

КАК ВЕЛИКИ МОЛЕКУЛЫ?

ИЗМЕРИТЬ молекулы, т. е. мельчайшие частицы, из которых составлены все тела, — это, пожалуй, так же трудно, как измерить величину отдаленнейшей планеты и, во всяком случае, труднее, чем измерить высоту Монблана или ширину Черного моря. Многие образованные люди даже не знают, что молекулы вообще измерены¹: как можно измерять то, чего никто никогда еще не видал и, наверное, никогда не увидит! А между тем ученые не только измерили молекулы, но и взвесили, и сосчитали их, определили, на каком расстоянии они находятся друг от друга и с какою скоростью движутся.

Способы, какими были измерены молекулы, принадлежат к числу самых деликатных и тонких методов, какие знает современная физика. Можно сказать, что ни в одной области физики ученые не проявили столько остроумия, как именно в вопросе об измерении молекул. Большая часть этих способов очень сложна и требует обстоятельного знакомства с физикой в объеме университетского курса. Поэтому мы сможем дать читателю лишь самое общее представление о работах ученых в этом направлении и о результатах их изысканий.

Как бы ни был мал и ничтожен кусочек вещества — он не может быть менее молекулы, потому что молекула — это последний предел физического дробления материи². Микроскопические инфузории, мельчайшие пылинки, тончайшие паутинные и шелковые нити при всей своей малости состоят еще из десятков и сотен тысяч молекул. Но эти мельчайшие части вещества, физически существующие в природе, представляют для наших целей большой интерес: измерив их, мы, правда, не узнаем величины молекул, но по крайней мере определим *высший предел* этой величины; другими словами — узнаем, что молекула не может быть *больше* такой-то величины. С другой стороны, физика дает возможность установить и *низший предел* величины молекул, т. е. указать, что молекула не может быть *меньше* такого-то размера. С совершенствованием методов исследования высший предел все понижается, а низший повышается; узкая полоска, которой мы разграничили неизвестные нам иксы, постепенно утоньшается, и в настоящее время ученым удалось довести эту полоску почти до степени линии: так тесны теперь пределы, между которыми колеблется искомая величина молекул.

Теперь нам ясен общий ход исследований при решении трудного вопроса о величине молекул. Не имея возможности непосредственно

¹ Текст написан в 1907 г. (*примеч. ред.*).

² Вообще-то молекулы состоят из атомов и т. д. (*примеч. ред.*).

измерить невидимые и неосязаемые молекулы, ученые прибегли к окольным путям, чтобы вырвать у природы ее тайну. Они хитро составили план кампании с неуловимым противником; осторожно, но методично повели они наступление и с фронта, и с тыла, чтобы загнать «врага» в тупик, откуда ему нет исхода.

Итак, для решения нашего вопроса необходимо прежде всего измерить все мельчайшие объекты, какие только существуют; чем меньше объект, тем важнее для нас его измерить, потому что тем меньший получится *высший предел* для величины молекул. Такие тонкие пленки, как листочки расплющенного золота, стенки мыльного пузыря и т. п. представляют особенный интерес для физика: как бы тонка ни была пленка, она может состоять из 100, 10, 3, пожалуй, даже из одного слоя молекул; но она наверное не может состоять *менее* чем из одного слоя молекул, и, следовательно, толщина пленки — это высший предел, которого не может превзойти поперечник молекулы.

Золото можно сплющить до такой степени, что оно будет иметь в толщину 0,000 02 сантиметра. Так как нам придется здесь иметь дело с весьма малыми величинами, то для удобства изберем другую единицу меры: сантиметр и даже миллиметр слишком велики. Остановимся на *микроне*¹, составляющем одну *тысячную долю* миллиметра. Листочек золота, следовательно, не толще 0,2 микрона. Такую ничтожную величину мы уже не можем себе представить, но все же существуют еще более нежные пленки — именно, стенки хорошо выдутого мыльного пузыря. Их толщина, если только можно употребить слово «толщина», говоря об этих тончайших объектах, — равна 0,01 микрона, т. е. в двадцать раз меньше толщины золотых пленок².

Здесь возникает вопрос: как же измеряются столь ничтожные величины, как десятые и сотые доли микрона? Да и можно ли измерить толщину, например, стенок мыльного пузыря, если он лопается при малейшем прикосновении, в полном смысле слова как мыльный пузырь?

