

Строение тел

Вопрос о том, конечно ли число мельчайших частиц, составляющих тела, или же, наоборот, тела неограниченно делимы, относится к вопросу о *первичном* строении тел и трактуется в статье «Атом».

То, как простые вещества соединяются, образуя вещества сложные, называется *химическим* строением тела и трактуется в *химии*.

То, как ощутимые количества простого или сложного вещества группируются для образования некоторой массы, обладающей определенными наблюдаемыми свойствами, называется *физическим* строением тела.

Тела можно классифицировать в отношении их физического строения, исходя из действия внутреннего напряжения при изменении их размеров. Если тело может сохранять равновесие под действием напряжения, не являющегося равномерным по всем направлениям, оно называется твердым телом.

Когда тело таково, что оно не может находиться в равновесии, если напряжения в каждой точке неодинаковы по всем направлениям, про него говорят, что оно обладает свойством текучести.

Существуют некоторые вещества, любое количество которых, как бы оно ни было мало, способно беспредельно распространяться и заполнять любой сосуд, как бы он ни был велик. Они называются газами. Существуют другие текучие вещества, небольшое количество которых, поме-

щенное в большой сосуд, не расширяется сразу, равномерно заполняя сосуд, но собирается на дне даже тогда, когда давление устранено. Эти вещества называются жидкостями.

Когда жидкость помещается в такой большой сосуд, что она занимает лишь часть его, то часть жидкости начинает испаряться или, другими словами, переходит в газообразное состояние, и этот процесс продолжается до тех пор, пока вся жидкость не испарится или пока плотность газообразной части вещества не достигнет некоторого предела. Жидкая и газообразная части вещества находятся тогда в равновесии. Если уменьшить теперь объем сосуда, то часть газа сгустится в жидкость, а если увеличить его, то часть жидкости испарится и превратится в газ.

Испарение и конденсация, при которых вещество переходит из жидкого в газообразное, а из газообразного в жидкое состояние, являются прерывными процессами, т. е. свойства вещества непосредственно перед изменением и после него чрезвычайно различны. Но это различие тем слабее во всех отношениях, чем выше температура, при которой происходит это изменение, и Каньяр де ля Тур показал в 1822 г. *, что многие вещества, как например, эфир, алкоголь, сероуглерод и вода, будучи нагреты до достаточно высокой температуры, переходят в состояние, столь же отличающееся от обычного газообразного, как и от жидкого. После этого д-р Эндрюс ** произвел полное исследование свойств углекислоты при температуре как ниже, так и выше той, при которой прекращаются явления сжижения и испарения, и таким образом исследовал и установил непрерывность жидкого и газообразного состояния материи.

Так, при температуре, скажем, 0°С и при обычном атмосферном давлении углекислота — газ. Если сжимать этот газ до тех пор, пока давление не поднимется приблизительно до 40 атмосфер, происходит сжижение, т. е. части вещества последовательно переходят из газообразного в жидкое состояние.

Рассматривая вещество, когда часть его уже сжижена, мы обнаруживаем, что жидкая углекислота на дне сосуда имеет все свойства жидкости и отделена отчетливой по-

* «Annales de Chimie», 2-я серия, XXI, XXII.

** «Philosophical Transactions», 1869, стр. 575.

верхностью от газообразной углекислоты, занимающей верхнюю часть сосуда.

Но мы можем превратить газообразную углекислоту при 0°C в жидкую углекислоту при 0°C , и без резкого изменения, повышая сначала температуру газа до $30^{\circ}, 92\text{C}$, что является критической температурой, затем повышая давление приблизительно до 80 атмосфер и, наконец, охлаждая вещество, все еще под высоким давлением, до нуля.

В течение всего этого процесса вещество остается совершенно однородным. Между веществом в обоих состояниях нет поверхности раздела, не наблюдается также какая-либо внезапная перемена, подобная той, которая имеет место в случае сжижения газа при низких температурах. Но в конце процесса вещество несомненно окажется в жидком состоянии, так как если мы теперь понизим давление до величины, несколько меньшей 40 атмосфер, мы увидим в веществе обычное разделение между его жидкой и газообразной частью, т. е. часть его испарится, а другая останется на дне сосуда, и между жидкой и газообразной частью его будет отчетливая поверхность раздела.

Переход вещества из жидкого в твердое состояние и обратно происходит с различной степенью внезапности. Ряд веществ, как, например, некоторые металлы с более ясно выраженной кристаллической структурой, по-видимому, очень резко переходят из совершенно жидкого состояния в совершенно твердое. В некоторых случаях расплавленное вещество, по-видимому, перед тем как затвердеть, делается гуще, но это может происходить благодаря образованию в еще жидкой массе множества твердых кристаллов, так что до тех пор пока расплавленное вещество, в котором плавают кристаллы, все не затвердеет, консистенция этой массы становится подобной консистенции смеси песка и воды.

