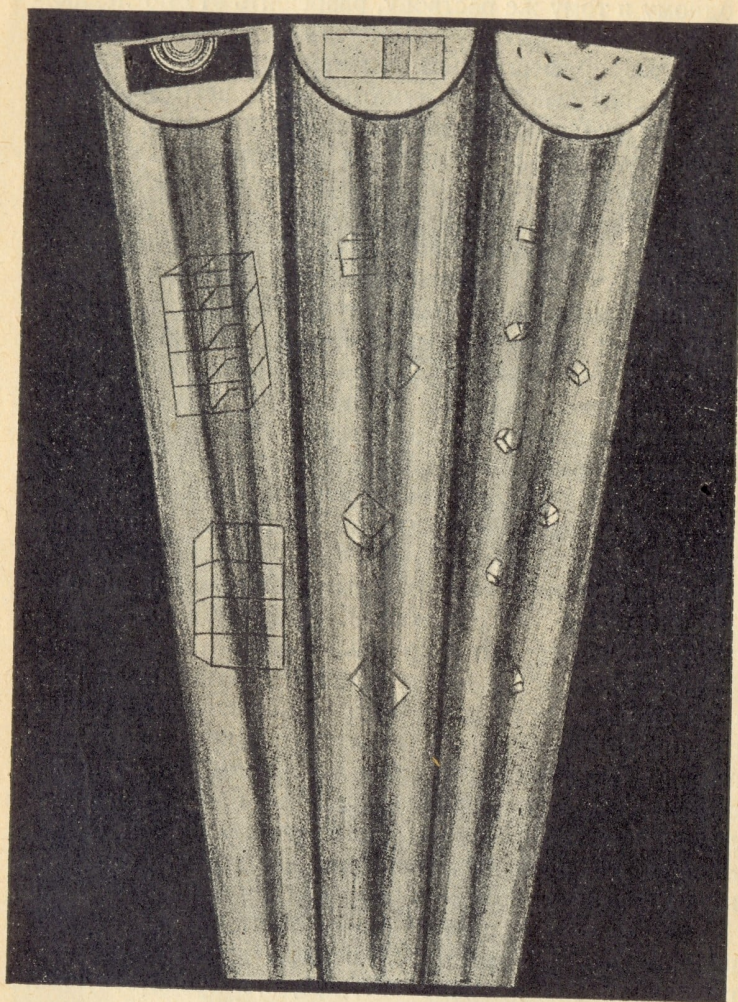


Рис. 13. Оптическое разрешение мелкоиздробленных веществ при помощи конуса Тиндаля. (Объяснение см. в тексте.)

представляет группу молекул (на левой части рис. 13 она нарисована внутри самого конуса); в ультрамикроскопе она видна в виде блестящего дифракционного

кружка (рис. 13, слева наверху). Для более коротковолновых ультрафиолетовых лучей даже отдельные молекулы представляют уже препятствие. Надо думать, что даже в истинном, молекулярном растворе, в котором разделение вещества доведено до молекул, можно при освещении ультрафиолетовыми лучами определить наличие молекулярного светорассеяния—ультрафиолетовый конус Тиндаля (рис. 13, середина). При этих условиях даже дистиллированная вода (рис. 13, середина, белый прямоугольник наверху) может дать сильное затемнение на фотографии (рис. 13, середина наверху, сильно затемненный прямоугольник). Если предварительно пропустить лучи через толстый кусок стекла, то это затемнение значительно ослабнет (рис. 13, середина, более светлый прямоугольник), так как стекло задерживает большую часть ультрафиолетовых лучей. Приблизительно таким же путем можно исследовать молекулярное светорассеяние.

Однако исследование на этом не останавливается, оно стремится пойти еще на шаг дальше. Только несколько лет тому назад подтвердилось предположение о том, что кристаллы построены из атомов, которые в связи с правильным построением кристаллов расположены в определенном, закономерном порядке, на равных расстояниях друг от друга, образуя при этом тончайшую решетку. При прохождении через такую решетку рентгеновских лучей последние отклоняются; природа их волны, а также длина ее точно изучены. Длина волны рентгеновских лучей равна, примерно, 25-миллионной части миллиметра. При соответствующих опытах фотографическая пластинка запечатлевает рентгеновские лучи, отклоненные при прохождении через кристаллы, в виде расположенных на определенных расстояниях друг от друга темных точек (рис. 13, направо наверху). Само собой напрашивается предположение, что мы имеем перед собой атомное светорассеяние, что атомы (рис. 13, направо внутри конуса) вызвали отклонение сказочно короткой волны лучей Рентгена. При этом каждая точка, очевидно, соответствует сгущенному

конусу рентгеновских лучей, так сказать, рентгеновскому конусу Тиндаля (рис. 13, справа), который в зависимости от расположения атомов в кристалле имеет различную плотность в различных направлениях.

Следует упомянуть, что существуют приборы, позволяющие точно измерить степень помутнения раствора, зависящую от большего или меньшего раздробления растворенного вещества. В тесной связи с описанными явлениями находится явление опалесценции (название взято по аналогии с игрой цветов в опале), которое также более выражено у коллоидных растворов, чем у молекулярных растворов и грубых взвесей.

Коллоидные растворы обладают еще одной любопытной особенностью: они позволяют нам любоваться изумительной игрой цветов. В зависимости от степени раздробления одно и то же вещество меняет в коллоидном растворе свой цвет. То оно кажется нам красным, то оранжевым, то желтым, зеленым, синим, голубым или фиолетовым. Однако смена цветов может происходить только в определенном закономерном порядке. Цвет зависит от степени раздробления вещества. В этом, однако, нет ничего удивительного. Чем мельче частицы, на которые попадает луч света, тем большее препятствие представляют они лучам с короткой длиной волны, тем больше последние поглощаются (абсорбируются) и тем свободнее проходят лучи с большой длиной волны. Поэтому коллоидное золото в состоянии особенно мелкого раздробления кажется нам красным, при более же грубом — красновато-синим. Таким образом, вообще говоря, в коллоидных растворах, вместе с уменьшением величины частиц, максимум поглощения (абсорбции) перемещается в сторону более короткой волны.

Конечно все это не так просто, как мы можем изложить в кратких словах. Однако в заключение добавим, что и здесь замечается постепенный переход с одной стороны к более грубым взвесям, с другой же — к молекулярным растворам.

Вообще следует сказать, что количество свойств, обнаруживающих этот обоюдосторонний переход и определяющих физико-химическое состояние вещества в зависимости от степени его раздробления, весьма велико.

Как пример приведем движение коллоидных частиц под влиянием электрического тока, так называемый каталфорез. В общем при этом быстрота движения коллоидных частиц несколько меньше, чем у молекул в истинных растворах. Частицы растворенного вещества могут быть заряжены как положительно, так и отрицательно. Знак заряда может изменяться в зависимости от избранного растворителя (например вода или скипидар). Соответствующими примесями к растворителю также можно изменять заряд коллоидных частиц (например белка). Подкисление растворяющей жидкости меняет заряд на положительный, прибавление щелочи — на отрицательный.

После этого краткого вступления перейдем к опыту. В каплю коллоидного раствора, находящуюся на предметном столике микроскопа, опустим два электрода (проволочки, к одному концу которых припаяны платиновые пластинки, другой же конец которых присоединен к полюсу электрической батареи). Положительно заряженный электрод называется анодом, отрицательно заряженный — катодом. Если теперь, при включении тока, коллоидные частицы (например кремневой кислоты или краски метиленовой синьки) устремятся к катоду, то это значит, что их собственный заряд положителен; если же (например, если взять гуммигут или индиго) они пойдут к аноду, то их собственный заряд отрицателен. Под микроскопом (рис. 14) это движение будет видно и, следовательно, позволит судить о заряде коллоидных частиц. Если мы будем иметь дело не с раствором краски, а, например, со смолой, частицы которой заряжены отрицательно, то в области анода жидкость станет белесоватой, в то время как около катода она делается совершенно прозрачной.

Если мы обмокнем две полоски фильтровальной бумаги в два различно заряженных раствора синей крас-

ки, то наблюдается следующее. В одном случае коллоидные частицы поднимаются по бумаге почти с той же быстротой, как и растворитель (рис. 14, 2); во втором (рис. 14, 3)—только растворитель быстро подымается вверх, в то время как коллоидные частицы густо окрашивают лишь небольшой участок бумаги. Предполагая, что в обоих случаях фильтровальная бу-

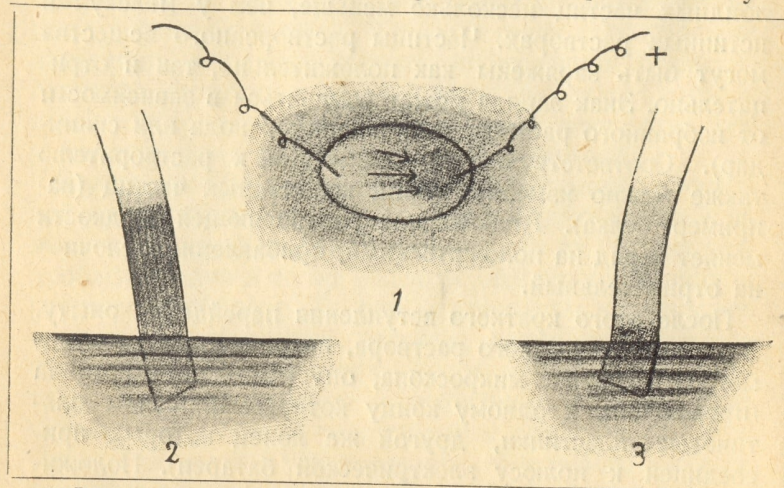


Рис. 14. Движение коллоидных частиц в электрическом поле.

мага была заряжена отрицательно, можно объяснить это явление тем, что коллоидные частицы, заряженные отрицательно, беспрепятственно поднимаются по бумаге, в то время как частицы, заряженные положительно, задерживаются ею.

Этим мы заканчиваем описание явлений, связывающих коллоидные растворы с взвесями и истинными растворами. В дальнейшем мы снова обратим наше внимание на изучение явлений, видимых с помощью ультрамикроскопа.

Всякий раствор представляет собою раздробленную систему, или, как говорят, дисперсию, короче — дис-

персоид. Так как степень раздробления имеет очень важное значение, то коллоидную химию называют также дисперсионной химией. Степень дисперсности зависит от величины частиц, находящихся в дисперсионной среде.

Если частицы больше $0,1 \mu$, то их называют микронами, т.-е. видимыми при помощи микроскопа. Такие микроны встречаются обычно в грубых дисперсоидах; это либо капельки либо твердые частицы. Поэтому говорят о капельках, взвесях или эмульсиях, или о твердых взвесях—супензиях. При спокойном стоянии взвешенное вещество оседает из таких взвесей и образует на дне сосуда осадок, или, как говорят, седимент. Вспомним, например, аквариум, в который налита свежая вода; она сначала мутна, и только постепенно, вместе с оседанием взвешенных в ней песчинок, она просветляется и становится прозрачной. В более грандиозном масштабе то же явление непрерывно происходит в морях и океанах, на дно которых веками оседают миллиарды оболочек и скелетов мельчайших морских животных, образуя мощные слои известняков.

Вследствие их сравнительно крупной величины микроны задерживаются порами фильтровальной бумаги.

Частицы величиною от $0,1 \mu$ до 1μ называют ультрамикронами, т.-е. частицами, которые видны только в ультрамикроскоп в виде дифракционных кружков. Такие ультрамикроны и являются составной частью коллоидных дисперсоидов, которые разделяются на эмульсоиды с жидкими ультрамикронами и супензоиды с твердыми. Ультрамикроны, как мы уже знаем, свободно проходят через поры фильтровальной бумаги; они или вовсе или почти не диффундируют и не диализируют.

Частицы величиною меньше 1μ называются амикронами; их невозможно воспринять при помощи оптических приборов. Амикроны, это — частицы истинных растворов; вследствие своей ничтожной величины они диффундируют и диализируют.

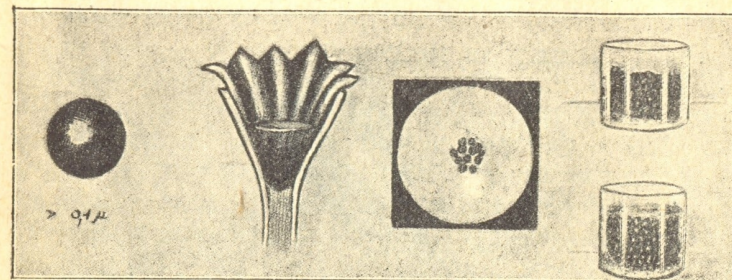
Все изложенное наглядно изображено на рис. 15. Мы

таким образом установили, что степень дисперсности все возрастает от грубых взвесей до истинных растворов. В связи с этим мы можем вспомнить, что нам уже известно о зависимости рассеяния света от степени дисперсности. Прекрасный пример такой все возрастающей дисперсности мы имеем в молоке. В одном и том же растворителе (воде) мы находим здесь частицы различной величины (рис. 16). Молоко поэтому называют полидисперсоидом.

