

КЛАССИКИ  
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Ф И З И К А  
М Е Х А Н И К А  
М А Т Е М А Т И К А  
А С Т Р О Н О М И Я



ДЖЕМС КЛАРК МАКСВЕЛЛ

РЕЧИ и СТАТЬИ

ПЕРЕВОД ПОД РЕДАКЦИЕЙ  
В. Ф. МИТКЕВИЧА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва

1940

Ленинград







ДЖЕМС КЛАРК МАКСВЕЛЛ

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время — время планомерной борьбы за материалистическое миропонимание в конкретных областях естествознания — опубликование сборника избранных речей и статей Максвелла представляет особенный интерес, так как этот великий ученый воспринял и развил принципиальные материалистические установки Фарадея.

Статьи и речи Максвелла, полные глубоких мыслей, имеющих значение и в современных условиях, принадлежат к лучшим образцам научно-популярной литературы и дают яркое представление о важнейших проблемах классической физики, одним из выдающихся творцов которой являлся Максвелл (1831—1879).

Вопрос о том, в какой мере натурфилософские воззрения Максвелла безупречны с точки зрения диалектического материализма, еще недостаточно освещен в нашей литературе и требует обстоятельного объективного обсуждения. Конечно, если основываться на отдельных словах и высказываниях Максвелла, которые встречаются у него в некоторых местах и скорее всего являются своего рода данью окружающей его обстановке, то, пожалуй, можно усмотреть в этом повод для многих упреков по его адресу. Подобным образом можно доказать все, что угодно. Именно таким путем некоторые противники принципиальной фарадее-максвелловской установки, касающейся непрямого участия промежуточной среды во всяком физическом взаимодействии, пытаются доказать, что сам Фарадей не был безусловно против точки зрения действия на расстоянии. Но если принять во внимание всю совокупность того, что сделал Максвелл для физической науки и что им было сказано, то приходится прийти к заключению, что многие из его мыслей в высокой степени соответствуют духу диалектического материализма, хотя и не выражены в надлежащих терминах.

Что касается того, что Максвелл якобы механицизировал Фарадея, то по этому поводу можно сказать следующее. Действительно, Максвелл, развивая идеи Фарадея, пытался составить себе вероятную картину тех механических движений, тех пространственных перемещений, которые должны иметь место во всяком физическом процессе, неизменно входя в его состав. В связи с этим Максвелл обратил особенное внимание на вихревые движения в эфире и в этом отношении настойчиво поддерживал точку зрения В. Томсона (Кельвина), согласно которой в структуре атомов мы встречаемся с очень малыми по своим размерам вихревыми кольцами в эфире, а магнитные линии — фарадеевские «физические силовые линии» магнитного поля — имеют природу вихревых нитей в эфире, опять-таки в виде неизменно замкнутых контуров, т. е. в виде вихревых же «колец», но только сравнительно больших поперечных размеров. Но в этом отношении никаких упреков Максвеллу с точки зрения диалектического материализма сделать нельзя, так как «всякое движение связано с каким-нибудь перемещением — перемещением небесных тел, земных масс, молекул, атомов или частиц эфира. Чем выше форма движения, тем мельче это перемещение. Оно несколько не исчерпывает природы соответствующего движения, но оно неотделимо от него. Поэтому его приходится исследовать раньше всего остального» (Энгельс, Диалектика природы, изд. 6-е, 1932, стр. 130). Сущность механистической точки зрения в области физических представлений состоит не в признании обязательного наличия механического движения, т. е. соответствующего пространственного перемещения, во всяком физическом процессе, во всяком движении. (в общепhilosophическом смысле термина «движение»). Это недоразумение должно быть рассеяно (см. Миткевич, Основные физические воззрения, изд. 2-е, 1936, стр. 58—66). Искания Максвелла в отношении характера элементарных механических движений в эфире вполне законны. В то же время Максвелл очень много сделал для выяснения конкретных свойств электромагнитных процессов. Что касается физической природы магнитного потока, то в этом отношении Максвелл, по всей вероятности, вполне прав. Весьма возможно также, что идеи Томсона-Максвелла о вихревых атомах в основ-

ном верны, т. е. возможно, что мельчайшие элементы материи (электроны, протоны и т. д.) действительно имеют природу вихревых колец в эфире. Дальнейший прогресс физической науки разрешит этот вопрос.

В настоящем сборнике собраны научно-популярные статьи Максвелла. Некоторые из них — «О действии на расстоянии», «Молекулы», «Атом», «Притяжение» и «Эфир» — были опубликованы на русском языке Маракуевым в 1901 г. («Речи и статьи Джемса Клерка Максвелла», перевод и издание Маракуева, Москва 1901 г.). Книга эта уже давно стала библиографической редкостью.

В настоящий сборник, кроме статей, переведенных Маракуевым, включен ряд речей и статей, опубликованных в двухтомном издании трудов Максвелла *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell, edited by W. D. Niven. Cambridge, 1890.* Перевод Маракуева сверен с оригиналом, так как страдает некоторыми ошибками и неточностями. Остальные работы Максвелла появляются на русском языке впервые.

Примечания Максвелла сохранены в тексте, примечания редактора отнесены к концу книги.

Ряд переводов, некоторые примечания, а также подготовка книги к печати выполнены Н. А. Арнольд.

*В. Миткевич.*



ДОКЛАД МАТЕМАТИЧЕСКОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ  
БРИТАНСКОЙ АССОЦИАЦИИ [1]

О СООТНОШЕНИИ МЕЖДУ ФИЗИКОЙ  
И МАТЕМАТИКОЙ

(Из British Association reports, v. XL)

*Ливерпуль, 15 сентября 1870 г.*

На целом ряде прошлых съездов Британской ассоциации различные важные для Секции математики и физики вопросы излагались в докладе, выбор предмета которого предоставлялся тогдашнему председателю этой секции. Меня, однако, миновала затруднительная обязанность выбора темы доклада.

Профессор Сильвестр, председатель секции А [2] на съезде в Экстере, выступил в защиту чистой математики, продемонстрировав, так сказать, самый процесс математического мышления, а не то одеяние символов и скобок, которое составляет вооружение математика, не те сухие результаты, которые являются лишь памятниками его побед; он показал самого математика со всеми присутствующими человеку способностями, с профессиональной проницательностью, направленной на отыскание, осознание и выявление той идеальной гармонии, которую он считает корнем всякого знания, источником всякого удовлетворения и условием всех действий.

Математик любит прежде всего симметрию. Профессор Сильвестр не только отметил симметрию своего доклада с докладами своих предшественников, но и наметил обязанности своего преемника в следующем характерном указании:

«М-р Споттисвуд в своей вступительной речи представил Секции доклад, содержащий общую историю развития математики и физики. Доклад Тиндалля касался

главным образом вопроса о границах физики. Печатаемый здесь доклад, говорит профессор Сильвестр, является попыткой дать слабый набросок природы математических наук в общем виде. Для построения идеальной пирамиды нехватает еще как бы четвертой сферы, опирающейся на три остальные, соединенные друг с другом, а именно доклада о связи обеих отраслей науки (математики и физики) и их взаимном влиянии друг на друга. Это — великолепная тема, которой, надо надеяться, один из будущих председателей секции А увенчает здание и этим завершит тетралогию [3], символически изображенную через  $A + A', A, A', AA'$ .

Действительно, тема, столь отчетливо сформулированная последним президентом для своих преемников, — великолепная тема, слишком великолепная для того, чтобы я пытался развить ее. Я стремился следовать за Споттисвудом, когда он с глубоким провидением устанавливает различия, характерные для тех научных систем, которые охватывают явления, наши знания о которых еще совершенно туманны. Острая пронизательность и убедительность выражений д-ра Тиндалля увлекли меня в святилище мельчайших частиц и сил, где молекулы, подчиняясь законам своего существования, сталкиваются в бешеном соударении или сцепляются в еще более интенсивном соединении, таинственно создавая формы видимых вещей. Проф. Сильвестр повел меня на те безмятежные высоты,

«Куда вовек не заплывает туча,  
Где буйный ветер и вздохнуть не смеет,  
И звездочкой снежинка не ложится,  
Куда не донестись раскатам дальним грома,  
Где стоны человеческого горя  
Не услышать. И где ничто не может  
Покой нарушить вечный и священный»...

Но кто введет меня в еще более скрытую туманную область, где Мысль сочетается с Фактом, где мы видим умственную работу математика и физическое действие молекул в их истинном соотношении? Разве дорога к ним не проходит через самое логовище метафизиков, усеянное останками предыдущих исследователей и внушающее ужас каждому человеку науки? С моей стороны было бы безрассудной затеей занять драгоценное время нашей лекции рассуждениями, требующими, как

мы это знаем, тысячелетий для того, чтобы сложиться в понятную форму. Но мы собрались здесь как деятели математики и физики. В нашей повседневной работе мы приходим к вопросам того же рода, что и метафизики, но не полагаясь на врожденную проницательность нашего ума, мы подходим к ним подготовленные длительным приспособлением нашего образа мыслей к фактам внешней природы.

Как математики, мы выполняем определенные мысленные операции над символами чисел или величин; и, переходя шаг за шагом от простых операций к более сложным, мы получаем возможность выражать одну и ту же вещь во многих разных формах. Эквивалентность этих различных форм, хотя она и является необходимым следствием очевидных аксиом, не всегда кажется нам самоочевидной, но математик, который благодаря длительной практике вполне освоился со многими из этих форм и приобрел большой навык к переводу одной формы в другую, часто может превратить запутанное выражение в другое, поясняющее его смысл более удобопонятным языком.

Как люди, изучающие физику, мы наблюдаем явления при различных обстоятельствах и пытаемся вывести законы их связи. Каждое явление природы представляется нам результатом бесконечно сложной системы условий. Мы занимаемся разбором этих условий и рассматривая явление особым методом, который сам по себе односторонен и несовершенен, выбираем одну за другой основные черты явления, начиная с той, которая прежде всего привлекает наше внимание; таким образом постепенно мы узнаем, как рассматривать все явление в целом для того, чтобы получить все более ясное и четкое представление о нем. При этом неспециалистам наиболее часто бросается в глаза как раз не то обстоятельство, которое опытный ученый считает основным, между тем как успех всякого физического исследования зависит от правильного выбора того, что является наиболее важным, и от добровольного игнорирования тех обстоятельств, для успешного исследования которых, как бы они ни были интересны, наука еще развилась недостаточно.

Подобные интеллектуальные процессы имели место, начиная с возникновения языка, и продолжают еще и



сейчас. Нет сомнения, что обстоятельство, которое в каждом явлении нас прежде всего и наиболее сильно затрагивает, есть приятное ощущение или боль, ему сопутствующие, приятный или неприятный результат, за ним следующие. Созданная с этой точки зрения теория явлений природы воплощена в ряде наших слов и фраз и не исчезла даже из наших продуманных суждений.

Большой шаг вперед был сделан в науке тогда, когда люди убедились, что для понимания природы вещей они должны начать не с вопроса о том, хороша ли вещь или плоха, вредна или полезна, но с вопроса о том, какого она рода и сколь много ее имеется. Тогда впервые было признано, что основными чертами, которые нужно познать при научном исследовании, являются качество и количество.

По мере развития науки область количества стала повсеместно вторгаться в область качества, пока, наконец, научно-исследовательский процесс не превратился в простое измерение и регистрацию количества в соединении с математическим обсуждением полученных таким образом численных данных. Именно этот метод, обращающий наше внимание на те особенности явлений, которые могут рассматриваться как количества, подводит физическое исследование под воздействие математических рассуждений. В работе Секции мы будем иметь много примеров успешного применения этого метода к самым последним научным завоеваниям; сейчас же я хочу обратить ваше внимание на некоторые моменты взаимодействия между прогрессом науки и теми элементарными понятиями, которые, как это нам иногда кажется, не могут быть подвержены изменению.

Если искусство математика позволило экспериментатору заметить, что измеряемые им количества связаны необходимыми соотношениями, то физические открытия показали математику новые формы количеств, которые он никогда бы не мог себе представить.

Я считаю, что в настоящее время самым важным из методов, при помощи которых математик приносит своими работами наибольшую пользу исследователю природы, является систематическая классификация величин.

Величины, изучаемые нами в математике и в физике, можно классифицировать двумя различными способами [4].

Исследователь, желающий овладеть какой-либо наукой, должен освоиться с различными величинами, относящимися к этой науке. Поняв взаимную связь между этими величинами, он рассматривает их как единую систему и относит всю систему именно к этой науке. Это — наиболее естественная, с точки зрения физики, классификация, и обычно она является первой по времени.

Однако, ознакомившись с рядом различных наук, исследователь замечает, что математические процессы и ход рассуждения в разных науках так похожи один на другой, что знание им одной науки может стать чрезвычайно полезным подспорьем при изучении другой.

Вдумываясь в причины этого, он обнаруживает, что в двух различных науках он имеет дело с системами величин, в которых математическая форма связи одинакова, несмотря на то, что физическая природа их может быть совершенно различна.

Таким образом он приходит к классификации величин, основанной на новом принципе, согласно которому физическая природа величины подчинена ее математической форме. Эта точка зрения характерна для математика, но по времени она следует за физической точкой зрения, так как человеческий разум может представить себе различные величины только в том случае, когда он получает их из природы.

Я не ссылаюсь здесь на тот факт, что все величины как таковые подчиняются арифметическим и алгебраическим правилам и поэтому могут быть подвергнуты тем сухим расчетам, которые по мнению многих составляют единственную основу их представления о математике.

Человеческий ум редко бывает удовлетворен и, конечно, не выполняет своей наивысшей функции, когда производит работу счетной машины. Ученый, математик ли он или физик, стремится составить себе и развить ясное представление о предметах, с которыми он имеет дело. Для этого он согласен проделать длинные вычисления и даже сделаться на некоторое время вычислительной машиной, если тем самым он сделает свои идеи в конечном счете более ясными. Но если он видит, что ясные идеи нельзя получить с помощью процессов, этапы которых он, наверное, забудет, прежде чем придет к заключению, то гораздо лучше будет, если он обратится к другому методу и попытается понять предмет

исследования при помощи удачно выбранных иллюстраций, взятых из более близких ему областей.