Есть другие вещества, в большинстве случаев коллоидальные, которые обладают тем свойством, что когда расплавленное вещество охлаждается, оно становится все более и более вязким, почти непрерывно переходя в твердое состояние. Это имеет место в случае смолы.

Теория состояния твердых тел будет разбираться в статье «Упругость», но поведение твердого тела под действием напряжения дает нам систему названий различных степеней и видов твердости.

Как мы видели, вещество, обладающее свойством текучести, может выдерживать напряжение только тогда, когда это напряжение равномерно во всех направлениях, т. е. тогда, когда оно носит характер гидростатического давления.

Существует большое количество веществ, которые в такой мере соответствуют этому определению текучести, что не могут оставаться в постоянном равновесии, если внутри их напряжения не являются равномерными по всем направлениям.

Однако во всех известных жидкостях или газах в тех случаях, когда движение таково, что форма их небольших объемов непрерывно меняется, внутреннее напряжение не является равномерным по всем направлениям, но стремится задержать относительное движение частиц жидкости или газа. Способность жидкости или газа обладать неравномерностью напряжения, обусловливаемой неравномерностью движения, называется вязкостью. Все реальные жидкости или газы вязки, начиная с патоки и дегтя и кончая водой и эфиром, воздухом и водородом.

Но если вязкость очень мала, жидкость называется подвижной, как, например, вода и эфир.

Если вязкость так велика, что значительное неравенство напряжения, хотя и вызывает постоянно возрастающее смещение, производит это так медленно, что мы с трудом его обнаруживаем, мы часто склонны считать такое вещество находящимся в твердом состоянии и даже рассматривать его как твердое тело. Так, вязкость холодной смолы или асфальта настолько велика, что вещество скорее сломается, нежели поддастся неожиданному удару; однако, если оставить его на достаточный промежуток времени, то окажется, что оно не сможет сохранить равновесие даже под действием ничтожного неравенства напряжений, вызываемого его собственным весом, и потечет как жидкость, пока его уровень не станет всюду одинаковым. Поэтому, если мы определим жидкость как вещество, которое не может оставаться в постоянном равновесии под действием напряжения, не являющегося равномерным во всех направлениях, то мы должны назвать упомянутые вещества жидкостями, хотя они настолько вязки, что можно по ним ходить, не оставляя следов.

Если тело, форма которого была изменена приложением напряжения, стремится восстановить свою первоначальную форму, то оно называется упругим.

чальную форму, когда напряжение устранено, оно называется упругим телом.

Отношение численной величины напряжения к численной величине вызванной им деформации называется *коэффициентом упругости*, а отношение деформации к напряжению называется *коэффициентом податливости*.

Существует столько же коэффициентов, сколько существует напряжений и вызываемых ими деформаций или их компонент. Если бы величина коэффициентов упругости беспрестанно увеличивалась, тело приближалось бы к состоянию абсолютно твердого тела.

Мы можем образовать упругое тело большой податливости, растворяя в воде желатин или рыбий клей и давая затем раствору остыть в студенистую массу. Уменьшая пропорцию желатина, можно уменьшить коэффициент упругости студенистой массы так, чтобы чрезвычайно малая сила вызывала значительное изменение формы вещества.

Было обнаружено, что когда деформация упругого тела превышает некоторый предел, зависящий от природы вещества, то оказывается, что после устранения напряжения вещество не возвращается точно к своей первоначальной форме, но остается деформированным. Такие пределы для различных видов деформаций называются пределами упругости.

Существуют другие пределы, которые можно было бы назвать пределами сцепления или прочности; если деформация тела достигает этих пределов, тело ломается, разрывается или разрушается каким-нибудь другим образом, причем непрерывность вещества нарушается.

Тело, форма которого может непрерывно изменяться без всяких трещин и разрывов, называется *пластичным* телом. Когда потребная для этого сила невелика, тело называется *мягким*, когда она велика, тело называется *жестким*. Тело, которое, прежде чем его можно достаточно деформировать, раскалывается или ломается, называется *хрупким*. Когда потребная для этого сила велика, тело называется *твердым*.

Твердость тела измеряется силой, потребной для того, чтобы произвести деформацию определенной величины.

Его прочность измеряется силой, потребной для того, чтобы сломать или раздавить его.