Нам проще всего представлять себе дисперсную систему как систему, в которой частицы растворителя тесно примыкают друг к другу, в то время как частицы раздробленного вещества находятся на некотором расстоянии друг от друга. Дисперсоид, в котором химический состав одинаков у растворителя и у дисперсированного вещества, называют изокolloидом (от греческого слова *ἴσος* — одинаковый). Пример — лед в воде.

Разделение известных нам дисперсных систем на три большие группы оправдывается скорее практическими, чем теоретическими соображениями. Ввиду того, что эти группы, как сказано выше, постепенно переходят друг в друга (а не резко отграничены), то естественно коллоидное состояние может меняться и переходить в состояние то грубого то более мелкого раздробления. Прекрасным примером могут служить так называемые семиколлоиды (от латинского слова *semi* — половина). Эти вещества являются продуктами распада коллоидов и соответственно с этим, находятся в состоянии более мелкого раздробления. Таков декстрин, продукт раздробления коллоидного крахмала, или пептоны, получающиеся при переваривании белков желудочным соком. В частности, по отношению к растворам белков и желатины даже при помощи ультрамикроскопа не удалось еще окончательно установить, не являются ли они истинными растворами. Правда, ультрамикроскопом удалось обнаружить в них частички, однако, далеко не в том количестве, как это можно было ожидать. До последнего времени многое оставалось скрытым от глаза наблюдателя. Во всяком случае весьма расплывчатой

Взвесь твердой
части в жидкости,



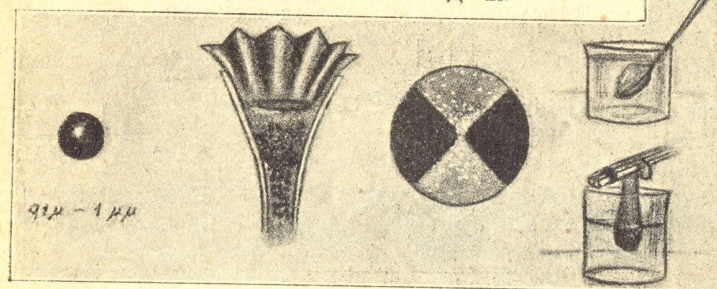
Микроны.

Задерживаются
на бумажном
фильтре.

Видимы в
микроскоп.

Эмульсия жид-
кости в жид-
кости.

К О Л Л О И Д Ы.



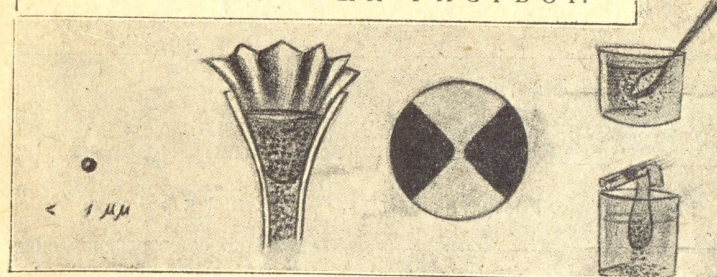
Ультра-
микроны.

Проходят сквозь
бумажный
фильтр.

Видны только
в ультрамикро-
скоп.

Не диффунди-
руют и не диа-
лизируют.

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ РАСТВОР.



Амикроны.

Проходят сквозь
фильтр.

Невидимы.

Диффундируют
и диализируют.

3*

Рис. 15.

Молоко — полидисперсид (т.е. различные вещества в различной степени раздробления находятся в одной растворяющей среде).

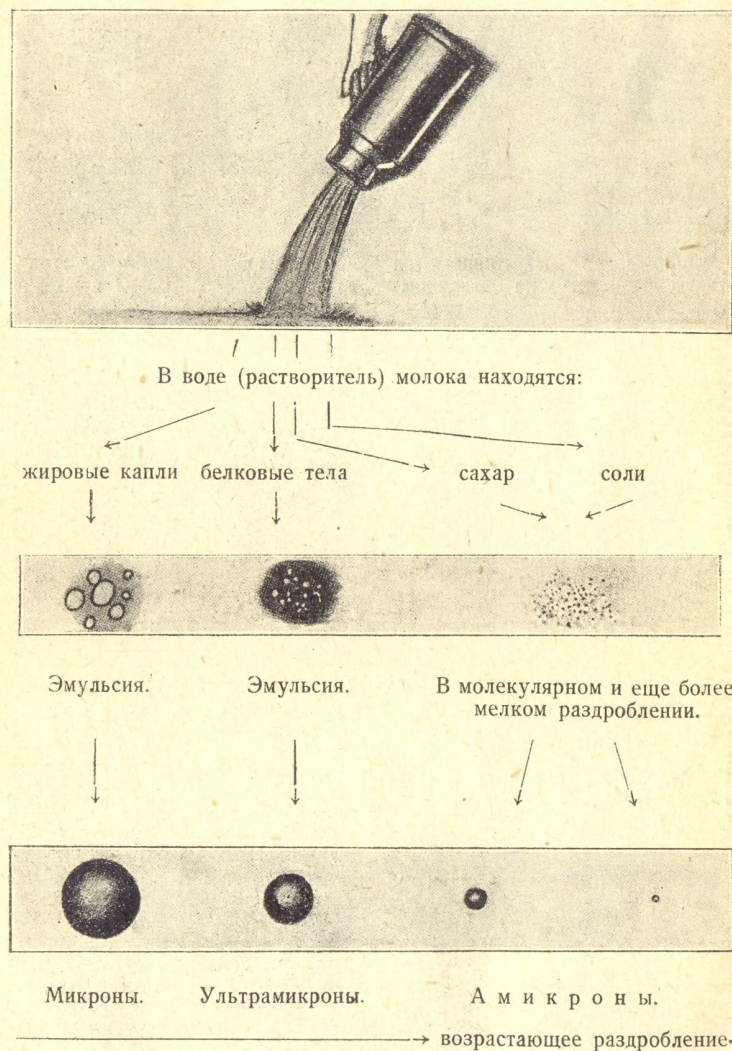


Рис. 16.

была граница между коллоидными, семиколлоидными и истинными растворами. В стремлении и здесь добиться ясности ученые обратили внимание на явления, связанные с фильтрацией.

Микроны грубых взвесей настолько велики, что задерживаются порами обычного бумажного фильтра. Они больше этих пор, размер которых доходит до нескольких μ и в самой лучшей уплотненной бумаге все еще не меньше 1μ . У особенно плотных фарфоровых фильтров поры имеют размер в $0,2 \mu$ и могут поэтому задерживать более крупные коллоидные частицы, которые проходят через фильтровальную бумагу. Однако в начале этой книги мы говорили уже о мембранах, которые мы сравнивали с тончайшим студенистым слоем (рис. 3). Такие мембраны задерживают коллоиды и пропускают кристаллоиды (диализ). Следовательно поры таких мембран должны быть чрезвычайно узки, и мы можем изготовить фильтры, при помощи которых будем отделять коллоидные частицы от растворителя. При диализе мы отделяем от коллоидного раствора только примешанные к нему кристаллоиды. Если же мы поместим коллоидный раствор в фильтр, сделанный из упомянутой пленки, то при определенном давлении через него пройдет растворитель вместе с кристаллоидными частицами, а на фильтре останется только коллоид. На этом принципе основана изобретенная Бехгольдом двадцать лет тому назад и значительно усовершенствованная другими учеными ультрафильтрация. По существу это — диализ под давлением, который путем изменения размеров пор применяемых мембран позволяет производить даже дробное (фракционированное) разделение коллоидных частиц, в зависимости от их размера.

Постараемся при помощи простейших средств воспроизвести картину ультрафильтрации.

Построим фильтр, при помощи которого можно производить ультрафильтрацию без всяких добавочных установок и при нормальном давлении.

Возьмем (согласно с указаниями Оствальда) простой гладкий бумажный фильтр, выложим его ровно

по стенкам воронки и затем хорошо намочим горячей водой. Дав стечь излишней воде, возьмем в фильтр 20—30 куб. см подогретого 4% коллодия (можно получить в любой аптеке). Возможно быстрым поворачиванием воронки коллодий распределяется ровным слоем по сырой бумаге. Это так называемый губчатый слой. Надо следить за тем, чтобы коллодий распределился по бумаге только в один слой, так как в противном случае получится неравномерная и слишком толстая фильтрующая поверхность. Излишний коллодий осторожно сливают, следя за тем, чтобы в носике фильтра не осталось его ни капли. Вынув затвердевающий фильтр из воронки, оставляют его минут 10—15 сохнуть на воздухе. Затем таким же образом наносят на фильтр второй слой подогретого коллодия. Избыток снова надо тщательно удалить. После повторной просушки в течение 10—15 минут фильтр опускают минут на 20—30 в дистиллированную воду, и он готов к употреблению.

Если мы нальем коллоидный раствор, например, разведенную тушь или голубой раствор коллоидного золота, в обычный фильтр, то вся жидкость без остатка пройдет через него. Если же мы те же растворы поместим в специальный, изготовленный нами ультрафильтр, то сквозь него пройдет прозрачная жидкость, а коллоидные частицы останутся на нем (рис. 17).

Из этого опыта становится ясным, что во всех сомнительных случаях, когда надо решать, куда отнести данное вещество, к кристаллоидам или коллоидам, следует прибегнуть к ультрафильтрации. Вообще помощью ультрафильтрации можно у одного и того же вещества установить ряд различий, зависящих от различной его обработки. Так, например, при ультрафильтрации кипяченого молока на фильтре остается кальций, связанный кипячением с коллоидами молока; при фильтрации же сырого молока кальций переходит в фильтрат. Из этого примера легко можно понять, какое значение в некоторых случаях имеет ультрафильтрация.

Если представить себе пленку, поры которой много уже, чем поры ультрафильтра, то она, очевидно, будет

задерживать также более крупные молекулы. Другими словами, можно было бы также помешать диффузии некоторых кристаллоидов. Пленка эта пропускала бы, например, мелкие молекулы воды и задерживала бы более крупные молекулы сахара. Такие полупроницаемые мембраны можно без особых трудностей изготовить из соответствующей смеси клея и дубильной кислоты,

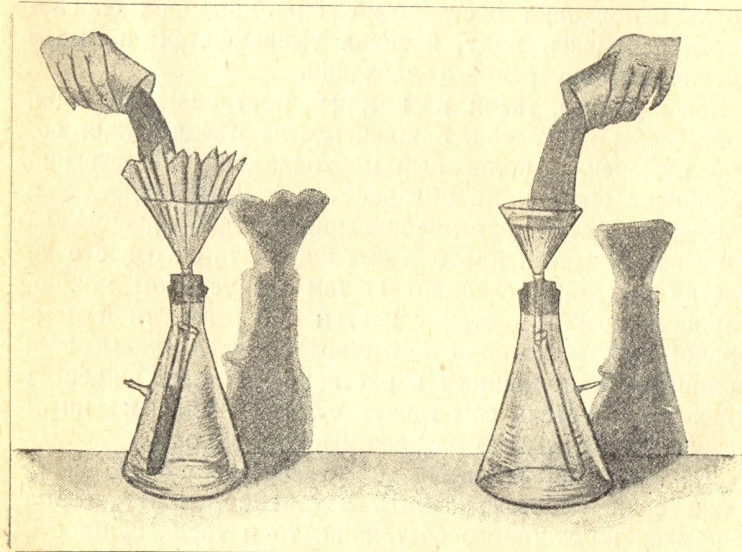


Рис. 17. Ультрафильтрация.

или медного купороса и железистосинеродистого калия. Для того, чтобы придать им нужную прочность, пленки эти накладываются на пористую и легко проницаемую стенку из обожженной глины.

Опишем простой опыт. Небольшой сосуд из пористой глины выстилают изнутри пленкой из железистосинеродистой меди, затем наливают в него раствор сахара, крепко закупоривают и целиком опускают в воду. Маленькие молекулы воды проникают внутрь сосуда, в то время как молекулы сахара не могут выйти наружу,

так как они задерживаются пленкой. Благодаря этому давление внутри сосуда будет все увеличиваться. Это так называемое осмотическое давление можно измерить, присоединив к сосуду небольшой ртутный манометр (изогнутую трубку, наполненную ртутью). Вода будет диффундировать внутрь сосуда в раствор сахара до тех пор, пока давление в сосуде не достигнет известной величины. Можно сказать, что глиняный сосуд после наполнения раствором сахара приобрел способность всасывать воду, которая уменьшается по мере увеличения внутреннего давления.