Мы все знаем, насколько иллюстративный метод изложения популярнее, чем метод, в котором главное место занимают голые рассуждения и расчеты.

Истинно научный иллюстративный метод есть метод, который позволяет понять какое-либо представление или закон одной отрасли науки с помощью представления или закона, взятых из другой отрасли, и который, отвлекаясь вначале от различия физической природы реальных явлений, направляет мысль на овладение математической формой, общей соответствующим идеям в обеих науках.

Точность такого иллюстративного метода зависит от того, действительно ли аналогичны по форме обе сравниваемые системы идей или, другими словами, действительно ли соответствующие физические величины принадлежат к одному и тому же математическому классу. При соблюдении этого условия метод иллюстрации весьма удобен для легкого и приятного обучения науке; но, помимо того, признание формальной аналогии между двумя системами идей приводит к более глубокому познанию обеих, чем познание, которое можно было получить, изучая каждую систему в отдельности.

Есть люди, которые могут полностью понять любое, выраженное в символической форме сложное соотношение или закон как соотношение между абстрактными величинами. Такие люди иногда равнодушны к дальнейшему утверждению, что в природе действительно существуют величины, удовлетворяющие этим соотношениям. Мысленная картина конкретной реальности скорее мешает, чем помогает их рассуждениям.

Но большинство людей совершенно неспособны без длительной тренировки удерживать в уме невоплощенные символы чистой математики, так что если наука должна когда-нибудь стать общедоступной, оставаясь, однако, на должной высоте, то это произойдет путем глубокого изучения и широкого применения принципов математической классификации величин, лежащих, как мы уже видели, в основе всякого истинно научного иллюстративного метода.

Существуют, как я уже сказал, такие умы, которые могут с удовлетворением рассматривать чистые коли-

чества, представляющиеся глазу в виде символов, а разуму в форме, которую не может понять никто, кроме математиков.

Другие получают большее удовлетворение, следя за геометрическими формами, которые они чертят на бумаге или строят в пустом пространстве перед собой.

Иные же не удовлетворяются до тех пор, пока не перенесутся в созданную ими обстановку со всеми своими физическими силами. Они узнают, с какой скоростью проносится в пространстве планета, и испытывают от этого чувство восхитительного возбуждения. Они вычисляют силы, с которыми притягивают друг друга небесные тела, и чувствуют, как напрягаются от усилия их собственные мышцы.

Для этих людей момент, энергия, масса не являются просто абстрактным выражением результатов научного исследования. Эти слова имеют для них глубокое значение и волнуют их душу, как воспоминания детства.

Для того чтобы удовлетворить людей этих различных типов, научная истина должна была бы излагаться в различных формах и считаться одинаково научной, будет ли она выражена в полнокровной форме или же в скудном и бледном символическом выражении.

Мне бы нехватило времени, если бы я попытался иллюстрировать на примерах научное значение классификации величин. Я упомяну лишь название чрезвычайно важного класса величин, имеющих направление в пространстве, которые Гамильтон назвал векторами и которые составляют предмет исчисления кватернионов. Эта отрасль математики, когда сторонники иллюстративного метода поймут ее до конца и облекут физическими иллюстрациями, станет, может быть, под каким-нибудь новым именем, могущественным методом сообщения истинно научных знаний лицам, очевидно, лишенным вычислительного духа.

Для того, кто изучает прогресс науки, взаимное воздействие различных областей мышления представляет чрезвычайный интерес; рискуя злоупотребить драгоценным временем, я хочу в нескольких словах коснуться одной из ветвей физики, которую еще недавно скорее сочли бы ветвью метафизики. Я говорю об атомной теории или, как ее теперь называют, о молекулярной теории строения тел.

Если бы нас спросили несколько лет тому назад, в какой из областей физики было меньше всего произведено открытий, то мы указали бы, с одной стороны, на безнадежно далекие неподвижные звезды, а с другой стороны, на непостижимо тонкое строение материальных тел.

Действительно, если считать Конта в известной мере представителем научных взглядов его времени, то нужно признать, что исследование явлений, совершающихся за пределами нашей солнечной системы, беспредельно трудно, если не совсем безнадежно [5].

Представление о том, что тела, которые мы видим, можем привести в движение или оставить в покое, разломать на части или разрушить, состоят из более мелких тел, которых мы не можем ни видеть, ни осязать, которые всегда находятся в движении и которых мы не можем ни остановить, ни разбить на части, ни разрушить или лишить малейшего из их свойств, — известно под названием атомной теории. Эта теория связана с именами Демокрита, Эпикура и Лукреция, и обычно считали, что она допускает только существование атомов и пустоты и исключает всякую другую основу тел.

Во многих физических умозаключениях и математических выкладках мы привыкли рассуждать так, как будто такие субстанции, как воздух, вода или металлы, которые кажутся нашим чувствам однородными и сплошными, являются однородными и сплошными и в строго математическом смысле.

Мы знаем, что можно разделить пинту воды на много миллионов частей, каждая из которых обладает всеми теми свойствами воды, какими обладает вся пинта в целом [6]; и нам кажется вполне естественным вывод, что можно продолжать деление воды до бесконечности так же, как мы никогда не дойдем до предела при делении пространства, в котором содержится эта вода. Мы слышали о том, как Фарадей разделил гран золота на непостижимое число отдельных частиц, мы можем видеть, как д-р Тиндалль образует из ничтожного количества бутилового нитрита огромное облако, мельчайшая видимая часть которого является все-таки облаком и поэтому должна содержать много молекул бутилового нитрита.

За последнее время, однако, из различных независимых источников собран ряд доказательств, которые заставляют нас допустить, что в дальнейшем ходе про-

песса разделения мы в конце концов дойдем до предела, потому что каждая часть будет содержать только одну молекулу, т. е. одно индивидуальное тело, неделимое и неизменяемое никакими силами природы.

Даже при наших обыкновенных опытах с очень мелко разделенными веществами мы обнаруживаем, что вещество начинает терять те свои свойства, которые присущи ему, когда оно образует большие массы, и что начинают преобладать явления, обусловленные индивидуальным действием молекул.

Изучение этих явлений в настоящее время указывает тот путь, по которому должно идти развитие науки о молекулах.

Одно из этих явлений заключается в поверхностном натяжении жидкости, которое называют капиллярным притяжением. Другая важная категория охватывает явления, обусловленные беспорядочным движением, которое непрерывно заставляет молекулы жидкости или газа перемещаться с одного места на другое и постоянно изменять свое направление подобно людям, движущимся в толпе. От этого зависит степень диффузии газов и жидкостей друг в друга; изучению этой диффузии, являющейся одним из ключей науки о молекулах, неутомимый исследователь тайн природы, покойный профессор Грахам, посвятил очень много упорного труда.

Согласно теории Видемана, степень электролитической проводимости зависит от той же причины, а теплопроводность жидкостей, вероятно, обуславливается действием того же рода. Для газов молекулярная теория была разработана Клаузиусом и другими; эта теория поддается математической обработке и подверглась экспериментальной проверке. Почти все известные свойства газов объясняются, согласно этой теории, динамическими принципами, и свойства отдельных молекул газов скоро уже станут объектами научного исследования.

В настоящее время Стоней указывает на то, что численные результаты опытов с газами заставляют предполагать, что среднее расстояние между частицами газов, при обыкновенной температуре и давлении, есть величина порядка одной миллионной миллиметра \*, после него сэр Вильям Томсон с помощью совершенно самостоятель-

---

\* *Phil. Mag.* Aug., 1868.

ной аргументации, построенной на таких различных по характеру явлениях, как электризация металлов посредством контакта, поверхностное натяжение мыльных пузырей и трение воздуха, доказал, что в обыкновенных твердых и жидких телах среднее расстояние между смежными молекулами меньше одной стомиллионной и больше двух миллиардных долей сантиметра \*.

Это, конечно, очень грубые приближения и выведены они на основании измерений, из которых некоторые определено весьма грубы; но если в настоящее время мы можем составить хотя бы приближенную программу получения результатов такого рода, то мы вправе надеяться, что по мере того как методы экспериментального исследования будут становиться более точными и более разнообразными, наше понятие о молекуле станет более определенным, так что в недалеком будущем мы можем оказаться в состоянии определять вес молекулы с гораздо более высокой степенью точности.

Теория, которую сэр В. Томсон обосновал на великолепных гидродинамических теоремах Гельмгольца, пытается приписать молекулам свойства кольцеобразных вихрей в однородной, лишенной трения и несжимаемой жидкости [7]. Такие вихревые кольца можно наблюдать, когда опытный курильщик искусно выпускает клубы дыма в неподвижный воздух, но, конечно, трудно себе представить более недолговечное явление. Кратковременность этого явления объясняется вязкостью воздуха; но Гельмгольц доказал, что в идеальной жидкости такое вихревое кольцо, раз оно уже образовалось, будет двигаться вечно и всегда будет составлять ту же самую порцию жидкости, которая была приведена в вихревое движение; это кольцо никогда не может быть разделено надвое какой-либо естественной причиной. Вызвать к жизни кольцевой вихрь естественные причины также не в состоянии, но, будучи однажды образован, он обладает свойствами индивидуальности, количественного постоянства и неразрушимости. В то же время он является носителем импульса и энергии; и это все, что мы можем утверждать о материи. Эти кольцевые вихри способны к таким разнообразным соединениям и сложным изменениям формы, что свойства различных клубков таких

---

\* *Nature*, March.. 31 1870.

вихрей, несомненно, настолько же различны, как и свойства разных видов молекул.

Если мы сможем построить теорию такого рода, преодолев огромные математические трудности данной проблемы, и сумеем в известной мере осветить действительные свойства молекул, то, конечно, такая теория займет в научном отношении положение, совершенно отличное от тех теорий, которые были созданы для исследования молекулы, подверженной действию произвольной системы центральных сил, специально придуманной для истолкования наблюдаемых явлений.

Теория вихрей-атомов не имеет в себе ничего произвольного, не оперирует никакими центральными силами или скрытыми свойствами какого-либо другого рода. Здесь мы имеем дело только с материей и движением, и раз вихрь образовался, то все его свойства определяются первоначальным импульсом и никакие другие допущения уже больше невозможны.

Даже при современном, мало разработанном состоянии этой теории, рассмотрение обособленности и неразрушимости кольцевого вихря в идеальной жидкости не может не поколебать установившегося мнения, согласно которому молекула, для того чтобы быть неизменной, должна быть очень твердым телом.

В действительности, одно из первых условий, которым должна удовлетворять молекула, повидимому, не согласуется с предположением, что она является простым твердым телом. Спектроскопические исследования, бросившие такой яркий свет на многие отрасли науки, показали, что молекула может быть приведена в состояние внутренних колебаний, в котором она испускает в окружающую среду свет определенной преломляемости, т. е. определенной длины волны и определенного периода колебаний. Весьма замечателен тот факт, что все молекулы (например молекулы водорода) веществ, имеющих в нашем распоряжении для опытов, будучи возбуждены теплом или электрической искрой, колеблются с одинаковой периодичностью или, говоря более точно, что их колебания являются системой простых колебаний, постоянно сохраняющих одни и те же периоды.

Я предоставляю другим описывать успехи ряда блестящих спектроскопических открытий, которые сделали химию небесных тел объектом человеческого исследования.



Я скорее хочу обратить ваше внимание на тот факт, что одна и та же система периодов свободных колебаний свойственна не только каждой молекуле земного водорода, но что спектроскопическое исследование света солнца и звезд выявило, что в областях, расстояния до которых мы с трудом можем себе представить, находятся молекулы, колеблющиеся так же точно в унисон с молекулами земного водорода, как два камертона, настроенные на одинаковую высоту тона, или как двое часов, отрегулированных по солнечному времени.

Несомненно, что такое абсолютное равенство количественных величин во всех частях вселенной, достойно нашего рассмотрения.

Размеры различных тел природы или довольно неопределенны, поскольку вопрос касается, например, планет, камней и деревьев, или же они изменяются в довольно умеренных пределах (например яйца, семена и т. д.), но даже в случаях, когда наблюдаются небольшие количественные различия, они не меняют существенных свойств тела.

Даже кристаллы, которые столь определены в отношении геометрической формы, изменчивы в смысле своих абсолютных размеров.

Среди изделий человеческих рук мы часто наблюдаем известную степень единообразия; единообразны, например, пули, отлитые в одной и той же форме, и различные экземпляры книг, отпечатанные с одного набора.

Если мы будем рассматривать монеты или меры и веса в цивилизованной стране, то мы обнаружим единообразие, вызванное тщательным приспособлением к стандартам, изготовленным и предоставленным государством.

В этом вопросе мы, в качестве научной корпорации, горячо заинтересованы, и все мы знаем, как много научного труда было потрачено, и потрачено с пользой, на выработку весов и мер для коммерческих и научных целей.

Земля была обмерена, чтобы создать основу для постоянной меры длины, и все свойства металлов были исследованы, чтобы предупредить возможность изменения в материале, из которого изготовлены стандарты. Для того чтобы взвесить или измерить какой-либо предмет с современной точностью, требуется целый ряд опытов и вычислений, для которых используются почти все отрасли физики и математики.

Со всем тем, однако, размеры нашей земли и время ее обращения, хотя и весьма постоянные, если отнести их к тем мерам сравнения, которыми мы в настоящее время располагаем, не обладают этим постоянством в силу какой-либо физической необходимости. Земля может сжаться благодаря охлаждению или может увеличиться в объеме благодаря падению на нее слоя метеоритов; скорость ее обращения может понемногу замедлиться, и все-таки она останется той же планетой, какой была. Но молекула, например, водорода, — как только ее масса или время ее колебания уменьшится, хотя бы и минимально, перестанет быть молекулой водорода.