Мы можем несколькими различными путями представить себе твердое тело в состоянии, близком к жидкости.

Если мы замесим фарфоровую глину с водой, то чем больше прибавлять воды, тем жиже становится смесь, пока, наконец, мы не получим воду с медленно оседающими в ней частицами глины. Это — пример механической смеси, составные части которой отделяются друг от друга. Однако, если мы смешаем воск с нефтью или камедь со скипидаром, мы можем получить стойкие смеси всех степеней мягкости и таким образом перейти от твердого к жидкому состоянию через все ступени вязкости.

Мы можем также взять такое упругое и обладающее некоторой хрупкостью вещество, как желатин, и прибавлять к нему все большее и большее количество воды, пока не получим чрезвычайно жидкий студень, оказывающий весьма слабое сопротивление движению в нем твердого тела, например ложки. Но даже такой жидкий студень не является настоящей жидкостью, так как он способен оказывать сопротивление очень малой силе, например весу маленькой пылинки. Если в этот студень погружена соломинка или зернышко и если их удельный вес отличается от удельного веса студня, то они будут стремиться подняться на поверхность или погрузиться на дно. Если этого не происходит, мы заключаем, что студень — не жидкость, а твердое тело, правда, далеко не совершенное, но способное оказывать сопротивление силе, с которой стремится двигаться соломинка.

Поэтому оказывается, что можно себе представить переход из твердого в жидкое состояние, происходящий путем неограниченного уменьшения либо коэффициента упругости, либо предельной силы сопротивления разрыву, либо путем уменьшения вязкости. Но подобно тому, как тело не является настоящей жидкостью, до тех пор пока сопротивление разрыву или коэффициент упругости не сведены к нулю, оно не является настоящим твердым телом, до тех пор пока вязкость не становится бесконечно большой.

Однако твердые тела, не обладающие вязкостью в смысле способности неограниченно менять свою форму, все же подвержены изменениям, зависящим от времени, в течение которого на них воздействовало напряжение. Другими словами, напряжение зависит не только от деформации в каждый данный момент, но и от всей предыдущей истории тела. Таким образом, напряжение несколько больше, когда деформация растет, по сравнению с тем, когда она **умень-**

шается; и если деформация имела место в течение долгого времени, то тело, предоставленное самому себе, не сразу возвращается к своей первоначальной форме, но как будто бы сохраняет остаточную деформацию, не являющуюся, однако, действительной остаточной деформацией, так как тело постепенно возвращается к своей первоначальной форме, изменяясь, как это можно заметить, в течение многих часов и даже недель после того, как тело было предоставлено самому себе.

Явления такого рода были отмечены Вебером и Кольраушем («Pogg. Ann.», Bd. 54, 119 и 128); они были описаны О. Э. Мейером («Pogg. Ann.», Bd. 131, 108) и Максвеллом («Phil. Trans.» 1866, стр. 249), а теория этого явления была предложена д-ром Л. Больцманом («Wiener Sitzungsberichte», 8 октября 1874 г.).

Немецкие авторы называют это явление *elastische Nachwirkung* (упругое последствие), что можно было бы перевести «упругая реакция» (*elastic reaction*), если бы слово «реакция» не употреблялось уже в другом смысле. В. Томсон называет его вязкостью упругих тел.

Эти явления легче всего наблюдаются при закручивании тонкой проволоки, неподвижно закрепленной в точке подвеса и снабженной небольшим зеркальцем, которое прикреплено к нижнему концу и положение которого можно наблюдать обычным способом при помощи подзорной трубы и шкалы. Если закрутить нижний конец проволоки на не слишком большой угол и затем предоставить ее самой себе, зеркало начнет совершать колебания, размах которых можно прочесть на шкале. Эти колебания затухают гораздо скорее, чем они затухали бы, если бы единственной задерживающей силой было сопротивление воздуха, доказывая этим, что сила кручения проволоки должна быть больше при увеличении закручивания, чем при его уменьшении. Это явление описано сэром В. Томсоном под названием «вязкости упругих тел». Но мы можем также определить среднюю точку этих колебаний или точку временного равновесия, наступающего при убывании колебаний, и отметить изменение ее положения.

Если же мы оставим проволоку закрученной в течение, скажем, минуты или часа, а затем отпустим ее, то обнаружим, что точка временного равновесия переместилась в направлении кручения и что это смещение тем больше, чем дольше проволока была закручена. Но это смещение

точки временного равновесия не носит характера остаточной деформации, так как если предоставить проволоку самой себе, то она мало-помалу, хотя все медленнее и медленнее, вернется к своему первоначальному положению. Автор наблюдал это медленное явление в продолжение более чем недели и он также обнаружил, что если проволоку заставить колебаться, то движение точки равновесия быстрее, чем в том случае, когда проволока не колебалась.