Как известно, ткани, из которых построены растения, составлены из клеток. Каждая клетка представляет собой пузырек, наполненный протоплазмой. Естественно возникает вопрос, не обладает ли такая растительная клетка свойствами вышеописанного глиняного сосуда и не всасывает ли протоплазма жидкость сквозь стенки клетки внутрь последней? С тем же успехом можно, впрочем, сравнить стенку клетки с пергаментной мембраной, сквозь которую протоплазма, как коллоид, воспринимает находящиеся в растворе пищевые вещества (рис. 2). Читатель сам может судить, насколько интересны, хотя и трудно разрешимы эти вопросы.

Для науки здесь таятся новые возможности. Однако, даже если удастся изучить изменения, протекающие в рамках коллоидного состояния, то и тогда сущность этих явлений будет нам лишь относительно понятна. Во всяком случае перед нами открывается здесь картина постепенной делимости вещества. Миллиарды частиц различных размеров обуславливают изменение форм всего существующего. В зависимости от величины частиц для последних открываются или закрываются те или иные пути.

Там, где бумажный фильтр задерживает микроны, свободно проходят ультрамикроны (рис. 18, 1). Там, где закрыт путь для ультрамикронов, проскальзывают амикроны (ультрафильтр—рис. 18, 2), и, наконец, там, где задерживаются амикроны, еще находят возможность проникнуть некоторые молекулы (сверхультрафильтр—

рис. 18, 3). В действительности, однако, нет такого строгого разграничения. Коллоидные частицы, с одной стороны, примыкают к более мелким, с другой—к более крупным частицам, самый же переход от одних к другим совершается постепенно через частицы самой разнообразной величины. Самую крупную частицу надо представлять себе как комплекс миллионов маленьких, а самые маленькие частицы мы обнаруживаем среди продуктов распада атомов, подобно атому радия, который, непрерывно распадаясь в течение тысячелетий,

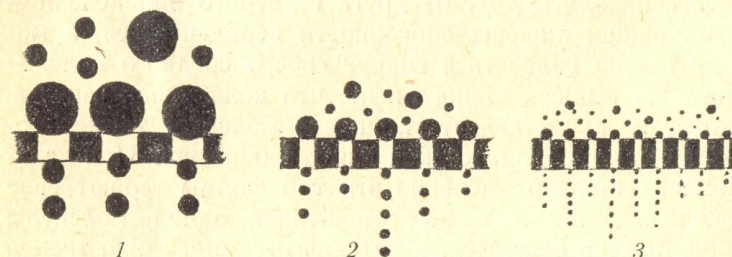


Рис. 18. От бумажного фильтра к сверхультрафильтру.

посылает в пространство поток электронов (носителей мельчайших количеств электрической энергии). Электроны эти становятся видимыми для человеческого глаза, заставляя искриться экран из сернистого цинка. Постольку, однако, поскольку мы оцениваем здесь частицы с точки зрения коллоидной химии, следует еще раз отметить, что частицы коллоидов больше частиц кристаллоидов.

Бесчисленное количество частиц содержит воздух, который мы вдыхаем при каждом вдохе; воздух газообразен.

Бесчисленное количество частиц содержит стакан воды; вода—жидка.

Бесчисленные частицы, составляющие кирпич; кирпич—тверд.

Однако каждое вещество может быть то в твердом, то в жидком, то в газообразном состоянии. Жидкость может испаряться, течь и застывать. Все три видоизменения формы зависят от той или иной степени подвижности молекул. Тело кажется нам газообразным, если составляющие его молекулы стремятся распространиться во все стороны, заполняя каждое предоставленное им помещение. Тело кажется нам жидким, когда молекулы уже несколько связаны; они, правда, могут взаимно меняться местами, но общий объем тела остается постоянным. Наконец, тело кажется нам твердым, когда молекулы, находясь друг от друга на строго определенном расстоянии, лишены способности передвигаться, а могут только колебаться вокруг своего среднего положения. Из вышесказанного ясно, что коллоидная частица, которая представляет комплекс молекул, также может быть твердой, жидкой или газообразной. При дальнейших степенях деления эти три формы теряют свое значение, так как по отношению одной молекулы практически бессмысленно говорить—жидка она, тверда или газообразна. Поэтому при молекулярном раздроблении вещества в истинном растворе невозможно определить, было ли растворенное вещество до растворения жидко, твердо или газообразно. Дисперсные же системы могут встречаться во всех трех формах, и внутри каждой системы возможны разнообразные комбинации. Не только раздробленное вещество, но и дисперсионная среда может быть во всех трех состояниях, и совершенно не безразлично, раздроблено ли твердое вещество в жидком или жидкое в твердом. В твердой дисперсионной среде могут быть распределены и твердые, и жидкие, и газообразные коллоидные частицы. То же можно сказать о жидкой дисперсионной среде. Таким образом перед нами уже шесть возможностей. Однако среда может быть еще газообразной, и в ней также могут распределяться твердые или жидкие частицы.

Прекрасный пример для уяснения вышесказанного дают нам коллоидные системы воды. Это—системы, в которых как раздробленное, так и раздробляющее

вещество имеет один и тот же химический состав, а именно состав воды. Во всех описываемых случаях размер частиц соответствует размерам частиц коллоидов. Вследствие этого мы определяем получающиеся системы как коллоидные растворы.

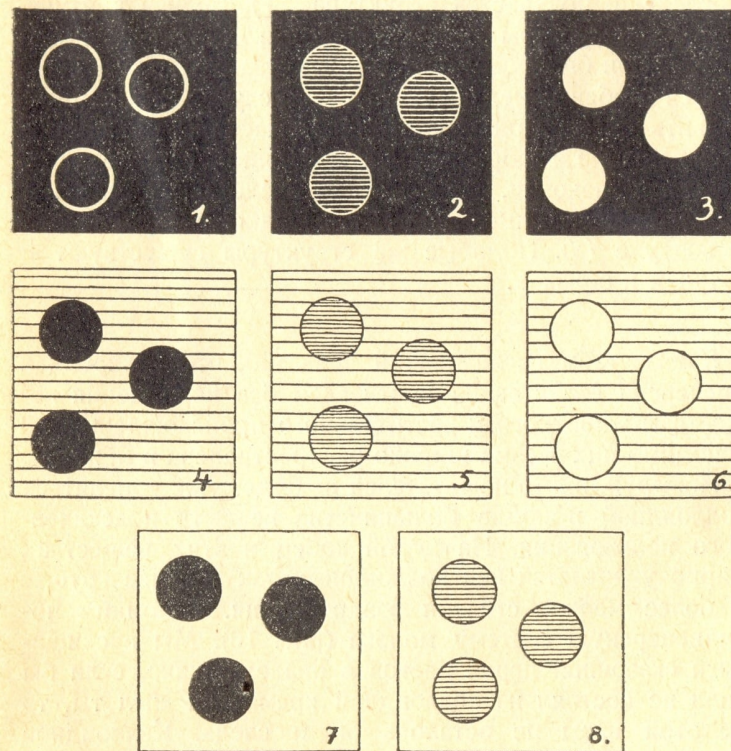


Рис. 19. Дисперсные системы, состоящие из воды.

На схематическом рисунке (рис. 19) зачерненные поверхности изображают твердые, заштрихованные—жидкие и белые—газообразные формы воды. Раздробляющая среда изображена в виде квадратов, раздробленное вещество— в виде кружков. Лед при особенно низкой

температуре изображен на квадрате 1. Обычные структурные формы льда вблизи точки плавления—на квадрате 2. Мутный искусственный лед—на квадрате 3. На квадрате 4 дано приблизительное представление о структуре в тающем снеге. При смещении воды с жидким воздухом, т.е. при быстром, резком охлаждении последней, получается структура 5¹⁾. Вблизи критической температуры парообразования структура имеет вид 6. При быстром и сильном замерзании тумана образуется особенно мелкий снег. В этом случае можно представить себе твердые коллоидные частицы льда помещенными в газообразной дисперсионной среде—воздухе (7). И, наконец, туман можно представить себе как мельчайшие частицы воды, коллоидно раздробленные в воздухе (8). Подобные же структуры существуют и в тучах и облаках.

Множеством исследований доказано, что коллоидная дисперсия свойственна почти всем без исключения веществам животного и растительного происхождения, но и помимо них весьма широко распространена в природе.

Пожалуй, никто из читателей не будет уже удивляться коллоидной природе большинства веществ повседневного пользования. На худой конец в этих веществах мирно уживаются как коллоидные, так и более грубые и более мелкие степени раздробления. Вспомним полидисперсную систему молока (рис. 16). Мы восхищаемся сказочной игрой цветов в опале; однако, если бы опал не состоял из коллоидной кремневой кислоты, то от этой игры не осталось бы и следа. Коллоидное золото, добавленное к стеклянной массе, окрашивает ее в рубиново-красный цвет. Молочное стекло, при помощи которого мы рассеиваем слишком резкий свет электрической лампочки, делается из плавикового шпата и обладает молочным цветом вследствие содержания

¹⁾ Такая структура может получиться при охлаждении растворов многих жидкостей в воде. Чистая вода такой структуры, однако, не дает. *Прим. ред.*

в нем фтористого кальция в коллоидном растворе. При изготовлении зеркал, к которым мы так привыкли в повседневном быту, серебро при определенных условиях осаждается на стекло из металлического коллоидного раствора. Все мы знаем преимущества современной электрической лампочки с металлической нитью перед старой угольной; однако мало кто знает, что при изготовлении нити из металлов вольфрама, тантала и пр. последние раздробляют в мельчайший коллоидный порошок, который смешивают с определенным жидким коллоидным составом и, продавливая эту коллоидную массу через тончайшие отверстия, получают нить накала.

Для изготовления фарфоровых и керамических изделий служит белая глина, которая предварительно подвергается длительной обработке, переводящей ее в достаточно эластическое состояние. Сначала ее механически растирают, отмучивают и пр., а затем оставляют лежать в течение месяцев. При этом в ней, вследствие разложения веществ, развивается целый ряд газов, которые частью происходят из самого сырья, частью же занесены извне вместе с водой, служившей для замешивания. Масса, как говорят, загнивает, и результат этого гниения, очевидно, заключается в том, что под влиянием имеющейся в ней щелочи образуется более дисперсный коллоид. Вещества, получающиеся при кислотном брожении разлагающейся массы, связывают щелочи и вызывают осаждение коллоидного раствора. На каждой постройке употребляют цемент. Все кирпичи, из которых построены городские здания, связаны между собой при помощи цемента. Полезные качества цемента зависят от его коллоидных свойств. Жидкий пластичный цемент при высыхании становится твердым, как камень. Образующаяся коллоидная замазка великолепно скрепляет кирпичи, а в железобетоне защищает железо от ржавчины.

Однако довольно примеров. О них можно говорить почти без конца. Мы еще вернемся к примерам, когда приобретем дальнейшие сведения об особенностях коллоидного состояния.

Важнейшим фактором, от которого зависит наличие коллоидного состояния, несомненно является определенная величина частиц.

Поэтому, если мы хотим получить коллоидный раствор, то мы должны придать частицам подходящую величину. Тут возможны два пути.

Получая из молекулярного раствора осадок, мы путем сгущения (конденсации) собираем молекулы в более крупные частицы. Когда эти частицы достигнут размеров коллоидных частиц, мы прекращаем осаждение и конденсацию. С другой стороны, можно, конечно, исходным материалом взять более грубую взвесь и, путем постепенного раздробления частиц (диспергирования), довести их до размеров коллоидной частицы. Для достижения коллоидного состояния было придумано множество остроумных методов, при которых применяются и химические, и электрические, и оптические, и механические пути. Мы остановимся только на двух способах, при помощи которых можно получить дисперсию твердых веществ в жидких.

Когда Бредиг в конце истекшего столетия производил опыты над разложением различных жидкостей при помощи вольтовой дуги, он заметил, что при по-

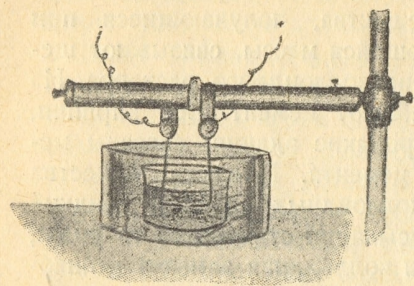


Рис. 20. Распыление твердых тел мощностью вольтовой дуги.

гружении дуги, получавшейся между концами двух металлических проволок, в чистую воду, металл начинает распыляться, а жидкость мутнеть.