Если поэтому мы хотим получить абсолютно неизменные стандарты длины, времени и массы, то мы должны искать их не в размерах, или в движении, или в массе нашей планеты, но в длине волны, в периоде колебания и в абсолютной массе этих неразрушимых, неизменных и совершенно одинаковых молекул.

Если мы обнаружим, что и на земле и в звездном небе существуют бесчисленные множества мельчайших тел с совершенно одинаковой массой — столько-то и не больше — и колеблющихся всегда с одним и тем же периодом — столько-то раз и не более в секунду — и если мы учтем, что никакая сила природы не может, хотя бы минимально, изменить массу или период колебания любого из этих тел, то мы дойдем по пути исследования природы до одной из тех точек, в которой уже приходится руководствоваться убеждением, что «то, что мы видим, не состоит из вещей, которые нам кажутся».

Одним из самых замечательных результатов успехов учения о молекулах является тот яркий свет, который наука пролила на природу необратимых процессов, т. е. процессов, которые всегда направлены в сторону какого-либо предельного состояния и никогда не совершаются в обратном направлении. Так, например, если мы поместим два газа в один и тот же сосуд, то они смешаются и смесь будет постоянно стремиться стать более однородной. Если мы поместим в сосуд два неодинаково нагретых количества одного и того же газа, то произойдет нечто в том же роде и весь газ будет стремиться приобрести одинаковую температуру. Если мы заставим соприкоснуться два неодинаково нагретых твердых тела,

то будет иметь место непрерывное приближение их обеих к некоторой средней температуре.

В случае с двумя газами можно достигнуть разъединения химическим путем, но в других двух случаях прежнее положение вещей не может быть восстановлено никаким естественным процессом.

В случае теплопроводности или диффузии тепла, процесс не только необратим, но он влечет за собой невозстановимое уменьшение той части полного запаса тепловой энергии, которую можно преобразовать в механическую работу.

Такова теория Томсона о необратимом рассеянии энергии; она эквивалентна учению Клаузиуса о возрастании того, что он называет «энтропией».

Необратимый характер этого процесса отчетливо воплощен в теории Фурье о теплопроводности, где, как указывают формулы, возможное решение для всяких положительных величин времени неизменно стремится вылиться в форму однообразной диффузии тепла.

Если же мы попытаемся пойти против течения времени, придавая ему постоянно уменьшающиеся значения, то мы дойдем до такого положения вещей, при котором формула имеет так называемое критическое значение; если мы теперь исследуем положение вещей за мгновение перед этим, то мы убедимся, что формула становится абсурдной.

Таким образом у нас создается концепция такого положения вещей, которое не может пониматься, как физический результат некоего предшествовавшего положения, и мы убеждаемся, что это критическое условие действительно существовало не в какую-либо бесконечно отдаленную эпоху, но отделено от настоящего времени определенным конечным интервалом.

Физические исследования недавнего прошлого среднили нас с этой идеей начала в такой мере, какую не мог бы предвидеть никто из наблюдавших развитие научного мышления прежних времен.

Однако человеческой мысли несвойственно, по примеру нагретого тела у Фурье, неизменно устанавливаться в состоянии окончательного уравновешенного покоя, которое мы можем предсказать заранее. Наша мысль скорее подобна дереву, выпускающему побеги, которые тянутся к свету, или же корням дерева, извивающимся

среди различных пластов земли, в которые они зарываются. Мы, которые дышим воздухом нашего века и знаем только характеристики современного мышления, — мы не можем предсказать общий тон науки будущего, так же как не можем предвидеть тех открытий, которые принесет это будущее.

Физические исследования постоянно обнаруживают перед нами новые особенности процессов природы, и мы вынуждены находить новые формы мышления, соответствующие этим особенностям. Отсюда вытекает необходимость тщательного изучения взаимоотношений между математикой и физикой, определяющих те условия, при которых идеи, заимствованные из одной отрасли физики, могут быть с уверенностью использованы для построения идей, применимых в новой отрасли той же науки.

Обороты речи и мышления, с помощью которых мы переносили терминологию знакомой нам науки в область науки, менее нам знакомой, можно назвать «научными метафорами».

Так, например, термины «скорость», «момент», «сила» и т. д. получили определенное точное значение в элементарной динамике. Ими пользуются также в динамике связанных систем в смысле, хотя и вполне аналогичном элементарному значению, но более широком и обобщенном.

Такие обобщенные формы элементарных идей можно назвать метафорическими терминами в том смысле, в каком каждый абстрактный термин является метафорой. Характер действительно научной системы метафор таков, что каждый термин в его метафорическом употреблении сохраняет все те формальные соотношения с другими терминами системы, какие он имел при своем первоначальном употреблении. Данный метод является в этом случае истинно научным, т. е. он есть не только законный продукт науки, но в свою очередь может способствовать ее развитию.

Существуют известные электрические явления, которые связаны между собой соотношениями такой же формы, какие наблюдаются между динамическими явлениями. Применение к этим электрическим явлениям динамической фразеологии с соответствующими отличиями и предварительными ограничениями является метафо-

рическим методом, несколько более смелого характера; тем не менее, этот метафорический метод вполне оправдан, поскольку он дает правильную идею об электрических взаимоотношениях тем лицам, которые уже освоились с динамикой.

Допустим, что мы с успехом использовали некоторые идеи какой-либо элементарной науки, метафорически применив их к совершенно новой категории явлений. Тогда становится важным философским вопросом определить, в какой мере применимость старых идей к новым объектам свидетельствует о том, что новые явления физически родственны старым.

Вопрос наилучшим образом разрешается в тех случаях, когда одному и тому же предмету дают два различных объяснения. Наиболее известным примером подобного рода являются теории о корпускулярной и о волновой природе света. Обе теории до известного предела одинаково хорошо объясняют световые явления; дальше этого предела одна из них становится несостоятельной.

Для того чтобы понять правильное соотношение между этими теориями в той области, в которой они кажутся одинаково применимыми, мы должны рассматривать их в том освещении, которое придал им своим открытием Гамильтон [8a] и которое заключается в том, что каждой брахистохронной проблеме соответствует проблема свободного движения; обе учитывают различные скорости и времена, но в результате получается один и тот же геометрический путь. На эту тему очень интересную статью написал проф. Тэт.

Согласно теории электричества, которая с большим успехом разрабатывается в Германии [8b], две электрические частицы непосредственно действуют одна на другую на расстоянии, с силой, которая по Веберу зависит от их относительной скорости, а по теории, намеченной Гауссом и разработанной Риманом, Лоренцом и Нейманом, действует не мгновенно, а после известного промежутка времени, зависящего от расстояния. Нужно изучить эту теорию, чтобы оценить ту убедительность, с которой она, в обработке названных выдающихся ученых, объясняет все виды электрических явлений.

Другая теория электричества, которую я лично предпочитаю, отрицает действие на расстоянии и приписывает электрическое действие натяжениям и давлениям

во всепроникающей среде, причем напряжения принадлежат к тому же роду, который известен технике, среда же идентична той, в которой, как мы предполагаем, распространяется свет.

Обе эти теории объясняют не только те явления, с помощью которых они были первоначально построены, но и другие явления, о которых в то время не думали и которых, может быть, тогда не знали; обе теории совершенно самостоятельно привели к одним и тем же численным результатам, выражающим абсолютную скорость света в электрических единицах.

Тот факт, что две теории, повидимому, столь существенно противоположные, верны в очень широкой области, общей для них обеих, действительно, имеет философское значение, которое мы сможем полностью оценить только тогда, когда достигнем такой высоты научного понимания, с которой нами может быть усмотрена действительная связь между столь различными гипотезами.

Я хочу сделать еще одно замечание о соотношении между математикой и физикой. По существу одна является чисто умственными операциями, предмет же другой составляет пляска молекул.

Молекулы имеют свои собственные законы; мы избираем некоторые из них, как наиболее нам понятные и как наиболее доступные для вычислений. По этим частичным данным мы строим теорию и приписываем всякое отклонение действительных явлений от теории возмущающим причинам. В то же время мы признаем, что называем «возмущающими причинами» просто ту область действительных условий, которую мы не знаем или которой пренебрегли, и обещаем учитывать ее в будущем. Таким образом мы признаем, что так называемое возмущение — простая фикция нашего ума, а вовсе не природный факт, и что в действиях природы нет никаких возмущений.

Но это не единственный путь, которым может нарушаться гармония между материалом и мыслительной операцией. На мысль математика влияют очень много нарушающих факторов, например, усталость, пробелы памяти, слишком поспешные заключения; по этим причинам и по многим другим у математиков бывают ошибки.

Один из самых глубоких математиков и мыслителей нашего времени, покойный Джордж Буль, рассуждая

о точном и почти математическом характере законов правильного мышления, по сравнению с чрезвычайно запутанными, хотя, может быть, столь же определенными, законами фактического мышления, подверженного ошибкам, стал на такую точку зрения, с которой наука как бы заглядывает за пределы своей собственной области.

«Мы должны допустить, — говорит он, — что существуют законы (мышления), которых даже их строгие математические формы не могут защитить от нарушения. Мы приписываем им авторитетность, отнюдь не основанную на силе, и верховенство, которое не поддается истолкованию по аналогии с ненарушимым порядком, царствующим в мире природы».

---

ВВОДНАЯ ЛЕКЦИЯ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКЕ  
(ЗНАЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА В ТЕОРЕТИЧЕСКОМ  
ПОЗНАНИИ)

(Прочитана в октябре 1871 г.)

Кембриджский университет в соответствии с законом своего развития, согласно которому, придерживаясь строжайшей непрерывности между последовательными фазами своей истории, он с большей или меньшей быстротой приспособляется к требованиям времени, недавно ввел курс экспериментальной физики. Курс этот, требуя поддержания способностей к вниманию и анализу, столько времени культивировавшихся в университете, требует также упражнения наших чувств в наблюдении и наших рук в обращении с приборами. Привычные принадлежности — перо, чернила и бумага — не будут уже достаточны, и нам потребуется большее пространство, чем пространство кафедры, и большая площадь, чем поверхность доски. Мы обязаны щедрости нашего канцлера [9] тем, что, каков бы ни был в других отношениях характер экспериментальной работы, которую мы наеемся вести в будущем, материальные условия для ее широкого развертывания будут на уровне, до сих пор еще непревзойденным.

Итак, главной опорой экспериментальной физики в Кембридже является Девонширская физическая лаборатория, и я считаю желательным, прежде чем мы углубимся в какие-либо специальные исследования, рассмотреть сегодня, каким образом мы, Кембриджский университет, как некий живой организм, можем включить в себя и вдохнуть жизнь в этот новый организм, внешняя оболочка которого должна скоро возникнуть перед нами.

Учебный курс этого университета всегда включал наравне с чистой математикой и теоретическую физику.



Распространять солидное знание физики и насыщать умы студентов правильно понимаемыми принципами динамики давно считалось одной из наших высших функций, и очень немногие из нас могут поставить себя теперь в те условия, в которых приходилось работать даже таким ученым, как великий Декарт, до того как Ньютон провозгласил истинные законы движения тел. Действительно, изучение и распространение правильных идей о динамике уже произвело значительное изменение в языке и мышлении даже тех, кто не претендует на ученость, и мы ежедневно получаем новые доказательства того, что популяризация научных доктрин производит такие же большие изменения в умственном состоянии общества, какие материальные приложения науки вызывают в его внешней жизни. И на самом деле, почтение к науке так велико, что даже самые абсурдные мнения получают распространение, если только они выражены языком, вызывающим в памяти какие-нибудь хорошо известные научные фразы. Если общество подготовлено таким образом к восприятию всякого рода научных доктрин, то на нас лежит обязанность позаботиться о распространении и развитии не только истинно научных принципов, но и духа здорового критицизма, основанного на рассмотрении данных, на которых основываются утверждения, кажущиеся научными.

Когда мы сможем использовать при обучении науке не только сосредоточенное внимание студента и его знакомство с символическими обозначениями, но и зоркость его глаза, остроту слуха, тонкость осязания и ловкость его пальцев, мы не только распространим наше влияние на целую группу людей, не любящих холодных абстракций, но, раскрывая сразу все ворота познания, обеспечим ассоциирование этих научных доктрин с теми элементарными ощущениями, которые образуют смутный фон всех наших сознательных мыслей и придают блеск и рельефность идеям, которые, будучи представлены в абстрактной форме, могут совершенно исчезнуть из памяти.

В курсе экспериментальной физики мы можем считать ведущим элементом либо теорию, либо опыт. Мы можем либо использовать опыты для иллюстрации определенной отрасли физики, либо можем произвести некоторые физические исследования в качестве примера

определенного экспериментального метода. Мы должны начать в лекционном зале с курса лекций в какой-нибудь отрасли физики, пользуясь опытами как иллюстрацией, и закончить в лаборатории рядом исследовательских опытов.

Позвольте мне сказать несколько слов об этих двух типах опытов — опытах иллюстративных и опытах исследовательских. Целью иллюстративных опытов является освещение некоторых научных идей для того, чтобы сделать их понятными студенту. Условия опыта подобраны так, чтобы явление, которое мы хотим наблюдать или показать, выступало на первый план, а не затемнялось и запутывалось другими явлениями, как это имеет место, когда явление происходит в обычных естественных условиях. Важным разделом наших обязанностей является постановка иллюстративных опытов, поощрение других к постановке их и развитие всевозможными способами освещаемых ими идей. Чем проще материалы иллюстративного опыта и чем более они привычны учащемуся, тем глубже он поймет идею, которую должен иллюстрировать этот опыт. Воспитательная ценность таких опытов часто обратно пропорциональна сложности приборов. Студент, пользующийся самодельной, неточно работающей установкой, часто научается большему, нежели тот, который пользуется тщательно выверенными приборами, которым он может доверять, но которые он не смеет разбирать на части.