Мы можем получить чрезвычайно сложные серии движений нижнего конца проволоки, подвергая ее предварительному ряду закручиваний. Мы можем, например, сначала закрутить ее в положительном направлении и оставить ее закрученной в течение одного дня, затем — в отрицательном направлении на один час, а затем — в положительном направлении на одну минуту. Когда проволока будет предоставлена самой себе, смещение, вначале положительное, делается через несколько секунд отрицательным, и это отрицательное смещение будет некоторое время расти. Затем оно уменьшается, смещение становится положительным и остается таким в течение значительного времени, пока, наконец, не исчезает.

Эти явления в некоторых отношениях аналогичны изменениям температуры поверхности очень большого железного шара, который в течение целого дня нагревался в печи, потом помещался на час в тающий снег, затем на минуту в кипящую воду и наконец выставлялся на воздух. Но еще более совершенную аналогию можно найти в изменениях потенциала лейденской банки, которую заряжали положительно в течение дня, отрицательно в течение часа и снова положительно в течение одной минуты*.

Результаты последовательного намагничивания железа и стали также во многих отношениях аналогичны результатам, полученным с деформацией и электризацией**.

Метод, предложенный Больцманом для математического изображения таких явлений, заключается в выражении действительного напряжения $L(t)$ не только через действительную деформацию $Q(t)$, но и через те деформации, которым тело было подвергнуто в течение всего предыдущего времени.

* См.: Dr. Hopkinson. On the residual charge of the Leyden jar. «Proc. R. S. of London», XXIV, 408, 30 марта 1876.

** См.: «Wiedemann's Galvanismus», т. II, стр. 567.

Его уравнение имеет следующий вид:

$$L_t = K\theta_t - \int_0^{\infty} \Psi(\omega) \theta_{t-\omega} d\omega, \quad (1)$$

где ω — интервал времени, отсчитанный назад от настоящего момента времени t до момента времени $t - \omega$, когда существовала деформация $\theta_{t-\omega}$, а $\Psi(\omega)$ — некоторая функция этого интервала.

Мы можем назвать историческим методом этот метод выведения настоящего состояния тела из предыдущих состояний, потому что он заключает в себе знание предыдущей истории тела. Но этот метод может быть преобразован в другой, в котором настоящее состояние тела не рассматривается как обуславливаемое какими бы то ни было состояниями, прекратившимися к этому моменту. Действительно, если мы разложим $\theta_{t-\omega}$ по теореме Тейлора

$$\theta_{t-\omega} = \theta_t - \omega \frac{d\theta}{dt} + \frac{\omega^2}{1 \cdot 2} \frac{d^2\theta}{dt^2} - \text{и т. д.}$$

и если мы также напишем

$$A = \int_0^{\infty} \Psi(\omega) d\omega, \quad B = \int_0^{\infty} \omega \Psi(\omega) d\omega, \\ C = \int_0^{\infty} \frac{\omega^2}{1 \cdot 2} \Psi(\omega) d\omega \text{ и т. д.,}$$

то уравнение (1) превратится в

$$L = (K - A)\theta + B \frac{d\theta}{dt} - C \frac{d^2\theta}{dt^2} + \text{и т. д.,}$$

куда не входит ничего зависящего от времени, так как все величины относятся к настоящему моменту.

Однако это выражение Больцмана ни в какой мере не является физической теорией рассматриваемого явления. Это просто математическая формула, которая, хотя и изображает некоторые из наблюдаемых явлений, неспособна выразить явления постоянной остаточной деформации. Но мы знаем, что некоторые вещества, например гуттаперча или резина в холодном состоянии, могут получить

остаточную деформацию при растяжении, но если потом нагреть их до определенной температуры, они восстанавливают свою первоначальную форму. Желатин также может быть высушен в деформированном состоянии; он может восстановить свою форму, поглощая воду.

Мы знаем, что молекулы всех тел находятся в движении. В газах и жидкостях это движение таково, что ничто не препятствует любой молекуле переместиться из любой части массы в любую другую ее часть. Но мы должны предположить, что в твердых телах, по крайней мере отдельные из молекул, только колеблются вокруг некоторого среднего положения так, что, когда мы рассматриваем некоторую группу молекул, их конфигурация никогда не отличается значительно от некоторой устойчивой конфигурации, около которой она колеблется.