Для повторения его опытов возьмем низкий стакан, наполненный водой и погруженный в другой сосуд, содержащий лед (рис. 20). В стакан спустим два се-

лектродами можно по желанию изменять. По включении тока и соответственной установке электродов между их концами возникает зеленовато-белая вольтова дуга, и одновременно начинается распыление серебра в виде зеленовато-оливкового тумана. Среди этого распыленного серебра можно соответствующими способами обнаружить значительное количество частиц, по размерам соответствующих коллоидам. Образование коллоидных металлов можно еще ускорить, прибавляя к воде немного соды. В распылении принимает особое участие катод. Это можно ясно обнаружить, применяя вместо серебряных золотые электроды. В этом случае при тихом потрескивании и шипении дуги с катода идет обильное выделение синего или пурпурного коллоидного золота.

Ученый работает, не задумываясь над практическим применением своих достижений; это дело практика. Однако часто простейшие лабораторные опыты приобретают большое значение для техники.

Небольшие количества вещества при достаточном терпении могут быть растерты в агатовой ступке до степени коллоидного раздробления, а затем при прибавлении воды переведены в коллоидные растворы. Так получается, например, коллоидный раствор вольфрамовой кислоты. Возникает вопрос: можно ли добиться того же в крупном, заводском масштабе. Процесс раздробления, хотя бы и в ступке, в общем идентичен размалыванию. Первобытный человек, подобно современным дикарям, размалывал хлебные зерна, растирая их между камнями или раздробляя каменным пестиком в каменной ступке. Только путем долгой эволюции додумались до вращения одного камня на другом и применения силы животных для вращения камня. Как известно, в дальнейшем сила животных последовательно заменялась силой ветра, воды, пара, электричества и т. д. Современная вальцовая мельница постепенно вытесняет ветряк и водяную.

Ни на одной из общепотребительных современных мельниц невозможно добиться раздробления вещества

до размера коллоидных частиц. Частицы зерна даже самого тонкого размола по крайней мере в пятьдесят раз крупнее коллоидных частиц. Однако существует особая система мельниц, в которых подлежащие раздроблению частицы подвергаются ударам особых ударников, помещенных на быстро вращающемся колесе. Увеличив число оборотов этого колеса, внеся кроме того некоторые усовершенствования и прибавляя к размалываемому веществу достаточное количество воды, Плаусон построил мельницу совершенно исключительного действия, так называемую коллоидную мельницу, в которой вещества размалываются до размеров коллоидных частиц. Это явно — рекорд мельничного искусства, который в будущем, однако, быть может, будет превзойден молекулярной мельницей.

В середине и внизу корпуса коллоидной мельницы устроены прочные выступы, между которыми вращается ударное колесо. Благодаря эксцентричному расположению колеса, содержимое мельницы находится в постоянном движении, и все новые взвешенные в жидкости частицы попадают в места наиболее энергичного размола, т.е. между ударником и выступом. При колесе, снабженном 8 ударниками и делающем 12 000 оборотов в минуту, взвешенные частицы в минуту испытывают до 96 000 ударов. Они попадают под удары лопастей, несущихся с невероятной быстротой и силой, и, не имея возможности ускользнуть, раздробляются до того мелко, что получившиеся частицы можно увидеть только при помощи ультрамикроскопа; другими словами, частицы находятся в состоянии коллоидного раздробления. Выбор соответствующего растворителя, а также веществ, ускоряющих процесс раздробления, весьма существен для коллоидного размола.

В практическом отношении описанная мельница обещает многое. Жиры, которые удается омылить только путем долгого кипячения со щелочами, в коллоидной мельнице поддаются омылению в самый короткий срок. В коллоидной мельнице легко также удастся извлечь жиры из различных смесей. Для этого к последним

прибавляют вещества, растворяющие жиры, а также воду: все это взмучивается в мельнице, а затем жидкость отстаивается, при чем она разделяется на два слоя — раствор жира и водянистый раствор прочих веществ. Кроющая способность большинства минеральных красок значительно повышается благодаря коллоидному размолу. Необработанные фосфаты путем размола можно раздробить до состояния, при котором они могут быть впитаны растениями; другими словами, этим путем можно превратить фосфаты в удобрение без применения серной кислоты, которую обычно употребляют для этого. Уголь можно раздробить в масле и таким образом получить горючее, обладающее весьма большой калорийностью. Заканчивая на этих примерах описание коллоидной мельницы, мы оставим область техники, в которую мы невольно углубились, и снова обратимся к ознакомлению со своеобразными свойствами коллоидного состояния.

Ровно сто лет тому назад английский ботаник Броун обратил внимание на одно явление, которое в настоящее время доступно наблюдению всякого, имеющего мало-мальски хороший микроскоп. Предметом наблюдения обычно избирают особенно подходящие для этого взвеси, как, например, растертую в воде тушь, взвесь ультрамарина, киноvari или кармина, грубую взвесь гуммигута в воде, к которой прибавлено немного алкоголя, млечный сок растений и пр. При определенной постановке наблюдения (лучи света должны падать на предметный столик микроскопа под некоторым углом), достаточном терпении и соответствующей силе освещения можно увидеть, что частички в наблюдаемой капле находятся в оживленном движении и блещут всеми цветами радуги. Так как определенные частицы то исчезают то вновь появляются, можно понять, что движение их происходит не только в одной плоскости, а во всех направлениях.

При затемненном поле зрения, т.е. в ультрамикроскопе, можно еще лучше наблюдать эту пляску частиц.

Зигмонди уже давно сравнивал движение частичек в коллоидном растворе золота с пляской мошек в лучах летнего солнца. «Трудно, — пишет он, — разобраться в этой суете прыжков и пляске то

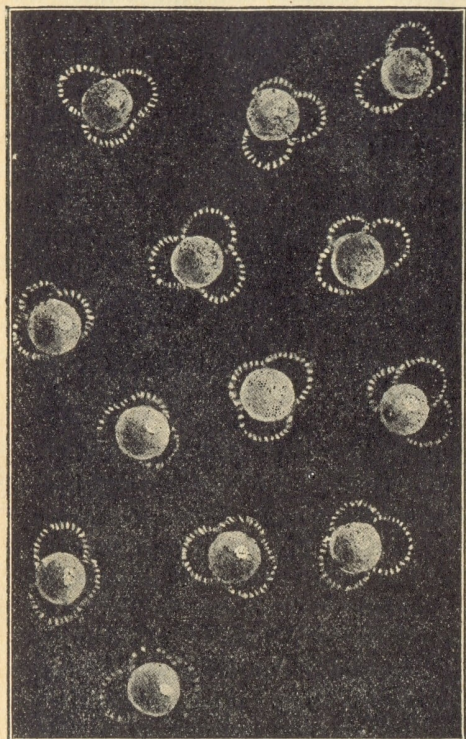


Рис. 21. Броуновское движение молочных жировых шариков под ультрамикроскопом.

снова удаляющихся частиц. Эти движения свидетельствуют о постоянном перемешивании раствора, которое может продолжаться днями, месяцами и даже годами, если мы имеем дело с достаточно стойким раствором. С другой стороны, движения более крупных частиц золота, которые образуют уже переход к обычному осажденному золоту, отличаются большим спокойствием и медленностью». Счастливый обладатель ультрамикроскопа может при рассмотрении жировых шариков молока, размер которых равен всего нескольким μ , наблюдать картину, изображенную на рис. 21, на котором пунктирными кружками обозначены предельные положения, занимаемые шариками во время броуновского движения за некоторый промежуток времени. Установлено, что эти движения тем оживленнее, чем меньше размеры частиц, а следовательно, они яв-

ственное выступают в коллоидных растворах, чем в более грубых дисперсиях. В настоящее время научились уже фотографировать броуновские движения и даже, более того, снимать их кинематографически. На рис. 22 и 23 можно проследить путь (вернее путь, проектированный на плоскости), проходимый отдельными частицами. То они пляшут вокруг какого-нибудь среднего положения, то движутся по зигзагообразной линии, то, наконец, бурно устремляются во все стороны и так же стремительно возвращаются обратно. И что особенно странно, — эти движения могут как будто продолжаться неограниченное время и совершенно независимы от внешних влияний.

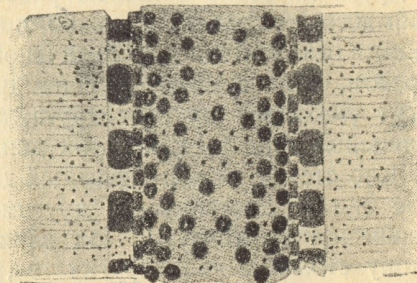


Рис. 22. Кинематографический снимок броуновского движения в млечном соке каучукового дерева.

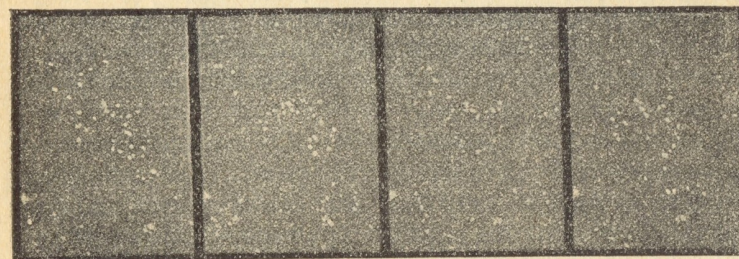


Рис. 23. Броуновское движение (отрезок кинофильма).

Для объяснения описанных явлений было предложено множество разнообразных гипотез. Предполагалось, что в самом растворе должны находиться какие-то силы, которые вызывают пляску частиц. Однако в конце концов броуновское движение удалось объяснить на

основании законов, общих для всех газообразных тел. Известно, что газы обладают свойством равномерно распространяться в каждом предоставленном им помещении. Следовательно молекулы их располагаются друг от друга на столь большом расстоянии, что силой их взаимного притяжения можно пренебречь как совершенно незначительной величиной. Молекулы, таким образом, мало влияют друг на друга; они без помехи могут удаляться друг от друга, а следовательно, прямолинейно двигаться, пока их движение не будет остановлено стеной, ограничивающей данное помещение, или пока они не столкнутся с другими молекулами, встретившимися на их пути. Под влиянием толчка они, по закону столкновения упругих тел, резко меняют направление движения. Таким образом бес-

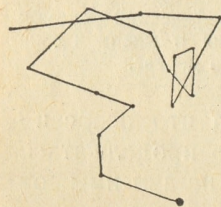


Рис. 24. Путь газовой молекулы.

численные газовые молекулы с постоянно меняющейся скоростью непрерывно движутся по зигзагообразным путям (рис. 24). При неизменяющихся условиях средняя скорость молекулы, а также средняя энергия движения (кинетическая энергия) будут иметь совершенно определенное и неизменное значение в пределах данной замкнутой массы газа. При этом сумма кинетической энергии всех частичек равна запасу тепла в данной массе.

Мы только что говорили, что скорость броуновского движения стоит в прямой зависимости от величины частиц; с другой стороны, мы помним, что дисперсоиды располагаются друг за другом непрерывным рядом: за грубыми взвесями следуют коллоидные растворы, а за ними истинные, молекулярные растворы. Следовательно в этих последних также должно существовать броуновское движение, которое пока недоступно нашему наблюдению; там же, где мы можем его наблюдать, мы, очевидно, видим более грубую картину движений, являющихся следствием стремительных тепловых движений молекул. Дело в том, что наблю-

даемые нами коллоидные или даже еще более крупные частицы непрерывно подвергаются форменной бомбардировке со стороны молекул растворяющей среды. Таким образом движущая сила броуновского движения в конечном счете зависит от молекулярных толчков. Вот еще пример, как путем длительных исследований и умозаключений человек разгадывает загадки природы. Степень интенсивности броуновского движения дает нам некоторые указания на взаимоотношения, существующие в дисперсных системах.

Мы, насколько возможно, познакомились с тем, что такое коллоидный раствор. Укажем, что жидкие коллоидные растворы обычно называют золями (от латинского слова *solutio* — раствор). Мы уже говорили, что в коллоидных растворах растворяющая среда отнюдь не должна обязательно быть водой. Этой средой может служить вода, алкоголь, бензол, масло, глицерин и многие другие вещества. Поэтому можно говорить о водных золях, или гидрозолях, алкозолях, бензозолях, олеозолях, глицерозолях и пр. Золь, это — дисперсная система в жидкой среде. Что касается противопоставления жидкого состояния двум другим: твердому и газообразному, то оно как будто бы не нуждается в пояснениях.

Так, по крайней мере, думал знаменитый естествоиспытатель Карл Эрнст Бэр, когда ему в его студенческие годы был на экзамене предложен вопрос: сколько различных состояний вещества ему известно. Три: твердое, жидкое и газообразное, — был его ответ. Однако экзаменуемый, который не мог еще по тем временам быть коллоидным химиком, не удовлетворился этим ответом и напомнил ему о некоторых пластических состояниях, которые нельзя назвать ни твердыми ни жидкими и которые особенно часто встречаются в живой природе. Преподаватель несомненно был прав, и мы все часто имеем возможность наблюдать эти состояния.