Весьма необходимо, чтобы те, кто пытается узнать из книг факты физики, могли распознать эти факты с помощью нескольких иллюстративных опытов, когда они встретятся с ними во внешнем мире. Наука представляется нам в совершенно другом виде, когда мы обнаруживаем, что можем увидеть физические явления не только в аудитории проецированными при помощи электрического света на экран, но можем найти иллюстрацию самым высоким областям науки в играх и гимнастике, в морских и сухопутных путешествиях, в бурях на суше и на море и повсюду, где имеется материя в движении.

Эта привычка различать первопричины среди бесконечного разнообразия их действия, ничуть не понижает наше ощущение величия природы, не мешает наслаждению ее красотой. Напротив, она стремится спасти наши

научные идеи от того неопределенного состояния, в котором мы их слишком часто оставляем погребенными среди других плодов ленивой доверчивости, и стремимся поднять их до соответствующего им положения среди тех доктрин, наша вера в которые так велика, что мы всегда готовы действовать согласно им

Иллюстративные опыты могут быть самого различного рода. Некоторые могут быть использованием самых обычных действий из области обыденной жизни, другие — тщательно организованными демонстрациями некоторых явлений, имеющих место лишь при особых условиях. Однако они все имеют то общее, что их целью является представить некоторые явления студенту таким образом, чтобы он мог ассоциировать с ними соответствующую научную идею. Если он усвоил эту идею, то иллюстративный опыт выполнил свое назначение.

С другой стороны, в исследовательских опытах это не является главной целью. Правда, люди, не знакомые еще с результатами опыта, могут считать исследовательским такой опыт, главной целью которого является наблюдение того, что случится при определенных условиях, но в экспериментальных исследованиях, в строгом смысле этого слова, конечной целью является измерение чего-то, что мы уже наблюдали, получение численного значения некоторой величины.

Опыты такого рода, заключающие какие-либо измерения, и являются истинным делом физической лаборатории. В каждом опыте мы должны сначала приучить наши чувства к явлению, но, не останавливаясь на этом, должны выяснить, какие из его основных свойств поддаются измерению и какие измерения требуются для полного описания явления. Мы должны произвести затем эти измерения и вывести из них искомый результат.

Эта характеристика современных экспериментов — то, что они заключаются главным образом в измерениях, — настолько бросается в глаза, что, повидимому, распространилось мнение о том, что через несколько лет все основные физические постоянные будут с достаточной точностью определены и единственным оставшимся для ученых занятием будет достижение при дальнейших измерениях следующих десятичных знаков.

Если таково действительное положение вещей, к которому мы приближаемся, то наша лаборатория станет,

быть может, знаменита своей добросовестной работой и совершенством экспериментального мастерства; но она будет не на месте в университете и должна быть скорее отнесена к ряду знаменитых мастерских нашей страны, в которых подобное умение направлено на более полезные цели.

Но мы не вправе так думать о непостижимых богатствах творения или о неиспытанной еще продуктивности тех смелых умов, в которые будут продолжать изливаться эти богатства. Возможно, что действительно в некоторых областях исследования, открывающихся тем грубым наблюдениям, которые можно сделать без искусственных приемов, великие исследователи прошлого завладели почти всем ценным и что оставленные ими крохи подбираются скорее из-за своей таинственной непонятности, нежели ради истинной, присущей им ценности. Но история науки показывает, что даже в течение этой фазы своего развития, в которой она посвящает себя уточнению численных измерений давно знакомых ей величин, она подготавливает материалы для подчинения новых областей, которые остались бы неизвестными, если бы наука довольствовалась грубыми методами своих ранних пионеров. Я мог бы привести примеры из любой отрасли науки, показывающие, как работа над тщательными измерениями была вознаграждена открытиями новых областей исследования и развитием новых научных идей. Так, история науки о земном магнетизме дает нам достаточный пример того, что можно сделать «объединенными опытами», какие мы и надеемся когда-нибудь произвести в нашей лаборатории.

На знаменитого путешественника Гумбольдта произвело глубокое впечатление научное значение объединенных усилий наблюдателей всех национальностей для точного измерения земного магнетизма; и мы главным образом обязаны его научному энтузиазму, его высокой репутации, его широкому влиянию тем, что он побудил принять участие в этом предприятии не только отдельных ученых, но и правительства большинства цивилизованных наций, в том числе и нашей. Но фактической разработкой плана и организацией, при которых вся работа наблюдателей должна была дать наилучший результат, мы обязаны великому математику Гауссу, работавшему в Геттингенской магнитной обсерватории вме-

сте с Вебером, будущим основателем науки об электромагнитных измерениях. В этой работе им помогало искусство изготовлявшего приборы механика Лейзера. Эти люди, однако, работали не одни. Многие ученые вошли в Магнитное объединение, изучили способ употребления новых инструментов и новые методы сокращения опытов; и в каждом европейском городе можно видеть в определенно установленном время, как они сидят в холодных деревянных сараях, припав глазом к зрительной трубе, внимательно прислушиваясь к часам и отмечая карандашом в записной книжке мгновенное положение подвешенного магнита.

Таким образом было осуществлено бэконовское представление об «объединенных опытах», разрозненные научные силы превращены в регулярную армию, соревнование и зависть сделались неуместны, так как полученные любым из наблюдателей результаты не имели никакой цены, не будучи объединены с результатами остальных.

Полученное при помощи нового метода увеличение точности и полноты магнитных наблюдений открыло новые области исследования, о существовании которых вряд ли подозревали люди, производившие более примитивным способом наблюдения над магнитной стрелкой. Мы должны отложить до соответствующего места в нашем курсе подробное описание возмущений, которым, оказывается подвергается земной магнетизм. Некоторые из этих возмущений периодичны и связаны с равномерным движением солнца и луны. Другие внезапны и называются магнитными бурями, но, подобно атмосферным бурям, они имеют уже известную нам периодичность. Последнее и наиболее таинственное из этих магнитных изменений есть то вековое изменение, благодаря которому постепенно изменяется весь характер земли, как огромного магнита, поскольку магнитные полюсы медленно, по извилистому пути, продвигаются из века в век в полярных областях.

Мы узнаем, таким образом, что внутренность земли подвержена влиянию небесных тел и что, кроме этого, непрерывно происходит некоторое постоянное и прогрессивное изменение, причина которого совершенно неизвестна. Во всех магнитных обсерваториях во всем мире работает установка, при помощи которой подвешенный

магнит направляет луч света на специальную движимую часовым механизмом полоску бумаги. На этой бумаге не знающее покоя сердце земли чертит теперь телеграфными знаками, которые будут когда-нибудь расшифрованы, запись его пульсаций и колебаний, а также запись медленного, но мощного движения, предупреждающего нас, что мы не должны считать внутреннюю историю нашей планеты законченной.

Это грандиозное исследование земного магнетизма оказало длительное влияние на прогресс науки вообще. Мне достаточно будет привести один или два примера. Новые методы измерения сил были успешно применены Вебером к числовым определениям всех электрических явлений, и вскоре затем электрический телеграф, придавая коммерческое значение точным числовым измерениям, в большой мере способствовал как успехам, так и распространению научных знаний.

Но это влияние чувствовалось не только в этих более новых отраслях науки. Гауссу, Магнитному объединению и магнитным наблюдателям вообще мы обязаны освобождением от нелепого метода измерения сил переменной единицей, так долго господствовавшего даже среди ученых. Гаусс первый обосновал практическое измерение магнитной силы (и, следовательно, всякой другой силы) теми давно установленными принципами, которыми, несмотря на то, что они воплощены в каждом динамическом уравнении, обычно настолько пренебрегали, что эти самые уравнения, хотя и правильно приведенные в наших кембриджских учебниках, обычно объяснялись в них при допущении, в добавление к переменной единице силы, переменной же и потому незаконной единицы массы.

Таковы некоторые научные результаты, следовавшие в данном случае от объединения математических способностей, экспериментальной прозорливости и лабораторного искусства для помощи и руководства работой целого коллектива усердных наблюдателей. Поэтому, если мы хотим для нашей собственной пользы и для славы нашего университета, чтобы Девонширская лаборатория успешно работала, мы должны постараться поддерживать живую связь ее с другими органами и факультетами нашей ученой корпорации. Поэтому прежде всего рассмотрим, в каком отношении находится наша работа к тем,

долгое время процветавшим среди нас математическим исследованиям, касавшимся тех же вопросов, которыми занимались и мы и которые отличаются от наших экспериментальных исследований лишь тем, как они преподносятся.

Нет лучшего метода сообщения уму знаний, чем метод преподнесения их в возможно более разнообразных формах. Когда проникшие в наш ум различными путями идеи объединяются в крепости ума, занимаемое ими положение становится неприступным. Оптики говорят нам, что соединение в нашем мозгу восприятий предмета, полученных из двух положений, отстоящих друг от друга не далее, чем оба наших глаза, достаточно, чтобы создать впечатление объемности видимого предмета; и мы видим, что это впечатление получается даже тогда, когда мы сознаем, что в действительности рассматриваем плоские изображения в стереоскопе. Поэтому естественно ожидать, что физические знания, полученные при помощи соединенного применения математического анализа и экспериментальных исследований, будут более прочны, доступны и долговечны, чем знания одних только математиков или одних только экспериментаторов.

Но какое влияние окажет на университет тот факт, что люди, слушающие курс, давший столько выдающихся, окончивших с отличием по математике людей, отвлекаются для экспериментальной работы? Не будут ли их посещения лаборатории расцениваться не только как время, отнятое у изучения основной специальности, но и как введение смущающего элемента, пятнающего их математические представления материальными иллюстрациями и подрывающего их веру в формулы учебников? Помимо этого, мы уже слышали жалобы на чрезмерное расширение университетского курса и увеличение напряжения, налагаемого на наших оканчивающих студентов тяжестью обучения, жалобы, которые они пытаются заявить правлению университета. Если мы теперь попросим их изучить свой предмет не только при помощи книг и записей, но одновременно и при помощи наблюдений и опытов, то не падут ли они окончательно духом? Нам говорят, что физическая лаборатория, может быть, принесет пользу тем, кто будет заниматься естественными науками, а не математикой, но что пытаться соединить оба эти рода изучения в течение пребывания

в университете — это больше, чем может вынести голова одного человека.

Несомненно, есть некоторые основания для такого мнения. Многие из нас уже превозмогли начальные трудности математического обучения. Продвигаясь теперь в нашей работе, мы чувствуем, что она требует усилий и включает в себе трудности, но мы уверены, что если будем упорно работать, то успех обеспечен.

С другой стороны, некоторые из нас уже имели опыт в повседневной экспериментальной работе. Как только мы научаемся читать шкалы, наблюдать время, фокусировать зрительную трубу и т. д., такого рода работа перестает требовать значительных умственных усилий. Мы можем, пожалуй, утомить глаза и спины, но мы не очень утомляем наши умы.

Лишь пытаясь связать теоретическую часть нашего обучения с практической, мы начинаем испытывать все воздействие того, что Фарадей назвал «умственной инерцией» — не только трудность обнаружить среди находящихся перед нами конкретных объектов абстрактные соотношения, которые мы почерпнули из книг, но затруднительную работу обращения нашего внимания от символических обозначений к объектам и от объектов, обратно, к символам. Такова, однако, цена, которую мы должны платить за новые идеи.

Однако, преодолев эти затруднения и успешно перебросив мост через пропасть между абстрактным и конкретным, мы не просто получаем некоторые знания: мы приобрели зачатки некоторого постоянного вклада в наше мышление. Когда, повторением подобного рода усилий, мы шире разовьем научные способности, то применение этих способностей к открытию научных принципов природы и к направлению практики теорией перестает быть скучным и становится неистощимым источником радости, к которому мы прибегаем так часто, что, наконец, даже наши случайные мысли начинают бежать по научному руслу.

Я признаю, что наша умственная энергия количественно ограничена, и знаю, что много усердных студентов пытаются сделать больше, нежели это для них полезно. Но вопрос о введении экспериментальных занятий не является всецело вопросом количества. Он в значительной мере является вопросом распределения энергии. Мы



знаем, что некоторые распределения энергии более полезны, чем другие, так как они более пригодны для тех целей, которых мы желаем достигнуть.

Однако при обучении большая часть утомления часто возникает не от умственных усилий, с помощью которых мы овладеваем предметом, но от тех, которые мы тратим, собирая наши блуждающие мысли; и эти усилия внимания были бы гораздо менее утомительны, если бы можно было устранить рассеянность, нарушающую умственную сосредоточенность.

Поэтому-то человек, вкладывающий в работу всю свою душу, всегда успевает больше, нежели человек, интересы которого не связаны непосредственно с его занятием. В последнем случае побуждения, которыми он пользуется для стимулирования своих падающих сил, сами становятся средством отвлечения его от работы.

Может быть и существуют математики, занимающиеся своими исследованиями исключительно для собственного удовольствия. Однако большинство людей предполагает, что главная польза математики заключается в применении ее для объяснения природы. Человек, изучающий какую-нибудь отрасль математики для того, чтобы понять обнаруженные им явления, или для того, чтобы рассчитать наилучшую постановку какого-нибудь опыта, который он собирается сделать, будет меньше отвлекаться, чем если бы его единственной целью было изощрение своего ума для успешного применения закона или для получения одного из первых мест в списке студентов-математиков, окончивших Кембриджский университет с отличием.

Я знал людей, которые, будучи в школе, никак не могли понять пользы математики, но, поняв ее, в дальнейшем не только становились выдающимися учеными-инженерами, но достигали больших успехов в занятиях абстрактной математикой. Если наш экспериментальный курс поможет кому-либо из вас увидеть пользу математики, это освободит нас от большого беспокойства, так как не только обеспечит успех вашего дальнейшего учения, но и сделает менее вероятным его вред для вашего здоровья.

Но зачем нам стараться доказывать пользу практической науки для университета? Поговорим лучше о той

помощи, которую университет может оказать науке, когда люди с хорошей математической подготовкой, пользующиеся хорошо оборудованной лабораторией, объединят свои усилия для выполнения какого-нибудь экспериментального исследования, которое не мог бы предпринять ни один отдельный работник.