Мы не можем здесь вдаваться в интересную область тех деликатных измерительных приборов, которые находятся в распоряжении современного физика — это завело бы нас слишком далеко, — но на примере мыльного пузыря стоит остановиться. Дело тут гораздо проще,

¹ Это устаревшее название: в 1967 году решением XIII Генеральной конференции по мерам и весам его отменили. Теперь миллионная часть метра называется *микрометр*, а миллиардная (10^{-9} м) — *нанометр* (*примеч. ред.*).

² Мыльный пузырь имеет различную толщину в разных местах, и толщина эта находится в тесной связи с цветом пленки; самые тонкие части — черные.

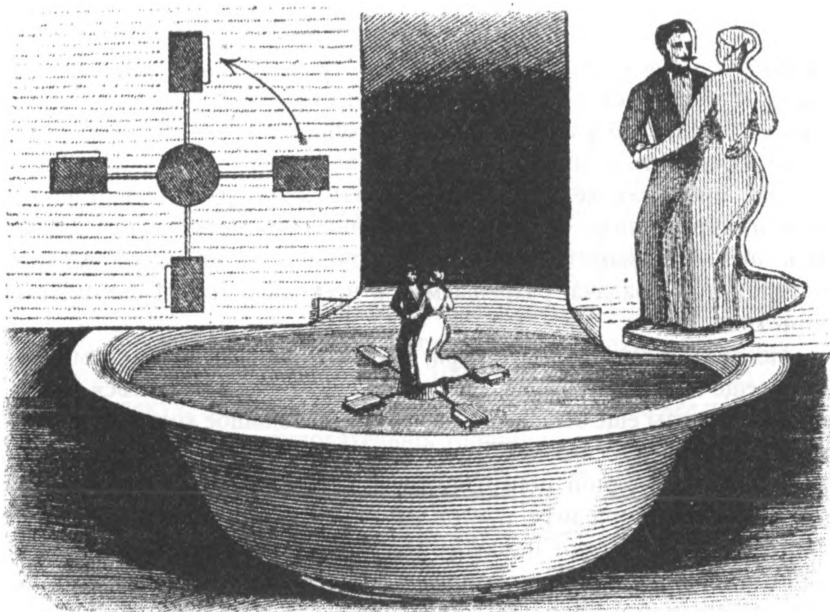
чем кажется: толщина мыльной пленки вовсе не измеряется непосредственно, а *вычисляется*. Взвешивают на чувствительных весах ту каплю мыльного раствора, которую потом раздувают в пузырь. Удельный вес мыльного раствора нетрудно определить, а следовательно, легко определить и общий объем шаровой оболочки, составляющей пузырь. Точно так же, нетрудно измерить диаметр (поперечник) нашего пузыря. Теперь перед нами уже чисто геометрическая задача: зная внешний диаметр шаровой оболочки и ее объем, определить ее толщину — задача, разрешаемая в несколько минут формулами геометрии.

Но стенки мыльного пузыря, достигающие сотой доли микрона, — еще не самые тонкие пленки: масло может растекаться по поверхности воды еще более тонким слоем. Небольшое количество масла, в 1 кубический сантиметр, растекаясь, покрывает довольно большую площадь водной поверхности в 2000 квадратных метров; это видно по радужной игре цветов на ее поверхности, хотя наиболее тонкие пленки не дают никакого окрашивания¹; последние, неокрашенные пленки, как наиболее тонкие, представляют для наших целей наибольший интерес. Мы могли бы вычислить их толщину, если бы знали вес капнувшего на воду масла и площадь образующегося при этом маслянистого слоя: это такая же геометрическая задача, как и предыдущая. Но каким образом определить величину занятой маслом площади, если она ничем не отличается по внешнему виду от поверхности чистой воды?

К счастью, существует довольно простой способ убедиться, покрыта ли вода масляной пленкой или нет. Способ этот основан на одном свойстве камфоры, именно на том, что кусочки камфоры, будучи брошены в воду, приобретают оживленные вращательные движения. Причина этого любопытного явления долго оставалась загадкой для физиков; но теперь известно, что странные движения камфоры зависят от некоторых химических реакций, происходящих в точках соприкосновения камфоры с водой; возникающие при этом силы стремятся как бы оттолкнуть камфору. Но достаточно самого ничтожного количества масла, самой тонкой его пленочки, чтобы описанные движения прекратились.