Еще будучи детьми, мы знали некоторые свойства

студня и желе. Жидкую массу желе мать наливала в форму и выставляла на окно для того, чтобы она застыла. Мы, однако, прекрасно знали, что этой массой, пока она не застыла, можно полакомиться так, чтобы мать этого не заметила: всякий изъяс немедленно затягивается, и в готовом застывшем студне невозможно обнаружить следов повреждения. Готовое застывшее блюдо легко выпадает из формы, очертания которой оно в точности повторяет. Если бы форму заполняла не масса студня, а камни или вода, то первые при опрокидывании из формы просто выпали бы, сохраняя свои первоначальные очертания, вторая же растеклась бы. Однако жидкое желе заполняет форму точно так же, как и вода, и все же оно по застывании не растекается. Желе, как известно, можно резать на куски. Кроме желе и студня описанными свойствами обладают также различные подливки, соусы и пр.

Если мы поставим вопрос, от чего зависит описанная консистенция некоторых веществ, то получим следующий ответ: коллоидные растворы—золи—при определенных условиях и обстоятельствах могут переходить в плотное состояние, в так называемые студни, или желе (от латинского слова *gelu*—застывание).

Таким образом желе, это—более или менее богатый жидкостью продукт застывания зольей, а самый процесс, при котором происходит переход золя в гель, называют коагуляцией (от латинского слова *coagulo*—створаживаться, сбегаться).

Следует, однако, различать осажденные хлопьевидные гели от собственно студней—продуктов желатинирования раствора или набухания этих хлопьев.

Вышеприведенный пример открыл нам уже многие особенности студнеобразных веществ. Нам остается только показать, в какой мере под влиянием коагуляции и набухания меняется степень раздробления коллоидной системы и какие еще своеобразные изменения могут быть обнаружены в ней. Кроме того надо будет еще по мере наших сегодняшних возможностей попытаться объяснить все эти процессы.

Возьмем три вещества: воду, разбавленный раствор крахмала и свежий белок куриного яйца. Вольем их на поверхность стола и заметим, что вода растекается быстро, раствор крахмала медленно, а белок того медленнее. Вода более подвижна, чем оба остальных вещества. Крахмал и белок, это—эмульсоиды, которые даже в жидком состоянии отличаются чрезвычайной гугоподвижностью. Ту же самую мысль можно выразить, сказав: у них большое внутреннее трение, или большая вязкость. При желании, в определенный промежуток времени можно точно определить, насколько одно вещество более вязко, чем другое. Для этого

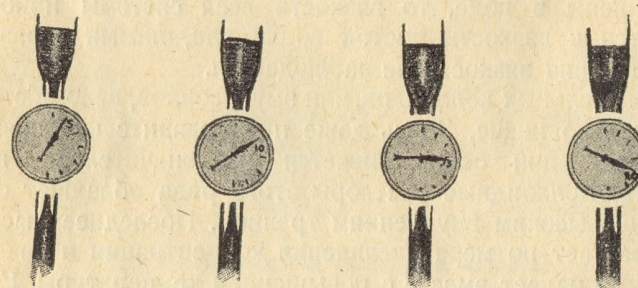


Рис. 25. Измерение вязкости.

измеряют время, необходимое для того, чтобы определенное количество исследуемой жидкости протекло через узкую трубочку. Чем более вязка жидкость, тем больше времени для этого потребуется. Приборы, служащие для определения вязкости, носят название вискозиметров. Они состоят из U-образной трубки, одно колено которой широко, а другое прерывается очень узкой, как говорят, капиллярной, трубкой. В это колено всасывается некоторое количество испытуемой жидкости, и с помощью секундомера определяется время, необходимое для того, чтобы уровень жидкости опустился до определенной метки (рис. 25). Стрелка на рис. 25 схематически указывает, что при таком опыте различные жидкости обнаруживают очень различную вязкость.

Производя такие измерения, мы узнаем, что коллоидные частицы в той или иной степени могут определять вязкость жидкой дисперсионной среды, а следовательно, и всей системы. Сама собой напрашивается мысль, что по мере увеличения концентрации частиц, т.е. при увеличении количества раздробленного вещества, увеличивается вязкость всего раствора. Однако степень этого увеличения не одинакова для всех коллоидов.

Так, например, коллоидная взвесь твердых частичек в жидкости (суспензии, см. стр. 33) даже при сравнительно высокой концентрации обладает лишь весьма незначительной вязкостью. Если, например, частицы взвешены в воде, то вязкость всей системы приближается к вязкости чистой воды, или, иными словами, увеличения вязкости не наблюдается.

У капельных коллоидов, или эмульсий, дело обстоит несколько иначе. Здесь даже при сравнительно низкой концентрации обнаруживается уже значительная вязкость. Коллоидные растворы этого рода обладают особенно высоким внутренним трением. Последнее быстро возрастает по мере увеличения концентрации и так же быстро падает вместе с повышением температуры. Если мы, например, подвергнем раствор желатины действию различных температур, то мы увидим, что при повышении температуры внутреннее трение заметно уменьшится; в резкости этого уменьшения можно убедиться, вычертив соответствующую кривую. Для этого вискозиметр сначала ставят в ледяную воду, а затем в воду постепенно повышающейся температуры. Для выполнения измерений пользуются определенным раствором желатины, который, впрочем, готовится очень просто: 2 г желатины размачивают некоторое время в холодной дистиллированной воде; в предварительно взвешенном лабораторном стакане кипятят 150 куб. см дистиллированной воды, добавляют к ней набухшую желатину и непрерывно размешивают до полного растворения; раствору дают остыть и добавляют в него воды до общего веса в 200 г (плюс вес посуды).

Добавление незначительных количеств серно-, фос-

форно- и углекислых солей увеличивает вязкость растворов желатины; наоборот, добавление бромидов, иодидов и некоторых других продуктов уменьшает ее. Можно было бы сказать еще многое о явлениях вязкости, однако мы принуждены ограничиться только наиболее простыми и понятными вещами.

Причина нормально наблюдаемого высокого внутреннего трения у капельных коллоидов, среди которых, между прочим, назовем белки, крахмал, гуммиарабик, казеин, каучук и др., очевидно, зависит от сильной гидратации (связи с водой) коллоидных частичек. Частички раздробленного вещества не ограничиваются

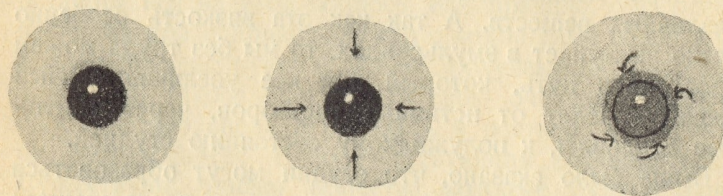


Рис. 26. Лиофильные коллоидные частицы.

резко от раздробляющей среды; они как бы покрыты растворителем, как плащом (рис. 26). Они, если так можно выразиться, связывают растворитель и, соответственно с этим, получили название *лиофильных* коллоидов, а когда растворителем служит вода, то *гидрофильных* (по-гречески значит—любящих воду). Постараемся объяснить это хотя бы наиболее простым примером. Представьте себе тихо протекающий перед вами ясный ручеек. Если мы в этот ручеек будем бросать сотни круглых непроницаемых для воды шаров, то они постепенно будут передвигаться водой и скоро или осядут на дно или будут унесены из пределов нашего поля зрения. Теперь представьте, что вместо шаров мы набросали в ручеек сотни губок; они сразу намокнут и быстро запрудят течение своей малоподвижной массой.

Теперь нам также станет понятным, почему в растворах сильно лиофильных капельных коллоидов менее заметны явления помутнения. Последние, как известно, зависят от различной преломляющей способности растворителя и растворенного вещества. Поэтому в тех случаях, когда нет резкой границы между обоими этими веществами, явления помутнения менее заметны. И при ультрамикроскопии бывает очень трудно заметить частицы лиофильных коллоидов; то же надо сказать и о наблюдении броуновского движения. Последнее, между прочим, вообще менее явно в вязких растворах.

Мы только что говорили, что вязкость коллоидного раствора можно значительно повысить прибавлением различных веществ. А так как эта вязкость особенно резко выступает в эмульсиях, то мы без труда можем проследить путь, который при все увеличивающейся вязкости ведет от истинных растворов, через капельные коллоиды, к полужидкому состоянию студней.

Выше было сказано, что студни могут образоваться путем желатинирования, коагуляции и последующего набухания. Способность к желатинированию и набуханию больше всего свойственна капельным коллоидам, которые, впрочем, могут и коагулировать при прибавлении значительных количеств солей. Если они доста-

точны вязки, то при охлаждении они желатинируются. Для превращения в студень коллоидный раствор, естественно, нуждается в некотором времени. Самый процесс студнеобразования был неоднократно изучен под ультрамикроскопом. На рис. 27 изображена характерная картина застывающего раствора стеарата калия, переходящего в студень. Изображенному состоянию предшествовало оживленное мерцательное броуновское движение ультрамикронных. Из последних раньше всего образуются небольшие изолированные хлопья, которые постепенно вырастают в тонкие извитые нити. Эти нити,

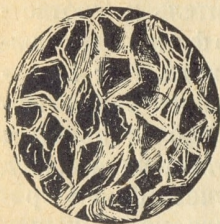


Рис. 27. Процесс желатинирования под ультрамикроскопом.

Эти нити,

продолжая расти, утолщаются и переплетаются в виде нежной сети. На нашем рисунке изображен момент, когда петли этой сети достигли уже достаточной толщины; к этому времени коллоид принимает уже студнеобразную консистенцию. При медленном охлаждении студень получается при меньшем понижении температуры, чем при быстром. При соответствующем нагревании полученный таким путем студень может быть вновь ожижен. Студни, обладающие вышеописанным свойством, называют поэтому обратимыми гелями. Обратимыми потому, что эти студни после нагревания вновь могут быть переведены в жидкий коллоидный раствор.

Нам кажется целесообразным несколько подробнее остановиться на этом вопросе. Как правило, обратимые вещества при соприкосновении с водой сами собой коллоидно дисперсируются. Осадок, получающийся при выпаривании такого раствора, в свою очередь, обладает способностью снова переходить в раствор, как только он соприкоснется с соответствующим растворителем. Существуют, однако, вещества, которые, будучи однажды коллоидно растворены, после высушивания теряют способность вновь растворяться, несмотря на добавление достаточного количества растворителя: они просто потеряли обратимость, почему и называются необратимыми веществами. Так, например, коллоидное золото, полученное путем распыления золота с помощью вольтовой дуги (рис. 20), принадлежит к необратимым коллоидам.

Существует, однако, возможность защиты от такой необратимости. И в распоряжении коллоидов имеются, так сказать, «агенты внешнего надзора», которые как бы следят за тем, чтобы не наступили нежелательные явления, хотя бы, например, вышеописанная обратимость. Простой пример объяснит нам это. Наполним две колбы бесцветным водным раствором хлористого свинца. При пропускании сероводорода через раствор в первой колбе на дно ее осядет грязнокоричневый осадок сернистого свинца. Если мы теперь добавим во вторую колбу незначительное количество свежеприго-

товленного, еще теплого раствора желатины и пропустим в нее сероводород, то сернистый свинец не оседет на дно, а мы получим прозрачный коричневый золь—коллоидный раствор сернистого свинца в воде. Таким образом желатина своим присутствием способствовала образованию коллоидного раствора. Будучи сама коллоидом, она для золь сернистого свинца послужила в качестве защитного коллоида. Капельные коллоиды во многих случаях обладают свойством устранять необратимые изменения или хлопьеобразование в суспензиях. К таким эмульсиям относятся, между прочим, желатина, альбумин яичного белка, казеин, кровяной пигмент, трагант, некоторые продукты расщепления белков, танин, а также многие другие защитные коллоиды, защитные свойства которых весьма различны. Желатина защищает лучше, чем казеин, казеин лучше, чем альбумин и т. д.

При длительном хранении незащитные коллоиды могут даже без прибавления солей начать коагулировать. При этом наступают изменения цвета раствора; так, например, темнорубиновый золь золота становится фиолетовым, затем синим, и, наконец, выпадает.

Величина защитной силы измеряется так называемым золотым числом. Золотым числом для данного защитного коллоида называют количество миллиграммов последнего, которое нужно прибавить к 10 куб. см золь золота для того, чтобы предохранить его от перемены красного цвета на фиолетовый при приливании 1 куб. см 10% раствора поваренной соли. Естественно, что, чем меньше золотое число данного капельного коллоида, тем сильнее его защитное действие; так, для желатины оно в среднем равно 0,008, для казеина 0,01, для траганта 2,0.