Вначале, вероятно, нашей главной экспериментальной работой должно быть иллюстрирование отдельных отраслей науки, но по мере продвижения вперед мы должны будем присоединить к этому изучение научных методов, причем один и тот же метод часто иллюстрируется применением его к исследованиям, принадлежащим к различным отраслям науки.

Можно себе даже представить экспериментальный курс, расположение которого основывалось бы на классификации не предметов исследования, но методов. Комбинация этих двух планов нравится мне больше, чем каждый из них в отдельности, и, пользуясь каждым случаем для изучения методов, мы постараемся не отделять метод от научного исследования, к которому он приложен и которому он обязан своей ценностью.

Поэтому мы расположим наши лекции, согласно классификации главных явлений природы, как тепло, электричество, магнетизм и т. д.

С другой стороны, в лаборатории место различных инструментов будет определяться классификацией на основании таких методов, как взвешивание и измерение, наблюдение времени, оптические и электрические методы наблюдения и т. д.

Определение времени, когда должен быть проделан тот или иной опыт, зависит от находящихся в нашем распоряжении средств, а в случае более сложных опытов может потребоваться значительный срок для подготовки их, в течение которого постепенно приспособляются для работы инструменты, методы и сами наблюдатели. Когда мы, таким образом, соединили для отдельного опыта все необходимое как со стороны материальной, так и со стороны интеллектуальной, иногда желательно, прежде чем разобрать приборы и распустить наблюдателей, проделать какой-нибудь другой опыт, требующий того же метода, но касающийся, может быть, совершенно другого класса физических явлений.

Однако нашей главной задачей в лаборатории будет

ознакомление со всякого рода научными методами, сравнение их и их оценка.

Я думаю, будет достойным нашего университета и как раз будет той работой, которую скорее можно произвести здесь, чем в какой-либо частной лаборатории, если свободным и всесторонним обсуждением значимости различных научных процедур нам удастся образовать школу научной критики и помочь развитию учения о методе.

Однако, признавая, что практическое знакомство с физическими методами является существенной частью математического и естественно-научного образования, нас могут спросить, не приписываем ли мы вообще слишком много значения точной науке, как части общего образования.

К счастью, здесь не ставится вопрос о том, должен ли университет быть местом получения общего образования, или должен посвятить себя подготовке юношей к определенным профессиям. Поэтому, хотя я надеюсь, что некоторые из нас могут иметь основание к тому, чтобы сделать научные исследования главной целью своей жизни, мы должны постоянно стремиться поддерживать живую связь между нашей работой и гуманитарными курсами Кембриджа: литературными, филологическими, историческими или философскими.

Среди ученых появляется иногда узкий профессиональный дух, такой же, какой появляется среди людей, занимающихся какой-либо другой специальностью. Но, конечно, университет как раз является местом, в котором можно преодолеть тенденцию людей разбиваться на замкнутые кружки, в которых, именно благодаря их замкнутости, господствуют мелкие цеховые интересы. Мы теряем преимущество быть объединением различных специальностей, если не пытаемся до некоторой степени впитать дух науки даже со стороны тех, чья специальная отрасль знания отлична от нашей.

Не так давно еще на каждого человека, посвятившего себя геометрии или какой-либо другой науке, требующей постоянной усидчивости, смотрели как на мизантропа, отказавшегося от всяких человеческих интересов и преданного столь оторванной от мира абстракции, что он стал одинаково нечувствителен как к удовольствиям, так и к требованиям долга.

В настоящее время на людей науки не смотрят уже с почтительным страхом или с подозрительностью. Предполагается, что они связаны с практическим духом века и образуют как бы передовой отряд человечества.

Мы находимся здесь не для того, чтобы защищать литературные или исторические исследования. Мы признаем, что истинной темой исследования для человечества есть человек. Но разве человек, занимающийся точными науками, отторгнут от изучения человека или от всякого благородного чувства, поскольку он живет в интеллектуальном общении с людьми, которые посвятили свою жизнь нахождению истины и результаты исследований которых наложили отпечаток на обычную речь и образ мышления людей, никогда не слышавших их имен? Или изучающий историю и человека должен выпустить из своего поля зрения историю происхождения и развития тех идей, которые вызвали различие одного века от другого?

Правда, история науки всегда отлична от науки об истории. Люди, имена которых встречаются в истории науки, не являются просто составными частями массы, о которых надо судить в совокупности со всеми другими.

Но история науки не ограничивается перечислением успешных исследований. Она должна сказать нам о безуспешных исследованиях и объяснить, почему некоторые из самых способных людей не смогли найти ключа знания, и как репутация других дала лишь большую опору ошибкам, в которые они впали.

История как нормального, так и ненормального развития людей является из всех предметов исследования тем, который представляет для нас, как мыслящих людей, наибольший интерес. Но, когда действие мышления переходит из интеллектуальной стадии, в которой двумя возможностями являются истина и ошибка, в более страстное эмоциональное состояние гнева и страсти, хитрости и зависти, бешенства и безумия, то, хотя изучающий науку человек и должен признать мощное влияние, оказываемое некоторыми из этих диких сил на человечество, он, может быть, до некоторой степени не подходит для изучения этих областей человеческой природы.

Но как мало среди нас способных извлечь пользу из таких исследований! Мы не можем полностью симпатизировать этим низшим фазам нашей природы, не поте-

ряв частично той антипатии к ним, которая является нашей вернейшей охраной против возвращения к более низкому типу, и мы с радостью возвращаемся в общество тех знаменитых людей, которые, стремясь к благородным целям как интеллектуальным, так и практическим, поднялись над областью бурь в более чистую среду, где не существует ни неправильного истолкования мнений, ни двусмысленности выражений, но в которой один ум вступает в теснейший контакт с другим в той точке, где оба они близко подходят к истине.

В течение этого семестра я предполагаю читать о теплоте и, поскольку сейчас еще нет необходимых условий для экспериментальной работы, то вместо обсуждения деталей экспериментальных методов, я постараюсь ознакомить вас с относительным положением и научной связью различных отраслей знания.

Мы начнем с термометрии, или измерения температур, и калориметрии — измерения качеств тепла. Затем мы перейдем к термодинамике, которая исследует связь между тепловыми и остальными динамическими свойствами тел в той мере, в какой эти связи могут быть прослежены без каких-либо особых предположений о строении этих тел.

Принципы термодинамики бросают яркий свет на все явления природы, и, вероятно, многие важные применения этих принципов могут быть получены в будущем. Однако мы должны наметить границы этой науки и показать, что многие явления природы, в частности явления, сопровождаемые рассеянием энергии, не могут быть исследованы при помощи одних только принципов термодинамики, но что для понимания их мы должны исходить из несколько более определенной теории о строении тел.

Две теории строения вещества борются друг с другом с переменным успехом с древнейших времен: теория заполненности вселенной и теория атомов и пустоты.

Теория заполненности вселенной связана с учением о математической непрерывности, и ее математические методы суть методы дифференциального исчисления, которые являются адекватным выражением отношений непрерывного количества.

Теория атомов и пустого пространства приводит нас к признанию большой важности учений о целых числах

и о конечных отношениях. Однако в применении динамических принципов к движению громадного числа атомов, ограниченность наших способностей вынуждает нас отбросить попытку исследовать точную историю каждого атома и удовлетвориться подсчетом среднего положения группы атомов, достаточно большой для того, чтобы быть видимой. Этот метод оперирования группами атомов, который я могу назвать статистическим методом и который при современном состоянии нашего знания является единственно плодотворным методом изучения свойств реальных тел, находящихся в нашем распоряжении, включает отказ от чисто динамических принципов и принятие математических методов, относящихся к теории вероятностей. Возможно, что, благодаря применению этих, пока еще мало известных и непривычных для нашего сознания методов, будут достигнуты значительные результаты. Если бы действительная история науки была иной и если бы научными доктринами, наиболее привычными и знакомыми для нас, были доктрины, выраженные этими указанными методами, то, вероятно, мы принимали бы существование определенного рода случайности за самоочевидную истину и считали бы философское учение о необходимости чистым софизмом.

Приблизительно в начале этого столетия некоторые знаменитые французские математики исследовали свойства тел как систем молекул в равновесии. Несколько неудовлетворительный характер результатов этих исследований породил, особенно в нашей стране, реакцию в пользу противоположного метода, рассматривающего тела так, как если бы они были, — хотя бы в той мере, в какой это относится к нашим опытам, — действительно непрерывными. Этот метод в руках Грина, Стокса и других привел к результатам, вовсе не зависящим от того, какую теорию мы принимаем относительно действительного строения материи.

Одним из важнейших результатов исследований свойств тел на основе гипотезы об их непрерывности является то, что оно дает нам критерий, при помощи которого мы можем установить путем опытов над реальными телами, до какой степени малости они должны быть доведены прежде, чем возникнет уверенность, что их свойства уже не являются свойствами тела в целом. Исследования этого рода, в сочетании с изучением раз-

личных явлений диффузии и рассеяния энергии, дали в последнее время много доказательств в пользу гипотезы, рассматривающей тела, как системы молекул, находящихся в движении.

В течение этого семестра я собираюсь изложить вам некоторые доказательства существования молекул как отдельных тел, обладающих определенными свойствами. Молекула, как она представляется научному воображению, есть тело, совсем не похожее на тела, известные нам до сих пор из опытов.

Во-первых, ее масса и другие определяющие ее свойства абсолютно неизменны; отдельная молекула не может ни расти, ни уменьшаться, но остается неизменной среди всех изменений тел, составной частью которых она является.

Во-вторых, она не является единственной молекулой с совокупностью свойств, ей присущих, так как существует бесчисленное множество других молекул, постоянные из которых не приблизительно совпадают, а абсолютно тождественны постоянным первой молекулы, безотносительно, находятся ли они на земле, на солнце или на неподвижных звездах.

Я не буду строить предположений о том, какими процессами эволюции ученые будущего попытаются объяснить эту тождественность свойств такого множества тел, каждое из которых неизменно по величине и некоторые из которых отделены от других расстояниями, которые астрономия тщетно пытается измерить. Мой разум ограничен в пределах своих познавательных возможностей, и я вынужден верить, что эти молекулы должны были быть созданными такими, какими они являются с начала своего существования.

Точно так же я прихожу к заключению, что, поскольку ни один из процессов природы в течение разнообразных воздействий на различные отдельные молекулы не вызвал после ряда веков даже ничтожнейших различий между свойствами одной молекулы и свойствами другой, история сочетаний которых была бы различна, мы не можем приписать ни их существование, ни тождество их свойств действию каких-нибудь из тех причин, которые мы называем естественными [10].

Справедливо ли тогда утверждение, что наша научная мысль действительно проникает сквозь видимую форму

вещей, подверженных созиданию и уничтожению, и достигла входа в тот мир порядка и совершенства, который остается неизменным со дня его создания, совершенным в числе, мере и весе.

Может быть, мы ошибаемся. Никто еще не видел отдельной молекулы и не имел с ней дела, и наша молекулярная гипотеза, может быть, в свою очередь уступит место новой теории строения материи; однако идея о существовании бесчисленного множества отдельных частиц, неизменных и подобных друг другу, проникнув в человеческое сознание, не может оставаться бесплодной.

Но что если эти неразрушимые молекулы окажутся не самостоятельными субстанциями, а лишь проявлениями некоторой иной субстанции?

Согласно теории вихревых атомов В. Томсона, субстанцией, из которой состоят молекулы, является материя одинаковой плотности, равномерно заполняющая все пространство и обладающая свойствами идеальной жидкости; сама же молекула есть не что иное, как некоторое движение, сообщенное части этой жидкости, и это движение, как это показал Гельмгольц, так же неразруσιμο, как и уверенность наша в неразрушимости каждой частицы материи.

Если подобного рода теория верна или даже если она правдоподобна, то наша идея материи может войти в наше сознание через опыты и с такими системами вихрей, которые мы называем телами и которые, однако, являются не субстанциями, а движениями субстанций; более того, полученное таким образом представление о материи как субстанции, обладающей инерцией, в действительности можно применить к этой жидкости, вихри в которой представляют движение, хотя никаких доказательств существования этой жидкости, кроме вихревого движения в некоторых ее частях, наш опыт не дает.

Утверждали, что метафизические спекуляции отошли уже в прошлое и что физическая наука уничтожила их. Однако и в наше время нет оснований опасаться прекращения обсуждения категорий бытия, и спекулятивные упражнения так же продолжают увлекать смелые умы, как увлекали их еще в дни Фалеса.



## О МАТЕМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

(Из *Proceedings of the London Mathematical Society*,  
vol. III, № 34, 1871)

Первый этап развития физической науки состоит в отыскании системы величин, относительно которых можно предположить, что от них зависят явления, рассматриваемые данной наукой. Второй ступенью является отыскание математической формы соотношений между этими величинами. После этого можно рассматривать эту науку, как науку математическую. Проверка же ее законов осуществляется путем теоретического исследования условий, при которых могут быть возможно более точно измерены некоторые величины, а также путем последующего экспериментального осуществления этих условий и действительного измерения этих величин.

Лишь благодаря имевшим место за последнее время успехам науки мы познакомились с таким большим количеством физических величин, что стала желательна их классификация.

Одна весьма очевидная классификация величин основана на классификации тех наук, в которых они встречаются. Так, температура, давление, плотность, удельная теплота, скрытая теплота и т. д. суть величины, встречающиеся в теории воздействия теплоты на тела.

Не та классификация, о которой я сейчас говорю, основана на математической или формальной аналогии между различными величинами, а не на предмете, к которому они относятся. Так, отрезок прямой линии, сила, скорость вращения и т. д. суть величины, различные по своей физической природе, но сходные по своей математической форме. Мы можем различать эти два способа классификации, называя первую физической, а вторую математической классификацией величин.

Знакомство с математической классификацией величин чрезвычайно полезно как человеку, ведущему оригинальные исследования, так и человеку, просто изучающему науку. Наиболее показателен тот случай, при котором мы узнаем, что величины определенной системы находятся в новой науке в тех же математических соотношениях друг с другом, что и величины некоторой другой системы в старой науке, в которой эта система была уже сведена к математической форме и проблемы которой были уже разрешены математиками.