Мы советуем читателю попробовать самому проделать этот поучительный опыт, пользуясь так называемой «камфорной мельницей»,

¹ Здесь, как и в случае мыльных пузырей, речь идет не об окрашивании в настоящем смысле слова, а об особом рода оптическом явлении, происходящем при прохождении световых лучей сквозь тонкие пленки (один из случаев так называемой интерференции световых волн).



Камфорная мельница

изображенной на прилагаемом рисунке. Устроить ее очень легко. Небольшой кружочек из легкой пробки или бузины протыкают крестообразно двумя тонкими иглами и накалывают к их концам по тонкой бузиновой или пробковой пластинке; затем на все правые или все левые края этих пластинок накапывают полоску горячего сургуча. Приготавливают из камфоры 4 пластиночки и, нагрев сургуч, прижимают при помощи щипчиков камфорные пластинки к сургучу, пока камфора не пристанет к нему. Теперь готовы «крылья» камфорной мельницы. Если их положить плашмя на поверхность воды, налитой в чашке, то они начнут вращаться в горизонтальном направлении справа налево или слева направо, смотря по тому, на какой стороне каждого крыла находятся камфорные пластинки. Для большего эффекта к пробковому кружку прикалывают какую-нибудь легкую бумажную фигуру, например, танцующую парочку, которая будет вертеться 2—3 дня.

Стоит, однако, лишь упасть на поверхность воды мельчайшей капле масла или жира, чтобы «мельница» тотчас же остановилась. Иногда для этого достаточно бывает даже того ничтожного количества жира, которое всегда покрывает наши пальцы. «Мельница» настолько чувствительна, что для удачи опыта надо употреблять новую посуду, промытую крутым кипятком, и избегать прикасаться руками к ее внутренней поверхности.

Пользуясь таким чувствительным реактивом, как камфора, позволяющая устанавливать присутствие самых ничтожных следов масла, ученым удалось определить толщину некоторых тончайших масляных пленок: при этом получались величины в 1—2 *тысячных микрона!* Стенки мыльных пузырей в десять раз толще их!

Эта масляная пленка в 0,001 микрона не может содержать в себе меньше одного слоя молекул, так что мы можем смело утверждать, что поперечник молекулы *не больше* одной тысячной микрона.

Но этого, конечно, еще недостаточно. Масляная пленка может состоять всего из 2—3 слоев молекул, тогда тысячная микрона будет близко определять величину молекул; но она может состоять и из нескольких сотен и даже тысяч слоев — и тогда мы еще очень далеки от истины. Как же узнать, сколько примерно слоев молекул заключает в себе тончайшая масляная пленка?

Мы подошли ко второй части нашей задачи — к нахождению *нижего* предела для размеров молекул. Эта часть задачи труднее первой, и мы можем здесь наметить перед читателем лишь в самых общих чертах один из путей, по которому шел маститый английский физик лорд Кельвин¹. Физика предоставляет возможность определять, какая сила нужна, чтобы растянуть жидкую пленку до данной степени тоньшины. И наоборот, если физику известно, какая сила затрачена на растяжение пленки, то он может вычислить ее толщину. Представим себе теперь, что мы растягиваем жидкую пленку до такой степени, что она состоит уже всего из одного слоя молекул, которые под влиянием растягивающей силы начинают отделяться одна от другой, т. е. переходить в парообразное состояние. А количество энергии, необходимой для превращения данной массы жидкости в пар, известно физику; и во всяком случае ему нетрудно это определить. Остается лишь решить обратную задачу: зная силу растяжения, определить толщину пленки, т. е. поперечник молекул. Вернее говоря, мы получим не диаметр молекул, а высший предел для него, так как произвольно допустили, что сила, необходимая для растяжения, несмотря на утоньшение пленки, действует все время одинаково, а не убывает постепенно.

Таким путем Кельвин пришел к выводу, что поперечник молекул не может быть *меньше* 0,0001 микрона. А раньше мы определили, что этот поперечник *не больше* 0,001 микрона. Следовательно, мы знаем

¹ Томсон Уильям, барон Кельвин (1824–1907) — выдающийся английский физик и механик, известный своими работами в области термодинамики, электродинамики, механики; в его честь была названа абсолютная шкала температуры (*примеч. ред.*).