Мы не можем еще с полной определенностью сказать, чем объясняются описанные защитные свойства. Следует думать, что во многих случаях образуются какие-то соединения суспензоида и эмульсоида и при этом обратимость защитного коллоида переносится на все образование. С другой стороны, здесь, возможно, играет

роль так называемая адсорбция, при которой защитные частицы окружают частицы суспензоеидов и противодействуют их взаимному сближению. (Об адсорбции подробнее см. ниже.) Последнее явление схематически изображено на рис. 28, где защитные частицы затрудняют скупивание—коагуляцию. Возможные случаи обратимости, необратимости и, наконец, защиты

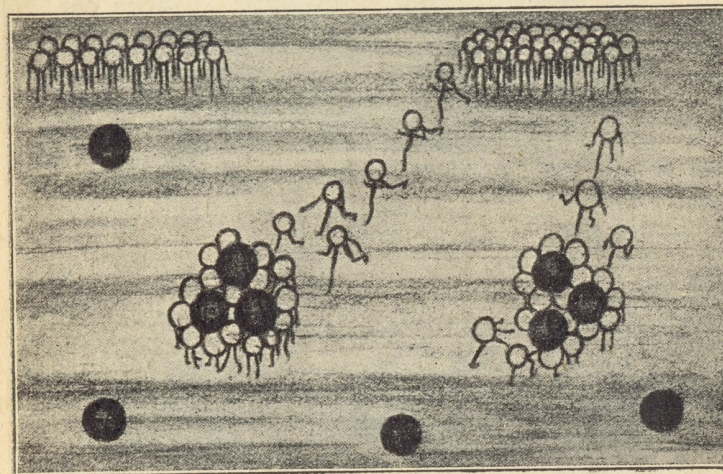


Рис. 28. Защитные коллоиды стремятся помешать сближению частичек суспензоеидов.

благодаря действию защитных коллоидов наглядно изображены на рис. 29.

После этого необходимого отступления обратимся снова к студням. Мы говорили, что капельные коллоиды лиофильны, что они вступают в особенно тесные соединения с растворителем. Если этим последним является вода, то они могут связать ее в большом количестве. Как правило, в студнях связано очень много воды. Если налицо имеются сравнительно значительные количества раздробленного вещества, то коллоидные частицы начинают насасывать воду, и вся система значительно увеличивается в объеме. Она набухает. Набухание

также является одним из важных отличительных свойств капельных коллоидов.

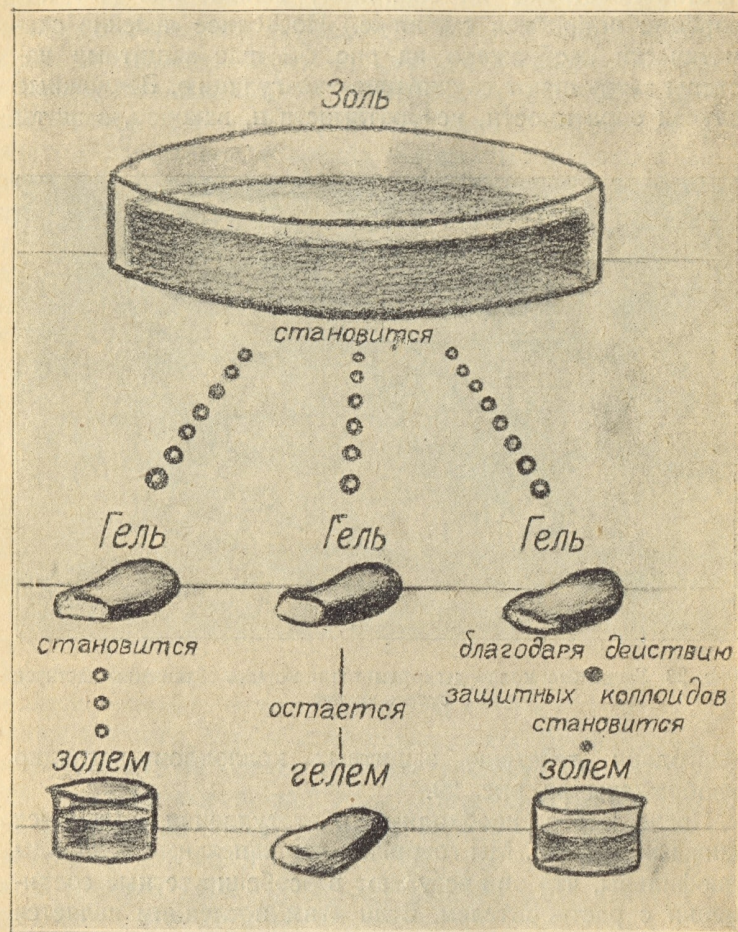


Рис. 29. Возможные случаи изменения коллоидного состояния.

Можно привести множество примеров набухания. Сухой кусок клея набухает при соприкосновении с водой. Достаточно подышать на тонкий листок желатины, что-

бы она набухла. Вместе с выдыхаемым воздухом на одну из сторон листка попадают пары воды. Сторона эта набухает, увеличивается в объеме, и листок сворачивается. Постепенно разность в содержании воды на обеих сторонах листка выравнивается, и последний снова выпрямляется. Если наполнить сухим горохом бутылку, залить его водой, закупорить и оставить лежать на ночь, то горох набухнет и разорвет бутылку. Сила, развиваемая при набухании, чрезвычайно велика: набухающие корни деревьев могут разрывать скалы.

Скорость набухания сильнее всего в начале процесса и постепенно ослабевает к концу его. Возможность набухания, однако, ограничена; как только данное вещество насыщено жидкостью, набухание прекращается. Сухая желатина в холодной воде образует сильно набухший студень, в горячей же она коллоидно растворяется. Таким образом в процессах набухания играет также роль температура. Иногда небольшая часть набухающего вещества может перейти в раствор и при низких температурах. Существуют определенные взаимоотношения между набухающим веществом и впитываемой жидкостью. Например каучук набухает в хлороформе, но не в воде; желатина же — в воде, но не в хлороформе. Наконец, добавление некоторых веществ увеличивает или, наоборот, уменьшает способность к набуханию. Соли, которые, как выше сказано, увеличивают вязкость, соответственно задерживают набухание; они даже вызывают выделение воды, противодействуя набуханию и оживлению коллоидов. Наоборот, соли, которые уменьшают вязкость, содействуют набуханию, ускоряя оживление. Набухание задерживается солями серной и фосфорной кислот и усиливается некоторыми хлоридами, бромиды и т. д. (хлористый и бромистый литий, роданистый калий).

В жизненных процессах набухание играет особенно большую роль, которая весьма подробно изучена.

Протоплазма — основное вещество, из которого строятся живые организмы; ею наполнены живые клетки, образующие их тело. Эта протоплазма представляет

собой один из наиболее замечательных коллоидов. Из сказанного само собой ясно, что вся проблема жизни, над разрешением которой человечество работает с древнейших времен, в сущности является проблемой коллоидной.

Каждая капляка протоплазмы, заключенная в клетке, представляет собой весьма запутанную набухшую коллоидную систему, в общем и целом сохраняющую свойственную ей коллоидную природу. Изменения же в степени набухания происходят за счет так называемых запасных, переработанных в протоплазму веществ. Мышца, например, содержит совершенно определенное количество воды и, кроме того, еще менее прочно связанную воду, впитанную запасными веществами; содержание этой воды меняется в зависимости от условий работы мышцы. В тех местах, где вследствие ослабления процессов окисления образуются соли, способствующие набуханию, в тканях скопляется жидкость и получается отек. Многие исследователи именно так объясняют происхождение отеков. Ограниченные размеры книги принуждают нас здесь, как, впрочем, уже во многих других местах изложения, не останавливаться более на этом вопросе.

Знакомство с явлениями набухания заставляет нас не переоценивать значения осмоса и осмотического давления, которыми до сих пор пытались объяснить все жизненные явления. Во всяком случае нельзя пренебрегать громадной силой, развивающейся при набухании коллоидов. Силой набухания можно также объяснить продвижение воды от корней до верхушки деревьев. Студни достаточно легко пропускают воду и растворенные в ней соли; они же, впрочем, могут ее впитывать и снова отдавать при необходимости. Растворы солей то усиливают то задерживают набухание. Мы уже сравнивали клеточную оболочку с мембраной диализатора и указывали, что такая мембрана представляет собой не что иное как тонкую пластинку студня; следовательно соли, задерживающие набухание, будут значительно уплотнять структуру оболочки. Сама клетка

не нуждается в этих солях, да они и не могут проникнуть в нее, так как благодаря вышеописанному механизму их доступ внутрь клетки затруднен. Наоборот, доступ способствующих набуханию, жизненно необходимых веществ, особенно хлоридов, облегчен, так как они разжижают структуру клеточной стенки.

Постараемся теперь получить некоторое представление о явлениях, происходящих при застывании (желатинировании) и набухании.

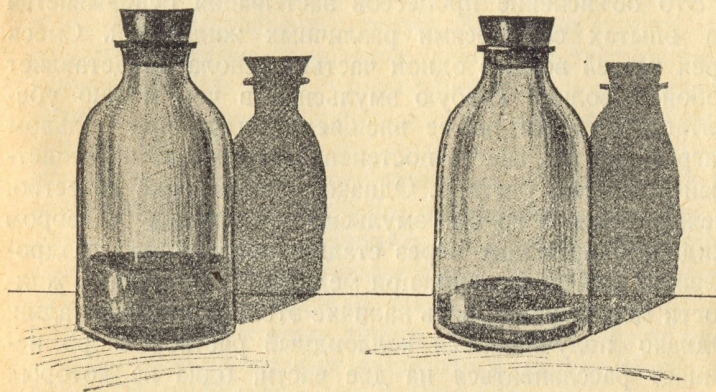


Рис. 30. Распад студня.

Многие из наших читателей, наверно, имели случай наблюдать, что при продолжительном стоянии студни выделяют, как бы выжимают из себя, большее или меньшее количество жидкости. По мере того как студень все более и более сморщивается, вокруг него собирается все большее количество жидкости. Через месяцы, а иногда и годы, количество выделенной жидкости может сделаться весьма большим (рис. 30). Бывший до того однородным студень расслаивается.

При исследовании выделенной жидкости оказывается, что она не представляет собой, например, воду, а содержит в растворенном и разжиженном виде все ве-

щества, входящие в состав студня. Да, собственно говоря, очевидно, и самый студень также образовался благодаря расслаиванию (в этом заключается сущность процесса застывания). Из первоначального коллоидного раствора выделилась некоторая часть, содержащая сравнительно мало воды и много коллоидных частиц, в остатке же оказалось много жидкости, но мало частиц. При старении студней мы, очевидно, имеем дело с явлением того же порядка. Выделенная жидкость представляет собой как бы второй разжиженный коллоидный раствор, образовавшийся из более густого раствора—студня.

Это объяснение процессов застывания основывается на опытах со смесями различных жидкостей. Смесь трех частей воды с одной частью фенола представляет собой довольно грубую эмульсию, в чем можно убедиться хотя бы по ее внешнему виду. При сильном нагревании эта взвесь постепенно переходит в бесцветный истинный раствор. Однако, как нам уже известно, между стадией грубой эмульсии и истинным раствором жидкость проходит через стадию коллоидного раздробления. Действительно, при медленном остывании жидкости можно установить наличие этой последней стадии. Однако получившийся коллоидный раствор скоро начинает расслаиваться на две части, одна из которых содержит много фенола и мало воды, другая же, наоборот,—много воды и мало фенола. Это расслаивание в конечном итоге может повести к полному разделению воды и фенола.

Из всех изложенных выше несколько запутанных описаний можно сделать следующее заключение: желатинирование, это—образование студней путем прогрессивно нарастающего расслоения коллоидных растворов. При этом степень раздробления в студне более груба, чем в исходном растворе. Наоборот, при набухании твердого коллоида раздробление в получившемся студне выше, чем в основном продукте. Очевидно, необходимой предпосылкой для возможности набухания является более грубая, пористая, пенистая структура основного тела; при набухании, как уже сказано, эта грубая

структура переходит в более нежную. Частицы, которые до тех пор были сцеплены, теперь расходятся. Многократно было замечено, что хорошо видимые под ультрамикроскопом частицы коллоидов при набухании становились меньше и труднее различимыми.

Набухшие студни, как правило, эластичны и сохраняют свою форму. Только на этих свойствах основано многообразное применение желатины в кулинарии. При проникновении (диффузии) двух различных истинных растворов в студень, на месте их встречи не образуется, как обычно, равномерного осадка, а вместо этого осадок располагается слоями, подобно, скажем, кольцевым слоям древесного ствола. Засохшие студни часто испещрены более или менее глубокими трещинами и разрывами. Для того, чтобы убедиться в этом, достаточно вылить свежий куриный белок в плоскую тарелку и дать ему высохнуть на воздухе. Сухой остаток окажется разделенным трещинами на множество полей, внутри которых можно еще обнаружить сложные рисунки. Если зимой выставить на мороз стеклянную пластинку, покрытую тонким слоем желатины, то вода, содержащаяся в желатине, замерзнет, как обычно, причудливым узором; если теперь дать пластинке оттаять, то узор оказывается отпечатанным в желатиновом слое.