Это будет иметь место даже если тело находится в состоянии деформации, но при условии, что амплитуда колебаний не превышает определенных границ. Однако если она превышает эти границы, то группа молекул не стремится вернуться к своей первой конфигурации, но начинает колебаться около новой устойчивой конфигурации, в которой деформация или равняется нулю, или по крайней мере меньше, чем в первоначальной конфигурации.

Условия разрушения конфигурации, очевидно, зависят частью от амплитуды колебаний, частью от величины деформации в первоначальной конфигурации. И мы можем предположить, что различные группы молекул, даже в однородном твердом теле, не находятся в этом отношении в одинаковых условиях.

Так, можно предположить, что в некотором числе групп обычное движение молекул способно накопиться настолько, что время от времени конфигурация одной из групп разрушается, причем безразлично, находится ли группа в состоянии деформации или нет. В этом случае мы можем предположить, что в каждую секунду некоторая часть этих групп разрушается и принимает конфигурации, соответствующие равномерной во всех направлениях деформации.

Если бы все группы были такого рода, то среда была бы вязкой жидкостью.

Но мы можем предположить, что имеются другие группы, конфигурация которых настолько устойчива, что не разрушается под действием обычного движения молекул

до тех пор, пока среднее напряжение не превысит определенного предела, и этот предел может быть различен для различных систем этих групп.

Если такие более устойчивые группы рассеяны в веществе в таком количестве, что они образуют твердый остов, то вещество называется твердым телом, которое будет испытывать остаточные деформации лишь под действием напряжения, превышающего некоторое данное напряжение.

Если же твердое тело содержит также группы меньшей устойчивости и если группы первого рода также будут самопроизвольно разрушаться, то при приложении напряжения сопротивление ему будет постепенно уменьшаться по мере разрушения групп первого рода, и это будет продолжаться до тех пор, пока напряжение не сведется к тому, которое обусловлено более постоянными группами. Если предоставить теперь тело самому себе, то оно не возвратится сразу к своей первоначальной форме, но вернется к ней лишь тогда, когда группы первого рода разрушатся в достаточном количестве, чтобы вернуться к первоначальному состоянию. Эта точка зрения на строение твердого тела, состоящего из групп молекул, часть которых находится в иных условиях, чем другие, помогает нам также объяснить состояние твердого тела после того, как ему была сообщена постоянная деформация. В этом случае часть менее устойчивых групп разрушилась и приняла новые конфигурации, но вполне возможно, что другие, более устойчивые, удержали свою первоначальную конфигурацию, так что форма тела определяется равновесием между этими двумя системами групп. Но, если разрушение менее устойчивых групп облегчается благодаря повышению температуры, повышению влажности, сильной вибрации или какой-нибудь другой причине, более устойчивые группы преобладают и стремятся вернуть тело к той форме, которую оно имело до деформации.

Эфир

Эфир ($\alpha\iota\theta\eta\rho$, вероятно, от $\alpha\iota\theta\omega$ — горю, хотя Платон, в своем «Кратиле» (410, в) производит название от его непрерывного движения — $\delta\tau\acute{\iota}\ \alpha\lambda\epsilon\acute{\iota}\ \theta\epsilon\acute{\iota}\ \mu\epsilon\rho\acute{\iota}\ \tau\acute{\omicron}\nu\ \alpha\acute{\epsilon}\rho\alpha\ \rho\acute{\epsilon}\omega\alpha\nu\ \alpha\lambda\epsilon\iota\theta\eta\rho\ \delta\iota\kappa\alpha\acute{\iota}\omicron\varsigma\ \alpha\nu\ \kappa\alpha\lambda\omicron\iota\tau\omicron$), материальная субстанция, несравненно более тонкая, нежели видимые тела, предполагается существующей в тех частях пространства, которые кажутся пустыми.

Гипотезу эфира поддерживали различные мыслители по различным причинам. Для тех, кто поддерживал как философский принцип воззрение, что все пространство наполнено, — тот принцип, что природа боится пустоты, — было достаточным основанием, чтобы предложить всенаполняющий эфир, если бы даже всякий другой аргумент говорил против. Для Декарта, который сделал протяженность единственным существенным свойством материи, а материю — необходимым условием протяженности, само существование тел, разделенных расстоянием одно от другого, было доказательством существования непрерывной среды между ними.

Но кроме этих, крайне метафизических необходимостей существования среды, были и другие более мирские потребности в наполнении пространства эфирами. Изобретали эфиры для планет, в котором они могли бы плавать, для образования электрических атмосфер и магнитных истечений, для передачи ощущений от одной части нашего тела к другой и т. д., пока все пространство не было на-