Так, когда Моссоти заметил, что Фарадей доказал аналогичность некоторых величин, относящихся к электростатической индукции в диэлектриках, и некоторых величин, относящихся к магнитной индукции в железе и других телах, он смог воспользоваться математическими исследованиями Пуассона, относящимися к магнитной индукции, переведя лишь их с магнитного языка на язык электричества и с французского на итальянский.

Другой пример, далеко не столь очевидный, это — пример аналогии, существующей между вопросами притяжения и вопросами установившейся теплопередачи, впервые отмеченный сэром Вилльямом Томсоном. Пользуясь ею, мы можем применить многие результаты, полученные Фурье для теплоты, при объяснении электрического распределения и все результаты, полученные Пуассоном для электричества, для объяснения проблем теории теплоты.

Но ясно, что все аналогий такого рода основаны на значительно более глубоких принципах и что, если бы мы имели настоящую математическую классификацию величин, то мы могли бы сразу открыть аналогию между любой представленной нам системой и другими системами величин в уже известных нам науках. Таким образом мы не теряли бы времени, так как пользовались бы математическими трудами тех, кто уже в основном разрешил проблемы того же рода.

Все величины могут быть объединены в одном отношении, а именно в том, что их можно определить при помощи двух факторов. Первый фактор есть числовая величина, а второй — единица того же рода, как и определяемая.

Таким образом можно сказать, что число управляет всем миром количеств, и четыре действия арифметики

можно рассматривать как полное снаряжение математика.

Положение и форму, считавшиеся ранее в исключительном распоряжении геометров, остроумным построением координатных осей, положенных им в основу своих операций, Декарт заставил подчиниться законам арифметики.

Со времени этого большого шага, сделанного математикой, все величины рассматривались одинаковым образом и представлялись при помощи чисел или символов, означающих числа. Таким образом, как только какая-нибудь наука полностью приводилась к математической форме, предполагалось (по крайней мере в мире неспециалистов), что решение проблем в этой науке как умственный процесс производится без помощи каких бы то ни было физических идей этой науки.

Мне не приходится говорить, что это неправильно и что при решении физических проблем математикам оказывает большую помощь знание науки, в которой эта проблема встречается.

В то же время я думаю, что для успеха науки как в области открытий, так и в области распространения ее было бы весьма полезно, если бы обращали больше внимания непосредственно на классификацию величин.

Чрезвычайно важное различие было проведено Гамильтоном, разделившим величины, с которыми он имел дело, на скаляры, полностью изображаемые одной числовой величиной, и векторы, требующие для своего определения трех числовых величин.

Изобретение исчисления кватернионов есть шаг вперед к познанию величин, связанных с пространством, сравнимое по своему значению лишь с изобретенной Декартом системой координат. Идеи этого исчисления, отвлеченные от его действий и символов, могут быть чрезвычайно полезны во всех областях науки:

Можно предположить, что другим важным шагом вперед в развитии науки явилось бы изобретение метода, столь же подходящего для представления динамических величин. Подобно тому как наши представления о физической науке становятся более жизненными при замене чисто числовых идей картезианской математики геометрическими идеями гамильтоновской математики, так в более высоких науках идеи могли бы получить

еще более высокое развитие, если бы их можно было выразить на языке, столь же соответствующем динамике, насколько гамильтоновский соответствует геометрии.

Другим преимуществом этой классификации является то, что она руководит нами в применении четырех правил арифметики. Мы знаем, что можно применять законы сложения и вычитания только в том случае, если мы имеем дело с величинами одного и того же рода. В некоторых случаях мы можем перемножать или делить одну величину на другую, но в других случаях результат этого действия не имеет никакого рационального значения.

Профессор Ранкин указал, что физическая величина, называемая энергией или работой, может быть представлена в виде произведения двух множителей многими различными способами.

Размерность этой величины  $\frac{ML^2}{T^2}$ , где  $L$ ,  $M$  и  $T$  представляют собой конкретные единицы длины, массы и времени. Если мы разложим энергию на два множителя, из которых один будет заключать  $L^2$ , то оба множителя будут скалярами. С другой стороны, если каждый из них будет заключать  $L$ , то они оба будут векторами. Сама энергия всегда скалярная величина.

Так, если мы возьмем в качестве множителей массу и квадрат скорости, как это делается в обычных определениях живой силы или кинетической энергии, то оба множителя — скаляры, хотя один из них, квадрат скорости, не имеет своего определенного физического значения.

Другим разложением на повидимому скалярные множители является разложение на объем и гидростатическое давление, хотя мы должны рассматривать здесь объем не сам по себе, но как величину, подверженную возрастанию и уменьшению. Это изменение объема может происходить лишь на поверхности и вызывается изменениями поверхности в направлении нормали, так что оно есть не скалярная, а векторная величина. Также и давление — хотя в абстрактном представлении гидростатическое давление и скалярно, — нужно представить себе приложенным к поверхности. Таким образом оно становится направленной величиной, или вектором.

Разложение энергии на векторные множители дает результаты, всегда допускающие удовлетворительную ин-

терпретацию их. Один из сомножителей представляют себе как тенденцию к какому-то изменению, а другой как само изменение.

Так, в элементарном определении работы, ее рассматривают как произведение силы на путь, по которому движется точка приложения силы, взятый в виде проекции на направление силы. На языке кватернионов она есть скалярная часть произведения силы на перемещение.

Можно рассматривать эти два вектора, силу и перемещение, как типичную пару векторов, произведение которых представляет своей скалярной частью некоторую из форм энергии.

Так, вместо разложения кинетической энергии на множители: «масса» и «квадрат скорости», из которых последний не имеет смысла, мы можем разложить ее на «момент» и «скорость» — два вектора, которые в динамике материальной частицы имеют одинаковое направление, но в обобщенной динамике могут иметь различные направления, так что, беря их произведение, нужно помнить правило нахождения его скалярной части.

Но общий принцип разложения энергии на два множителя особенно ясно виден, когда мы имеем дело со сплошными телами и величинами, распределенными в пространстве.

Когда мы рассматриваем энергию, как нечто существенно присущее телу, мы можем измерять интенсивность количеством, заключенным в единице объема. Это, конечно, — величина скалярная.

Из двух составляющих ее множителей, один относится к единице длины, а другой — к единице площади. Это дает, с моей точки зрения, чрезвычайно существенное различие между векторными величинами.

Векторы, относимые к единице длины, я буду называть силами, употребляя, как мы увидим, это выражение в несколько обобщенном смысле. Операция интегрирования составляющей силы в направлении некоторой линии для каждого элемента этой линии всегда имеет физическое значение. В некоторых случаях результат интегрирования независим от пути между ее начальной и конечной точками. Результат называется тогда потенциалом.

Векторы, относимые к единице площади, я буду называть потоками. Операция интегрирования составляющей

потока, перпендикулярной к поверхности, для каждого элемента поверхности всегда имеет физический смысл. В некоторых случаях результат интегрирования по замкнутой поверхности не зависит, с некоторыми ограничениями, от положения поверхности. Результат выражает тогда количество некоторого рода вещества, либо существующего внутри поверхности, либо вытекающего из нее, соответственно физической природе потока.

В физике во многих случаях сила и поток всегда имеют одно и то же направление и пропорциональны друг другу. Поэтому одним часто пользуются для измерения другого; их обозначения часто вырождаются в одно, и оба эти представления смешиваются. Один из самых важных математических результатов открытия веществ, обладающих различными физическими свойствами в различных направлениях, заключался в том, что он позволил провести различие между силой и потоками, показывая нам, что их направления могут быть различны.

Так, в обычной теории жидкостей, в которой рассматривается лишь движение, которое можно непосредственно обнаружить, мы можем с одинаковым успехом определить скорость двумя различными способами. Мы можем определить ее через единицы длины — как число единиц длины, пройденных частицей за единицу времени. Или мы можем определить ее через единицы площади как объем жидкости, проходящей через единицу площади за единицу времени. Определенная первым способом, она принадлежит к категории сил; определенная вторым — к категории потоков.

Но если мы попытаемся развить более полную теорию жидкостей, учитывающую наличие диффузии, при которой в одном и том же месте две жидкости обладают различными скоростями, или если мы примем учение о том, что в силу теплоты молекулы жидкости находятся в состоянии движения, то хотя мы и можем дать определение скорости отдельной молекулы, выражая ее через единицу длины, мы не можем этого сделать для самой жидкости; и единственный способ определения движения жидкости — это рассмотрение ее как потока и измерение последнего количеством жидкости, протекающей сквозь единицу площади.

Это различие еще более необходимо, когда мы обращаемся к теплоте и электричеству. Тепловой или эле-

ктрический поток нельзя себе даже представить иначе, как в виде количества, протекающего в заданное время сквозь заданную площадь. Для того чтобы составить представление о скорости, в смысле, / соответствующем каждому из этих агентов, нам нужно было бы представить себе тепло и электричество, как непрерывную материю, имеющую известную плотность.

Мы должны поэтому рассматривать эти количества как потоки. Соответствующие им силы: в случае теплоты — степень изменения температуры, в случае электричества — степень изменения потенциала.

Я достаточно сказал для установления различия между силами и потоками. В статическом электричестве результирующая сила в точке есть степень изменения потенциала, а поток — величина, которую до сих пор смешивали с силой и которую я назвал электрическим смещением.

В магнетизме результирующая сила также является степенью изменения потенциала, а поток есть то, что Фарадей называет магнитной индукцией и что измеряется, как это показал Томсон, силой, приходящейся на единичный полюс, помещенный в узкой щели, прорезанной перпендикулярно к направлению намагничивания магнита. Я не буду задерживать Общество разъяснением этих величин, но должен коротко установить природу отношения силы и потока в его самой общей форме.

Когда один вектор является функцией другого вектора, отношение первого ко второму является вообще кватернионом, представляющим собой функцию второго вектора.

Когда второй вектор изменяется лишь по величине, а первый все время ему пропорционален и остается постоянным по направлению, мы имеем важный случай *линейной* функции. Первый вектор тогда называется *линейной* векторной функцией второго.

Если  $\alpha, \beta, \gamma$  — декартовы компоненты первого вектора, а  $a, b, c$  — компоненты второго, то

$$\begin{aligned}\alpha &= r_1 a + q_3 b + p_2 c, \\ \beta &= p_3 a + r_2 b + q_1 c, \\ \gamma &= q_2 a + p_1 b + r_3 c,\end{aligned}$$

где коэффициенты  $p, q, r$  постоянны. Когда все  $p$  равны соответствующим  $q$ , функция называется самосопряжен-

ной. Она может быть тогда представлена геометрически как соотношение между радиусом-вектором из центра эллипсоида и перпендикуляром на касательную плоскость.

Можно заметить, что даже здесь, где мы, казалось бы, достигли чистых сфер науки, не запятнанных физическими приложениями, один из векторов необходимо есть линия, тогда как другой определяется как нормаль к плоскости, как и во всех других, уже упомянутых парах векторов\*.

Другое различие между физическими векторами основано на ином принципе и разделяет их на векторы, определяемые по отношению к поступательному движению, и векторы, определяемые по отношению к вращению. На замечательные аналогии между этими двумя классами векторов указал Пуансо в своем труде о движении твердого тела. Но наиболее замечательная иллюстрация этих аналогий основана на двух различных точках зрения, с которых можно рассматривать связь между электричеством и магнетизмом.

Гельмгольц показал нам в своей знаменитой работе о вихревом движении, как провести аналогию между электромагнитными и гидро-кинетическими явлениями, в которых магнитная сила представлена скоростью жидкости, родом поступательного движения, а электрический ток представлен вращением элементов жидкости. Он не предлагает этого в качестве объяснения электромагнетизма, так как хотя эта аналогия и совершенна по форме, но динамика обеих систем чрезвычайно различна.

Согласно Амперу и его исследованиям, электрические токи рассматриваются, однако, как род поступательного движения, а магнитная сила — как сила, зависящая от вращения. Я вынужден согласиться с этой точкой зрения, так как электрический ток связывается с электролизом и другими явлениями, в которых, несомненно, мы имеем поступательное движение, тогда как магнетизм связан с вращением плоскости поляризации света, которое, как это показал Томсон, включает в себе действительное вращательное движение.

---

\* Вопрос о линейных уравнениях в кватернионах был развит проф. Тэтом в нескольких сообщениях Эдинбургскому королевскому обществу.



Гамильтоновский оператор  $\nabla$ , примененный к любой векторной функции, превращает ее из поступательного движения во вращение или из вращения в поступательное движение, в зависимости от рода вектора, к которому он применяется.

В заключение я предложу на рассмотрение некоторые математические термины, служащие для обозначения результатов гамильтоновского оператора  $\nabla$ . Я буду очень признателен тому, кто даст мне какой-нибудь совет по этому вопросу, так как я чувствую, что моя способность к установлению наименований очень слаба и что она может с успехом осуществляться лишь в сотрудничестве с другими.

$$\nabla \text{ есть операция } i \frac{d}{dx} + j \frac{d}{dy} + k \frac{d}{dz},$$

где  $i, j, k$  — единичные векторы, параллельные соответственно  $x, y, z$ . Результатом двукратного повторения на любом объекте этой операции является хорошо известный оператор (Лапласа):

$$\nabla^2 = - \left( \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2} \right).$$

Нахождением квадратного корня этой операции мы обязаны Гамильтону; но большинство данных здесь приложений и развитие теории этого оператора дано профессором Тэтом и напечатано в ряде статей, из которых первая помещена в *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* от 28 апреля 1862 г., а наиболее полная «О теоремах Грина и других, связанных с ними», в *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 1869—70 г.

Прежде всего я предлагаю назвать результат  $\nabla^2$  (оператор Лапласа) с обратным знаком *концентрацией* величины, к которой она применена.