Для лучшего уяснения прочитанного мы теперь в кратких словах постараемся суммировать основные различия и свойства суспензидов и эмульсидов.

Эмульсиды лиофильны, дают пену, набухают и способны менять степень вязкости. Раствор капельного коллоида обычно бесцветен, но опалесцирует. Капельные коллоиды обладают лишь весьма незначительным собственным электрическим зарядом и отличаются малой чувствительностью к добавлению не слишком больших количеств солей. Они часто служат защитными коллоидами, так как сами обладают способностью к обратимости, т.е. к обратному переходу студня или сухого остатка в коллоидный раствор. Они во многих отношениях родственны истинным растворам. Они в первую очередь свойственны органическому миру.

Суспензоиды, наоборот, лиофобны. Их коллоидные частицы не всасывают жидкости, так что они резко ограничены от растворяющей среды. В связи с этим у суспензоидов не может быть и речи о пенообразовании, набухании и заметной вязкости. Нас не удивит также, что их взвешенные частички особенно явственно видны под ультрамикроскопом и что их броуновское движение весьма оживленно. Суспензоиды обладают довольно значительным собственным электрическим зарядом, и они весьма чувствительны к прибавлению солей. Раствор их почти всегда окрашен и прозрачен. Их сухой остаток в большинстве случаев не переходит снова в коллоидный раствор. Суспензоиды принадлежат к царству необратимых коллоидов. Во многих отношениях суспензоиды родственны более грубым взвесям.

Следует упомянуть, что эмульсоиды могут переходить в суспензоиды, и наоборот. Так, например, при варке мяса или яиц капельно-коллоидный белок сворачивается и приобретает свойства суспензоида. Как известно, в этом состоянии куриный белок можно резать, и в дальнейшем он уже почти не изменяется, если не считать небольшого набухания. Его способность к набуханию оказывается ограниченной, он теряет способность обратимости и не может быть снова переведен в коллоидный раствор. Однако совершенно иначе обстоит дело, если мы высушим белок при обычной температуре; получающийся при этом гель при добавлении воды снова переходит в коллоидный раствор—он обратим и способен к неограниченному набуханию. Сделаем из этого соответственный вывод: ограниченная способность к набуханию определяет сохранность формы, неограниченная—непостоянство последней. Этот вывод также облегчает нам понимание значения степени набухания для жизненных процессов.

Подобно тому как существуют способы вызвать коллоидное состояние, имеются также пути к его уничтожению.

И здесь опыт поможет нам понять явления, происходящие в природе. Мы указывали уже на возможность образования студня путем коагуляции и говорили, что при этом степень дисперсности значительно уменьшается. Было также сказано, что суспензоидам свойственен особенно большой электрический заряд. Этот заряд и является причиной того, что при прибавлении даже незначительных количеств определенных кислот, оснований и солей коллоидные частицы суспензоидов склеиваются, коагулируют (рис. 31). Дело в том, что такие тела, как кислоты, соли и основания, в водных растворах распадаются на так называемые ионы—бродающие носители электрического заряда. В зависимости от того, заряжены ли ионы положительно или отрицательно, их называют катионами или анионами. Теперь легко понять, что положительно заряженные частицы суспензоида вступают в взаимодействие с анионами, а отрицательно заряженные—с катионами. Под влиянием этого взаимодействия коллоидные частицы укрупняются и осаждаются на дно. Ионы, несущие на себе несколько зарядов, конечно, еще более ускоряют процесс коагуляции.

Таким образом, в случае суспензоидов, мы имеем главным образом дело с коагуляцией под влиянием электрических явлений; этого нельзя, однако, сказать про эмульсоиды. Здесь электрические явления не имеют того значения, как, впрочем, и надо было ожидать на основании того, что эмульсоиды носят лишь весьма слабый электрический заряд. Прибавление значительных количеств добавочных веществ прежде всего вызывает выделение жидкости, поглощенной коллоидными частицами, и только после этого может повести к коагуляции.

Как правило, при коагуляции происходит изменение цвета раствора, а следовательно, изменение цвета является первым признаком начавшейся коагуляции. Красный коллоидный раствор золота становится, например, синим, а коллоидный раствор красной краски «Конго» переходит в фиолетово-синий.

Коагуляция может быть вызвана также лучистой энер-

гией (например действием лучей радия), определенным освещением, центрифугированием, встряхиванием с бензолом или другими веществами.

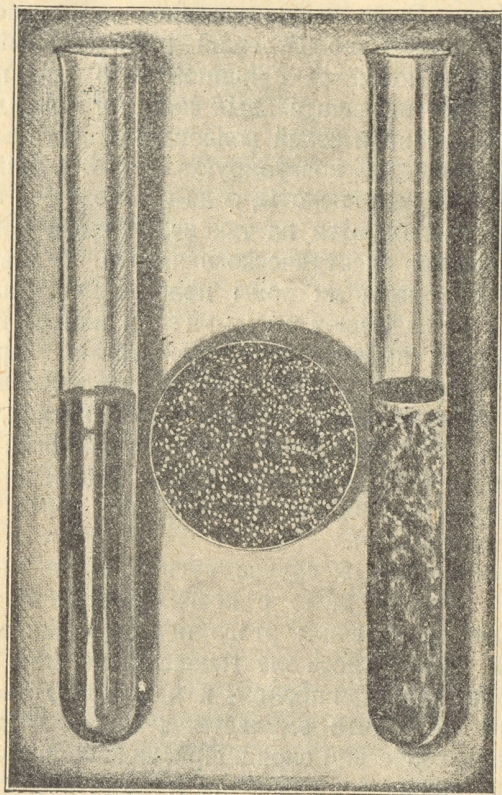


Рис. 31. Справа и слева: коллоидные растворы сажи; раствор справа коагулирован. В середине: стадия, предшествующая коагуляции концентрированного золотого золя.

Коагулированный коллоид может в некоторых случаях подвергнуться обратному диспергированию; наблюдается это чаще с эмульсиями, чем с суспензиями. Противоположное коагуляции явление снова ведет к равномерному распределению коллоидного ве-

щества в дисперсной среде. По аналогии с соответствующим процессом при желудочном пищеварении белков, при котором сложные белки расщепляются на более простые тела, или пептоны, процесс обращения коагуляции называют пептизацией. Подобно тому как образование пептонов в желудке происходит под влиянием особых коллоидных веществ — ферментов, и при пептизации соответственную роль играют так называемые пептизаторы. Коагулированные коллоидные частицы разжижаются, удаляются друг от друга и в виде отдельных коллоидных частиц распределяются в раздробляющей среде. Наш рис. 32 схематически изображает процессы коагуляции и пептизации.

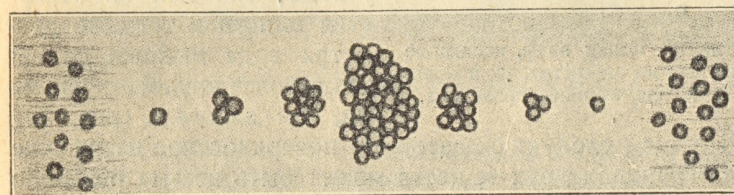


Рис. 32. (Объяснение в тексте.)

Для того, чтобы закончить наш краткий обзор коллоидных явлений, необходимо еще сказать несколько слов о той роли, которую играет в них адсорбция и связанные с ней явления изменения поверхностного натяжения.

Явления эти имеют столь большое значение, что коллоидную химию раньше называли даже стратохимией (от латинского *stratum* — поверхность), а в связи с давно известными явлениями капиллярности (т.е. явлениями всасывания жидкостей в тонкие трубочки-капилляры) — капиллярной химией.

Само собой понятно, что несмешивающиеся соприкасающиеся вещества должны как-то разграничиваться друг от друга и что на поверхности их соприкосновения могут происходить разнообразные явления. По своим свойствам поверхность соприкосновения воды и воз-

духа во многих отношениях подобна эластичной перепонке. Висящая капля воды падает только при условии, если ее собственный вес может преодолеть силу упругости этой перепонки. Сила, обуславливающая натя-

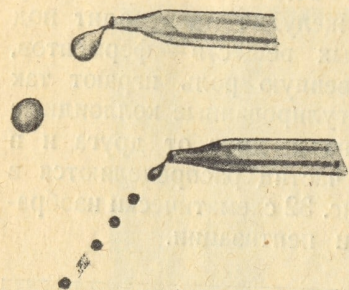


Рис. 33. Капли воды, капающие из того же отверстия, что и капли алкоголя, крупнее последних.

жением поверхности, называется поверхностным натяжением. Размеры, до которых должна дойти капля для того, чтобы оторваться, позволяют судить о величине поверхностного натяжения. У алкоголя величина эта, например, много меньше, чем у воды, так как из отверстия одного и того же диаметра вода выливается гораздо более крупными каплями, чем алкоголь (рис. 33).

В общем следует сказать, что поверхностное натяжение на границах двух веществ может быть весьма различно как в случае границы двух жидких тел, так и в случае границы жидкого тела с твердым. Если влить немного масла в смесь воды и алкоголя определенного удельного веса, то масло будет плавать в ней в виде шара. Если теперь, добавив к смеси немного воды, повысить этим ее плотность, то масло поднимется вверх и расплывется по поверхности воды (рис. 34). Очевидно, поэтому, что внутри жидкости существуют иные соотношения, чем на ее поверхности. Заметим теперь, что общая поверхность соприкосновения коллоидных частиц с раздробляющей средой сравнительно очень велика.

В последнем можно очень легко убедиться путем простого арифметического расчета. Куб с ребром в 1 см обладает объемом в 1 см³ и поверхностью в 6 см². Если мы теперь начнем делить этот куб на все меньшие и меньшие кубики, то по мере возрастающего деления естественно будет увеличиваться их общая поверхность. Тысяча кубиков общего объема в 1 см³ обладают, например, в 10 раз большей поверхностью, чем исходный

куб (рис. 35). Миллион кубиков, у которых ребро будет уже равно 0,1 мм, обладают общей поверхностью в 600 см²; миллиард кубиков с ребром в 1 микрон имеют поверхность в 6 м² и, наконец, триллион кубиков с ребром

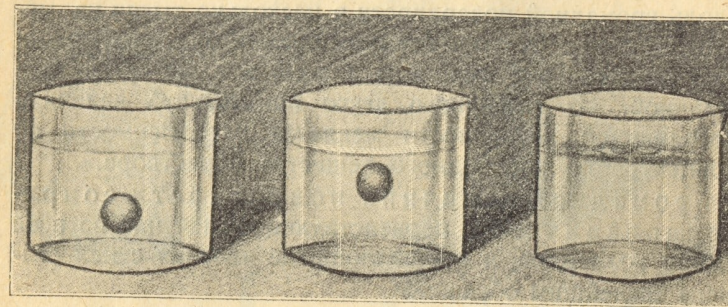


Рис. 34. Капля масла в различных смесях воды и алкоголя.

в 0,01 микрон обладают уже поверхностью в 600 м². Если продолжать деление и дойти до квадриллиона (тысяча

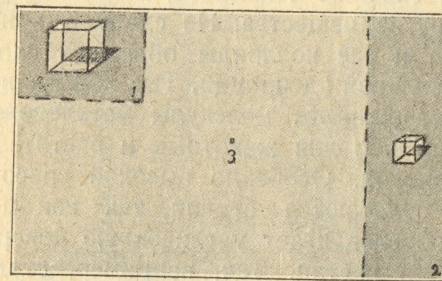


Рис. 35. Рост суммарной поверхности при возрастающем дроблении куба:

1.	число кубов	1	Длина ребра	1 см	Поверхность	6 см ²
2.	"	8	"	0,5 см	"	12 "
3.	"	1 000	"	1 мм	"	60 "

триллионов) кубиков, то их общая поверхность будет равна уже 6 000 м², т.е. площади, на которой можно построить прекрасный дом с большим садом, огородом и пр. Последние кубики имели бы ребро длиной в 1 микрон,

т.-е. они как раз соответствовали бы наиболее мелким коллоидным частицам, находящимся уже на границе молекулярного деления. Если представить себе, что 1 см^3 таких мельчайших коллоидных частиц растворен в 100 см^3 воды, то частицы будут соприкасаться с водой вдоль громадной поверхности в несколько тысяч кв. метров. В литре раствора эта поверхность будет равняться уже площади в 1 километр длиной и в 50—60 метров шириной. Из сказанного легко понять, что величина пограничной поверхности меняется в зависимости от концентрации коллоидного вещества в растворе.

Громадная величина поверхности соприкосновения имеет первенствующее значение во всей химии коллоидов, и все коллоидные явления с ней связаны теснейшим образом.

На всякой поверхности соприкосновения возникает целый ряд химических, физических и электрических взаимодействий, значение которых по мере разворачивания поверхности растет с чрезвычайной быстротой. Вследствие этого вещества, обладающие большой поверхностью, склонны связывать, всасывать или адсорбировать другие вещества. Не следует, конечно, удивляться, что и все коллоиды обладают способностью к особенно сильной адсорбции. Так, коллоидные частички белка задерживают молекулы метиленовой синьки; то же характерно для животных и растительных коллоидных волокон. Особенно высокой способностью к адсорбции отличаются студни, так как их сетчатая структура обуславливает увеличенную поверхность соприкосновения частиц. Так, например, студень кремневой кислоты настолько сильно связывает фуксин, что его невозможно отмыть повторным сильным промыванием. Способность к адсорбции растет вместе с размерами поверхности и зависит от природы как адсорбирующего, так и от адсорбируемого вещества.

Коллоиды обнаруживают и взаимную адсорбцию. С другой стороны, сами коллоиды могут быть адсорбированы иными веществами, обладающими особенно

высокой связывающей способностью; это можно доказать опытом, изображенным на рис. 36 (2, 3, 4). Стекло-вая колбочка (2) содержит явственно окрашенный раствор красной краски «Конго». Насыпем теперь в нее две

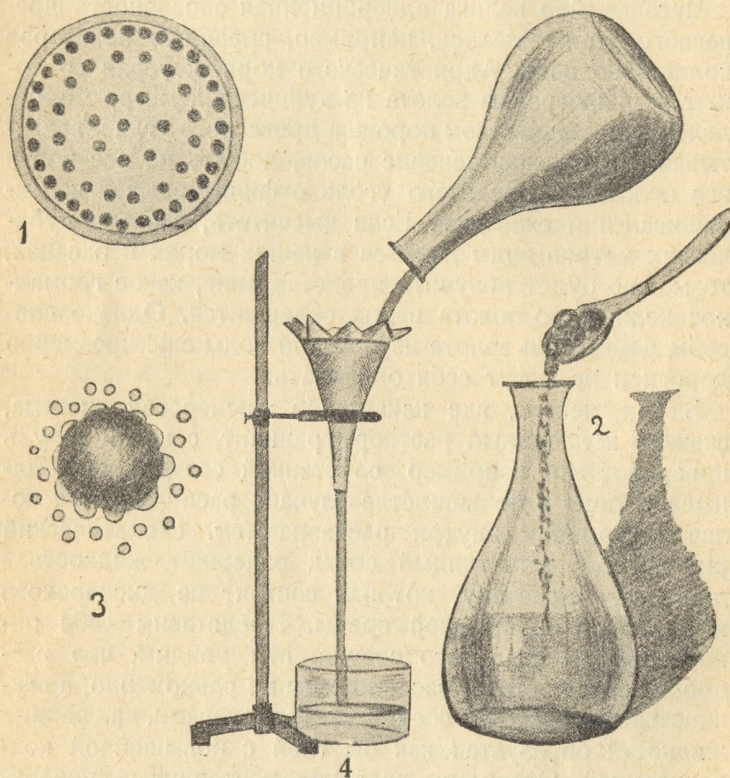


Рис. 36. Явления адсорбции (объяснения в тексте).

чайных ложки животного угля, сильно взболтаем смесь и выльем ее на обыкновенный фильтр. Фильтрат (4) окажется бесцветным. Частички угля, которые по своей величине не могут пройти через фильтр, задержали частички краски, которые в обычных условиях свободно перешли бы в фильтрат. Это явление (3) схематически

изображено для одной частички угля. Соответственными опытами можно доказать, что здесь мы имеем дело с явлением адсорбции, а не каким-либо процессом химического разложения краски углем, впрочем, также возможным при некоторых условиях.

Чрезвычайно велика адсорбционная способность древесного угля. Удалось, например, смешивая некоторое количество воды Адриатического моря, которая содержит 4 миллиграмма золота на кубический метр, с определенным количеством порошка древесного угля и взбалтывая эту смесь в течение часов, добыть из нее почти все золото. После этого уголь отфильтровывался, высушивался и сжигался. Если высчитать, сколько кубических метров воды имеется в наших морях и океанах, то можно будет получить представление, какое громадное количество золота в них содержится. Однако способы добывания золота из морской воды еще чрезмерно дороги и не могут себя оправдать.

В тех местах, где какая-либо дисперсная система, скажем коллоидный раствор, граничит, с какой-нибудь поверхностью, например со стенкой сосуда, коллоидные частицы в большинстве случаев располагаются более густо, чем внутри раствора (см. схематический рис. 36, 1). Стекланный сосуд содержит жидкость — дисперсную систему, которая состоит из дисперсного вещества и дисперсной среды. Представим себе поперечный разрез этого сосуда. Мы увидим, что раздробленные частицы расположены не равномерно, а сгущаются около стенок сосуда. Иными словами, на границе жидкости образуется как бы слой с повышенной концентрацией. Очевидно, на таких пограничных поверхностях существует какое-то неравновесие сил, стремящихся выравняться, безразлично, влияет ли здесь противоположность электрических зарядов коллоидных частиц и пограничной стенки, или поверхностное натяжение, или химические силы, толкающие адсорбируемое вещество к адсорбирующему. Явления адсорбции, это — наиболее запутанные явления коллоидной химии; они принимают то или иное участие во всех явлениях

коагуляции, набухания и пр. Даже весьма краткое изложение всех этим взаимоотношений потребовало объемистой книги.

Подробное изучение коллоидных состояний требует большой усидчивости и терпения, а кроме того большого знания физической химии. Мы могли в нашей краткой брошюре дать читателю лишь самые общие представления. Нам осталось сказать еще бесконечно многое. В первую очередь — о коллоидной химии жизненных процессов, которая объяснила бы нам, почему жизнь немыслима без воды, и как эта вода создает возможность жизни только при наличии определенных коллоидных состояний. Мы представляем собой сосуд, наполненный водным раствором, в котором раздроблены сотни различных веществ. Вещества эти непрерывно находятся в движении, они сортируются, откладываются про запас, превращаются в иные вещества и пр. Переход в желудочнокишечном тракте коллоидов пищи в кристаллоиды, крахмала в сахар и пр. имеет в конце концов один смысл — дать этим веществам возможность движения. Что при этом скопляется в печени, то снова становится коллоидом; по мере выхода из печени оно опять переходит в кристаллоид, чтобы сызнова накопиться в мышцах в виде коллоида. По мере надобности эти вещества сжигаются в мышцах и при этом испытывают обратное и последнее в организме превращение в кристаллоид (рис. 37). Если живой организм болен, то это значит, что общее его коллоидное состояние нарушено. Этим утверждением коллоидная химия затрагивает область терапии, в которой она в настоящее время уже может гордиться значительными успехами.

Крестьянин сеет и надеется получить хороший урожай; однако для этого он должен заботиться о том, чтобы почва и растение взаимно дополняли друг друга. Плодородность почвы зависит от ее коллоидов. Исследование этих последних коллоидов сближает коллоидную химию с сельским хозяйством. В связи с этим

и геология извлекает некоторую пользу из коллоидно-химических наблюдений и умозаключений. Многие метеорологические загадки становятся понятными только благодаря теории коллоидов.

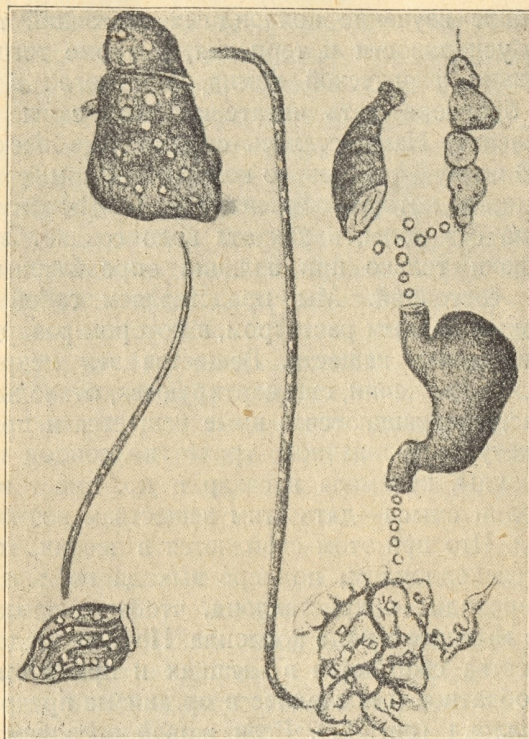


Рис. 37. Кристаллоиды (четыреугольники) и коллоиды (кружки) в организме.

В той же мере, как коллоидная химия проникает все области естествознания, ее прикладные выводы находят широчайшее применение в промышленности и технике. Коллоидная соломинка, которая по сравнению с ее толщиной во много раз выше самого высокого небоскреба и тем не менее гордо стоит в поле, проти-

водействуя порывам ветра, является блестящим прообразом невиданных чудес техники. Химия пищевых веществ и пищевая промышленность всецело подчинены законам коллоидной химии; где бы ни дымили заводские трубы, всюду за ними стоит мир коллоидов.

В жизни всегда так бывает: коллоидная химия открыла нам удивительный мир; она сорвала шапку-невидимку с невидимого, но одновременно открыла перед нами еще более широкие горизонты для дальнейшей плодотворной исследовательской работы.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

ПОПУЛЯРНО-НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

- Меншуткин, Б. Н., проф.—Углеводы. Химические соединения вокруг нас. Стр. 74. Ц. 70 к.
- Мечников, И.—Основатели современной медицины. Пастер—Листер—Кох. Стр. 130. Ц. 90 к.
- Михельсон, В. А.—О погоде и о том, как ее можно предвидеть. Изд. 2-е, вновь просм. Стр. 72. Ц. 60 к.
- Нейбургер, А.—Чудеса современной физики. Перев. с нем. проф. Г. Н. Попова. Стр. 180. Ц. 1 р. 40 к.
- Нейбургер, А.—Чудеса современной химии. Пер. с нем. П. П. Лебедева. Стр. 80. Ц. 45 к.
- Немилов, А. В., проф.—Внутренние двигатели человеческого тела. (Гормоны). Общедоступный очерк. С 50 рис. Изд. 3-е. Стр. 68. Ц. 80 к.
- Павловский, Е. Н.—Явления голодания в природе. С 13 рис. Стр. 46. Ц. 40 к.
- Самгин, Н. А.—Календарь, его изменения и реформы. Стр. 40. Ц. 20 к.
- Талиев, В. И., проф.—Единство жизни. (Растение как животное). Стр. 262. Ц. 2 р. 50 к.
- Талиев, В. И., проф.—Мужское и женское в природе. Стр. 140. Ц. 1 р.
- Талиев, В. И., проф.—Строение и жизнь растения. Издание третье. Стр. 225. Ц. 1 р. 50 к.
- Тамм, И. Е.—Рентгеновские лучи. Стр. 107. Ц. 60 к.
- Тиндаль, Д.—Звук. Перев. с англ. М. А. Антоновича. Изд. 3-е, вновь пересмотр. с примеч. С. Т. Конобаевского. Стр. 319. Ц. 1 р. 60 к.
- Фабр, Ж.—Жизнь насекомых. Перев. с франц. Л. В. Очаповского. Издание 2-е, пол. редакцией и с прим. проф. Н. М. Кулагина. Стр. XII + 404. Ц. 4 р.
- Шефер, А., проф.—Жизнь, ее природа, происхождение и сохранение. Изд. 2-е, и пр. Стр. 51. Ц. 30 к.
- Шимкевич, Л. и В.—Душевная деятельность животных. С 11 рис. в тексте. Под ред. проф. М. Римского-Корсакова. Стр. 48. Ц. 35 к.

ОПТОВЫЕ ЗАКАЗЫ НАПРАВЛЯТЬ

в Торговый Сектор Госиздата РСФСР: Москва, Ильинка, Богоявленский пер., 4., тел. 1-91-49, 5-71-37, 5-04-56, Ленинград, «Дом Книги», проспект 23 Октября, 28, тел. 5-34-18, и во все отделения и магазины Госиздата РСФСР.

МОСКВА, 9, ГОСИЗДАТ „КНИГА ПОЧТОЙ“,
ЛЕНИНГРАД, ГОСИЗДАТ „КНИГА ПОЧТОЙ“,
а в пределах УССР—ХАРЬКОВ, ГОСИЗДАТ РСФСР,
„КНИГА ПОЧТОЙ“, УЛ. СВЕРДЛОВА, 14,

высылают немедленно по получении заказа книги всех издательств, имеющиеся на книжном рынке. Книги высылаются почтовыми посылками или бандеролью наложенным платежом. При высылке денег вперед (до 1 рубля можно почтовыми марками) пересылка бесплатно. Исполнение заказов быстрое и аккуратное. КATALOGI, проспекты и бюллетени высылаются по требованию бесплатно.