Действительно, если  $Q$  есть скалярная, либо векторная величина, являющаяся функцией положения точки, и если мы возьмем интеграл  $Q$  по объему шара радиуса  $r$ , то, разделив его на объем шара, мы получим  $\bar{Q}$ , среднее значение  $Q$  внутри шара. Если  $Q_0$  есть значение  $Q$  в центре шара, то при малом  $r$

$$Q_0 - \bar{Q} = \frac{r^2}{10} \nabla^2 Q,$$

т. е. значение  $Q$  в центре шара превышает среднее значение  $Q$  внутри шара на величину, зависящую от радиуса и от  $\nabla^2 Q$ . Поэтому раз  $\nabla^2 Q$  означает избыток значения  $Q$  в центре над его средней величиной внутри шара, то я назову его концентрацией  $Q$ .

Если  $Q$  — величина скалярная, то и концентрация ее скаляр. Так, если  $Q$  — электрический потенциал, то  $\Delta^2 Q$  есть плотность вещества, создающего потенциал.

Если  $Q$  — векторная величина, то и  $Q_0$  и  $\bar{Q}$  — векторы и  $\nabla^2 Q$  — также вектор, выражающий собой избыток равномерно распределенной силы  $Q_0$ , приложенной ко всему веществу шара, над результирующей действительной силой  $Q$ , действующей на все части шара.

Рассмотрим затем гамильтоновский оператор  $\nabla$ . Применим его сначала к скалярной функции  $P$ . Величина  $\nabla P$  есть вектор, указывающий направление, в котором  $P$  наиболее быстро уменьшается, и измеряющий степень этого уменьшения. Я решаюсь, с большой осторожностью, называть это *падением* (slope)  $P$ . Ламе называет *величину* выражения  $\Delta P$  «первым дифференциальным параметром»  $P$ , но *направлением* вектора  $\Delta P$  он не интересуется. Нам нужен термин, имеющий векторный характер и который, одновременно указывая направление и величину, в то же время не употреблялся бы еще в другом математическом смысле. Я взял на себя смелость распространить обычный смысл слова падение (slope), взятого из топографии, где по отношению к трехмерному пространству употребляются лишь две независимые переменные.

Если  $\sigma$  изображает векторную функцию, то  $\Delta \sigma$  может одновременно заключать скалярную и векторную части, которые могут быть написаны как  $S \nabla \sigma$  и  $V \nabla \sigma$ .

Я предлагаю назвать скалярную часть *конвергенцией*  $\sigma$  потому, что если описать вокруг любой точки замкнутую поверхность, то поверхностный интеграл  $\sigma$ , выражающий действие вектора  $\sigma$ , рассматриваемого, как втекание потока через поверхность, равен объемному интегралу  $S \nabla \sigma$  по заключенному в этой замкнутой поверхности пространству. Поэтому я считаю, что конвергенция векторной функции является очень подходящим названием для действия этой векторной функции, заключающегося в продвижении представляемого им объекта внутрь, к одной точке.

Но  $\nabla\sigma$  имеет обычно еще и векторную часть, и я, с величайшей осторожностью, предлагаю назвать этот вектор *кэрлом* (curl) или *версией* (version) первоначальной векторной функции.

Он изображает направление и величину вращения вещества, представляемого вектором  $\sigma$ . Я искал термин, который не подразумевал бы движения, как слова «вращение», «вихрь», «кружение», или же указывал бы, как слово «скручивание», на спиральное или винтообразное

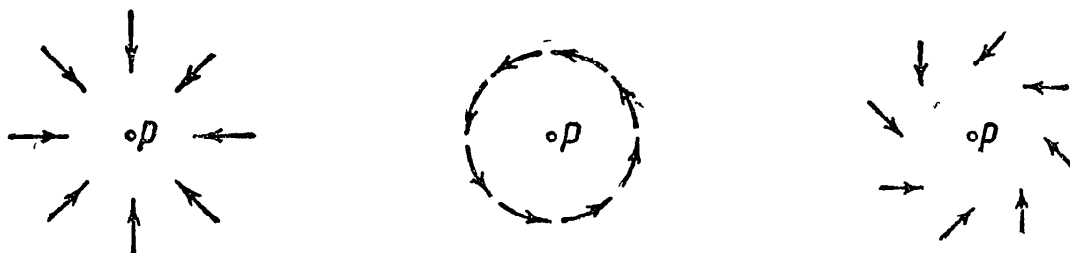


Рис. 1

строение, которое совершенно несвойственно природе вектора.

Если мы вычтем из общей величины векторной функции  $\sigma$  ее значение  $\sigma_0$  в точке  $P$ , то оставшийся вектор  $\sigma - \sigma_0$  будет направлен, в случае чистой конвергенции, к  $P$ ; в случае чистого кэрла — по касательной вокруг  $P$ , а в том случае, когда имеется и конвергенция и кэрл, он будет направлен по спирали.

Справедливы следующие утверждения:

Падение скалярной функции не имеет кэрла.

Кэрл векторной функции не имеет конвергенции.

Конвергенция падения скалярной функции есть ее концентрация.

Концентрация векторной функции есть падение ее конвергенции и кэрл ее кэрла.

Выражения в кватернионах, переводом которых являются все приведенные выше утверждения, были даны проф. Тэтом в его статье в *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* от 28 апреля 1862 г. Наиболее же полный математический разбор оператора  $\nabla$  можно найти в весьма содержательной статье проф. Тэта «О теории Грина и других, связанных с нею теоремах» (*Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 1870) и в другой статье в *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* за 1870—1871 г., стр. 318.

## О ДЕЙСТВИЯХ НА РАССТОЯНИИ

(Из Proceedings of the Royal Institution of Great Britain,  
vol. VII, 1878 г.)

Сегодня я намерен беседовать с вами не о каком-либо новом открытии. Я желаю говорить о предмете, давно известном, и обратить ваше внимание на вопрос, который вновь и вновь возникал с тех пор, как человек начал мыслить.

Это — вопрос о передаче силы. Мы видим, что два тела, находящиеся на некотором расстоянии друг от друга, оказывают взаимное влияние одно на движение другого. Зависит ли это взаимодействие от существования некоторой третьей вещи, некоторой среды, приводящей одно тело в сообщение с другим и занимающей пространство между обоими телами, или же тела действуют друг на друга непосредственно, без участия чего-либо иного?

Фарадей смотрел на явления этого рода иначе, нежели некоторые другие из современных исследователей, и моей целью является — дать вам возможность стать самим на точку зрения Фарадея и выяснить научное значение концепции *силовых* линий, которая в его руках сделалась ключом к науке об электричестве.

Когда мы наблюдаем, что одно тело действует на другое на расстоянии, то прежде чем принять, что это — действие прямое и непосредственное, мы обыкновенно исследуем, нет ли между телами какой-либо материальной связи; и если находим, что тела соединены нитями, стержнями или каким-либо механизмом, способным дать нам отчет в наблюдаемых действиях одного тела на другое, мы предпочитаем скорее объяснить действия при помощи этих промежуточных звеньев, нежели допустить понятие о прямом действии на расстоянии.

Так, когда мы, дергая за проволоку, заставляем звонить колокольчик, то последовательные части проволоки сна-

чала натягиваются, а затем приходят в движение, пока, наконец, звонок не зазвонит на расстоянии посредством процесса, в котором принимали участие все промежуточные частицы проволоки одна за другой. Мы можем заставить колокольчик звонить на расстоянии и иначе, например, нагнетая воздух в длинную трубку, на другом конце которой находится цилиндр с поршнем, движение которого передается звонку. Мы можем также пользоваться проволокой, но вместо того чтобы дергать ее, можем соединить ее на одном конце с электрической батареей, а на другом — с электромагнитом, и, таким образом, заставим колокольчик звонить посредством электричества.

Здесь мы указали три различных способа приводить звонок в движение. Но во всех этих способах есть то общее, что между звонящим лицом и звонком находится непрерывная соединительная линия и что в каждой точке этой линии совершается некоторый физический процесс, посредством которого действие передается с одного конца линии на другой. Процесс передачи — не мгновенный, а постепенный; так что, после того как на одном конце соединительной линии дан импульс, проходит некоторый промежуток времени, в течение которого этот импульс совершает свой путь, пока не достигнет другого конца.

Ясно, следовательно, что в некоторых случаях действие между телами на расстоянии можно объяснить себе тем, что в ряду тел, занимающих промежуточное пространство, совершается ряд действий между каждыми двумя смежными телами ряда; и сторонники действия посредствующей среды спрашивают: не разумнее ли в тех случаях, когда никаких посредствующих агентов мы не замечаем, — не разумнее ли будет, говорят они, допустить в этих случаях существование среды, которую указать пока мы не можем, нежели утверждать, что тело может действовать там, где его нет.

Кому свойства воздуха незнакомы, тому передача силы посредством этой невидимой среды будет казаться столь же непонятной, как и всякий другой пример действия на расстоянии, и однако в этом случае мы можем объяснить весь процесс и определить скорость, с которой действие передается от одного участка среды до другого.

Почему же не можем мы допустить, что знакомый нам

способ сообщения движения посредством толчка и тяги нашими руками является типом и наглядным примером всякого действия между телами, даже в тех случаях, когда мы не можем заметить между телами ничего такого, что видимо принимало бы участие в этом действии.

Вот, например, своего рода притяжение, с которым познакомил нас проф. Гютри. Приводят в колебательное движение диск, а затем подносят его к свободно подвешенному телу, и оно тотчас начинает приближаться к диску, как будто бы его тянули к нему невидимой нитью. Что же такое эта нить? Сэр В. Томсон показал, что в движущейся жидкости давление всего меньше там, где скорость всего больше. Скорость колебательного движения воздуха больше возле самого диска. Следовательно, давление воздуха на подвешенное тело меньше на стороне, ближайшей к диску, нежели на противоположной стороне; тело уступает большему давлению и движется к диску.

Следовательно, диск не действует там, где его нет. Он приводит в движение прилегающий к нему воздух, толкая его; это движение постепенно сообщается более и более удаленным частям воздуха, и таким образом давления на противоположные стороны подвешенного тела делаются неравными, и, повинувась избытку давления, оно движется к диску. Сила здесь, следовательно, есть сила в смысле старой школы — случай *vis a tergo* — толчка сзади [11].

Однако сторонники учения о действии на расстоянии такими аргументами не удовлетворятся. Какое право, говорят они, имеем мы утверждать, что тело не может действовать там, где его нет? Разве не видим мы, например, действие на расстоянии в случае магнита, который на другой магнит не только действует на расстоянии, но и совершенно безразлично относится к природе вещества, наполняющего промежуточное пространство? Если бы действие зависело от чего-либо, наполняющего пространство между магнитами, то, наверное, было бы не все равно, находится ли в этом пространстве воздух или нет, находится ли между магнитами дерево, или между ними помещено стекло или медь.

Кроме того, ньютонов закон тяготения, который в каждом астрономическом наблюдении находит для себя все более и более твердую почву, не только утверждает, что

небесные тела действуют друг на друга через неизмеримые пространства, но что две части вещества, одна, лежащая на тысячу миль под землей, другая, погребенная на сотни тысяч миль в недрах солнца, действуют друг на друга в точности с такой же силой, как будто бы этих слоев, под которыми каждая из них скрыта, вовсе не существовало. Если бы какая-либо среда принимала участие в передаче этого действия, то во всяком случае должна была бы быть некоторая разница в зависимости от того, находится ли в пространстве между телами только эта среда и ничего более, или в нем содержится более плотное вещество земли или солнца.

Но сторонники прямого действия на расстоянии не довольствуются этого рода примерами, где явления даже на первый взгляд, повидимому, благоприятствуют их учению. Свои нападки на лагерь противника они ведут далее и утверждают, что даже когда действие и представляется давлением непрерывных частей вещества, то это — непрерывность только кажущаяся, что между телами, действующими друг на друга, *всегда* находится промежуточное пространство. Короче: они утверждают, что действие на расстоянии не только не невозможно, но что это — единственный способ действия, всюду встречающийся, и что излюбленная старыми учениями *vis a tergo* в природе не существует и существует только в воображении своих сторонников.

Чтобы доказать, что, когда тело толкает другое, оно не прикасается к нему, всего лучше измерить расстояние между ними. Вот две стеклянные линзы, из которых одна производит давление на другую при помощи некоторого груза. Посредством электрического источника света мы можем получить на экране изображение того места, где одна линза давит на другую. На экране образуется ряд цветных колец. Эти кольца впервые наблюдал и впервые изучал Ньютон. Особый цвет каждого кольца зависит от расстояния между поверхностями обоих стекол. Ньютон составил таблицу цветов, соответствующих расстояниям, так что, сравнивая цвет какого-либо кольца с ньютоновой таблицей, мы можем определить расстояние между поверхностями в том месте, где находится это кольцо. Цвета располагаются кольцами вследствие того, что поверхности сферичны и, следовательно, удаление частей поверхностей линз друг от друга

зависит от их расстояния от линии, соединяющей центры сфер. Центральное пятно системы колец указывает то место, где линзы всего ближе одна от другой, а каждое из последовательных колец соответствует увеличению расстояния между поверхностями на  $\frac{1}{4000}$  миллиметра.

Сожмем теперь линзы силой, равной весу одной унции; между ними будет все еще измеримый промежуток, даже в том месте, где они всего ближе друг к другу. Оптического контакта между ними еще нет. Чтобы доказать это, приложим больший груз. Центральное пятно окрашивается новым цветом, а диаметры всех колец увеличиваются. Это показывает, что теперь поверхности ближе, чем они были прежде, но все-таки оптического контакта между ними нет, ибо если бы такой контакт был, то центральное пятно было бы черное. Поэтому я увеличиваю грузы, чтобы сблизить линзы до оптического соприкосновения.

Но то, что мы называем оптическим контактом, не есть действительное соприкосновение. Оптический контакт показывает только, что расстояние между поверхностями гораздо меньше длины световой волны. Чтобы показать, что действительного соприкосновения между поверхностями нет, я удаляю грузы. Кольца суживаются, и многие из них исчезают в центре. Теперь можно одно стекло так прижать к другому, что они вовсе не будут стремиться отделиться друг от друга, но так крепко пристанут одно к другому, что при разнятии стекло лопнет не в точке соприкосновения, но в некотором другом месте. Это показывает, что стекла соприкасаются друг с другом гораздо ближе, нежели при настоящем оптическом контакте.

Таким образом мы показали, что тела начинают давить одно на другое уже в то время, когда расстояние между ними еще измеримо, и что при надавливании одного на другое с большей силой, абсолютного контакта между ними нет, но что их можно сблизать все теснее и теснее.

Как же вы можете, скажут сторонники прямого действия на расстоянии, все же поддерживать учение, основанное лишь на грубом опыте донаучных времен, что материя не может действовать там, где ее нет, вместо того чтобы согласиться, что все факты, из которых наши предшественники заключали, что контакт существенно



необходим для действия, на самом деле были случаями действия на расстоянии, только расстояния были слишком малы, чтобы их можно было измерить несовершенными средствами наблюдения?

Если мы хотим открывать законы природы, мы можем достичь этого лишь путем возможно более точного ознакомления с явлениями природы, а никак не путем выражения философским языком неопределенных мнений человека, который вовсе не обладает знанием тех фактов, которые всего больше проливают света на эти законы. Что же касается тех, которые для объяснения этих действий вводят эфирные и иные среды, не имея никаких прямых доказательств существования таких сред или без ясного понимания того, каким образом действуют эти среды, и которые заполняют все пространство тремя или четырьмя эфирами различных сортов [12], то, чем меньше эти люди будут толковать о своих философских сомнениях в существовании действия на расстоянии, тем будет лучше.

Если бы прогресс науки управлялся ньютоновым первым законом движения, то легко было бы вырабатывать воззрения, опережающие век. Мы должны были бы только сравнивать современную науку с тем, чем она была пятьдесят лет тому назад, и, проведя, в геометрическом смысле, линию прогресса, мы должны были бы получить науку, какой она будет пятьдесят лет спустя.

Научный прогресс в эпоху Ньютона состоял в устранении того небесного механизма, которым загорожено было небо целыми поколениями астрономов; нужно было «смести с неба эту паутину».

Хотя хрустальные сферы, к которым прикреплены были планеты, и были уже удалены, но планеты еще плавали в вихрях Декарта. Магниты были окружены истечениями, а наэлектризованные тела атмосферами, но свойства этих истечений и атмосфер ничуть не были похожи на свойства обыкновенных истечений и атмосфер.

Когда Ньютон доказал, что сила, действующая на каждое небесное тело, зависит от его положения по отношению к другим телам, то новая теория встретила суровый отпор со стороны передовых философов века, которые отзывались о доктрине тяготения, как о возврате к уже отвергнутому способу объяснять все что угодно

скрытыми причинами, притягательными силами и тому подобным [13].

Сам Ньютон, с мудрой осторожностью, какой отличались все его умозрения, отвечал, что он ничуть не претендует на объяснение механизма, посредством которого небесные тела действуют друг на друга. Определение того, каким образом их взаимодействие зависит от их относительных положений, было в науке большим шагом вперед, и Ньютон удостоверял, что этот шаг им сделан. Но объяснить процесс, посредством которого это действие совершается, было совсем иное дело, и в своих *Principia* Ньютон и не пытался этого делать.

Насколько Ньютон был далек от утверждения, будто тела в самом деле действуют друг на друга на расстоянии, независимо от чего-либо, находящегося между ними, видно из письма к Бентли, цитированного Фарадеем. Здесь Ньютон говорит [14]:

«Непонятно, каким образом неодушевленная косная материя, без посредства чего-либо иного, что нематериально, могла бы действовать на другое тело без взаимного прикосновения, как это должно было бы иметь место, если бы тяготение, в смысле Эпикура, было присуще материи и с нею нераздельно... Что тяготение должно быть врожденным, присущим и необходимым свойством материи, так что одно тело может взаимодействовать с другим на расстоянии, через пустоту, без участия чего-то постороннего, при посредстве чего и через что их действие и сила могли бы передаваться от одного к другому, — это мне кажется столь большим абсурдом, что я не представляю себе, чтобы кто-либо, владеющий способностью компетентно мыслить в области вопросов философского характера, мог к этому притти».

Так, в *Вопросах*, приложенных к его «Оптике», и в письмах его к Бойлю, мы находим, что Ньютон в самом начале сделал попытку объяснить тяготение при помощи давления некоторой среды и что он не обнаружил своего объяснения «только потому, что ему не удалось из опыта и наблюдений дать удовлетворительного доказательства существования такой среды и способа, каким она действует, производя явления природы» \* [15].

---

\* Маклорен, Сообщения об открытиях Ньютона.

Доктрина прямого действия на расстоянии не может считать своим автором открывшего всемирное тяготение Ньютона. Впервые провозгласил ее Роджер Котс, в своем предисловии к *Principia*, которое он издавал при жизни Ньютона. Согласно Котсу, только опыт научает нас, что все тела тяготеют друг к другу. Никаким иным путем мы не узнали бы, что они протяженны, подвижны или тверды. Следовательно, мы имеем полное право рассматривать и тяготение столько же существенным свойством материи, как и протяженность, подвижность или непроницаемость.

И когда ньютоновская философия завоевала себе твердую почву в Европе, то господствующим сделалось скорее мнение Котса, нежели самого Ньютона, пока, наконец, не появилась теория Босковича, согласно которой материя есть собрание математических точек, одаренных каждая способностью притягивать или отталкивать другие по определенным неизменным законам. В его мире материя непротяженна, и соприкосновение невозможно. Однако он не забыл наделить свои математические точки инерцией. В этом некоторые из новейших представителей его школы усматривали, что он «еще не заходил так далеко, как зашли совсем новые воззрения на «материю» как просто на выражение модусов или проявлений «силы»\*.

Но, если оставить на время в стороне вопрос о развитии научных идей и сосредоточить все свое внимание на расширении границ науки, то мы увидим, что было в высшей степени важно, чтобы ньютонов метод был распространен на все отрасли науки, к которым он приложим, что нужно было еще исследовать силы, с какими тела действуют одно на другое, прежде чем пытаться объяснить, как сила передается. Всего более было бы подходящим исключительно заняться первой частью задачи тем, которые вторую часть считали совершенно ненужной.

И вот Кавендиш, Кулон и Пуассон, основатели точной науки об электричестве и магнетизме, откинув в сторону старые представления о «магнитных истечениях» и об «электрических атмосферах», выдвинутые в минувшем столетии, обратили все свое внимание на определе-

---

\* М-с Соммервилль, *Saturday Review*, Febr. 13. 1869.

ние закона силы, согласно которому наэлектризованные и намагниченные тела взаимно притягивались или отталкивались. Таким путем были открыты истинные законы этих действий, и это было сделано исследователями, которые никогда не сомневались, что действие происходит на расстоянии, без посредства какой-либо среды, и которые посмотрели бы на открытие подобной среды скорее как на осложнение, чем как на уяснение несомненных явлений притяжений.

Теперь мы подошли к великому открытию Эрстедом связи между электричеством и магнетизмом. Эрстед нашел, что электрический ток действует на магнитный полюс, но что он не притягивает и не отталкивает его, а заставляет его двигаться вокруг тока. Он выразил это, говоря, что «столкновение электричеств действует вращающим образом».

Самым очевидным выводом из этого нового факта было то, что действие тока на магнит не есть сила тяги или толчка, но вращающая сила, и, сообразно этому, многие умы погрузились в размышления об эфирных вихрях и потоках, кружащихся вокруг тока.

Но Ампер, благодаря сочетанию в его лице виртуозного математика с гениальным экспериментатором, впервые доказал, что два электрических тока действуют друг на друга, и затем анализировал это действие и нашел равнодействующую системы толкающих и тянущих сил между элементами этих токов.

Однако амперова формула, в сравнении с ньютоновым законом тяготения, крайне сложна, и было немало попыток сделать ее более простой [16].

Я не хочу обременять вас разбором попыток к улучшению этой математической формулы. Обратимся лучше к самостоятельному методу изысканий, которым пользовался Фарадей в своих исследованиях по электричеству и магнетизму, — исследованиях, которые Фарадей производил в Королевском институте и которые сделали этот институт одной из самых почтенных обителей науки.

Едва ли кто работал более сознательно и систематично, напрягая все свои умственные силы, нежели это делал Фарадей с самого начала своей ученой карьеры. Но в то время как общее направление научного метода состояло в приложении идей математики и астрономии к каждому новому исследованию поочередно, обстоятельства, как из-

вестно, сложились для Фарадея так, что он не мог приобрести познаний в математике, а его сведения в астрономии были почерпнуты главным образом из книг.

Поэтому-то, хотя он и питал глубокое уважение к великому открытию Ньютона, но смотрел на тяготение, как на своего рода священную тайну, которую он, не будучи астрономом, не имел права ни отрицать, ни подвергать сомнению, и его долгом было верить в нее в той форме, в какой она была вручена ему. Но такая слепая вера неспособна была побудить его объяснять новые явления путем непосредственного притяжения.

Сверх того, трактаты Пуассона и Ампера были облечены в такую математическую форму, что извлечь из них какую-либо пользу мог только тот, кто тщательно изучал математику; но весьма сомнительно, чтобы таким занятиям мог предаваться человек в зрелые годы.

Итак Фарадей, при всей своей проницательности, при всей своей преданности науке, при всем своем искусстве в экспериментировании, лишен был средств следовать направлению мыслей, приведшему французских ученых к блестящим результатам, и был вынужден уяснять себе явления посредством системы символов, более понятных ему, вместо того чтобы усвоить язык, который один господствовал до тех пор среди ученых.

Этими новыми понятиями были те силовые линии, расходящиеся во все стороны от наэлектризованных и намагниченных тел, которые Фарадей видел своим умственным оком так же ясно, как и те материальные тела, из которых они исходят.

Идея о силовых линиях и о методе их представления посредством железных опилок не была новостью. Их многократно наблюдали и математически изучали как интересное и любопытное явление в науке. Но послушаем лучше самого Фарадея, как он знакомит своего читателя с методом, который в его руках превратился в такое могучее орудие исследования\*.

«Экспериментатор, желающий изучать магнитную силу посредством проявления ее магнитными силовыми линиями, поступил бы произвольно и опрометчиво, отказавшись от самого ценного средства, от употребления железных опилок. Пользуясь ими, он может многие свойства

---

\* Exp. Res. 3284.

этой силы, даже в сложных случаях, тотчас показать наглядно, может проследить глазом различные направления силовых линий и определить относительную полярность, может наблюдать, в каком направлении сила эта возрастает, в каком убывает, а в сложных системах может определить нейтральные точки, или места, где нет ни полярности, ни силы, даже если они встретятся внутри сильных магнитов. При их употреблении вероятные результаты видны сразу, и могут быть получены ценные указания для будущих ведущих опытов».

### ОПЫТ С СИЛОВЫМИ ЛИНИЯМИ

В этом опыте каждый кусочек опилок представляет небольшой магнит. Разноименные полюсы, принадлежащие различным зернышкам, притягивают друг друга и сцепляются один с другим, и множество опилок прилипает к полюсам магнита, т. е. к концам ряда опилок. Этим путем опилки, вместо того чтобы образовать на бумаге спутанную систему точек, располагаются рядами зернышко к зернышку, пока не составятся из них длинные волокна, показывающие своим направлением расположение силовых линий в каждой части поля.

Математики не видят в этом опыте ничего, кроме способа обнять одним взглядом направления в различных местах равнодействующей двух сил, направленных к каждому полюсу магнита; несколько сложный результат простого закона силы.

Но Фарадей, идя целым рядом ступеней, замечательных как своей геометрической определенностью, так и своим умозрительным остроумием, сообщил этой концепции силовых линий ясность и точность, далеко остающиеся за собой ясность и точность, каковые математикам удалось сообщить своим формулам.

Во-первых, силовые линии Фарадея не должно рассматривать в отдельности, они образуют у него систему, расположенную в пространстве определенным образом — так, что число линий, проходящих сквозь площадь, например, в один квадратный дюйм, дает напряжение силы, действующей сквозь эту площадь. Таким образом становится возможным численное определение силовых линий. Сила магнитного полюса измеряется числом линий, из

него выходящих; *электротоническое* состояние цепи измеряется числом линий, сквозь нее проходящих.

Во-вторых, каждая индивидуальная линия имеет непрерывное существование в пространстве и во времени. Когда кусок стали делается магнитом или когда электрический ток начинает течь, то возникающие силовые линии не остаются каждая на своем собственном месте, но, по мере возрастания силы, внутри магнита или тока появляются новые линии, и постепенно распространяются во вне, так что вся система разворачивается изнутри, подобно ньютоновым кольцам в нашем первом опыте. Таким образом каждая силовая линия сохраняет свое тождество в течение всего своего существования, хотя и ее вид и размеры могут до некоторой степени изменяться. У меня нет времени описывать методы, посредством которых каждый вопрос, относящийся к силам, действующим на магниты или на токи, или к индукции токов в проводящих цепях, может быть решен рассмотрением силовых линий Фарадея. В этих случаях они никогда не могут быть забыты. Руководясь этим новым символизмом, Фарадей с математической точностью развил целую теорию электромагнетизма языком, свободным от математических вычислений, которая приложима как к самым сложным, так и к простейшим случаям. Но Фарадей не остановился на этом. От концепции геометрических силовых линий он перешел к концепции физических силовых линий. Он заметил, что движение, которое стремится произвести магнитная или электрическая сила, несомненно, таково, что стремится укоротить силовые линии и побуждает их раздвигаться в стороны. Таким образом он открыл, что в среде имеет место некоторое состояние напряжений, состоящее в натяжении, подобном натяжению веревки, в направлении силовых линий, соединенном с давлением во всех направлениях, к ним перпендикулярных.

Такова эта новая концепция действия на расстоянии, сводящая его к явлению такого же рода, как и действие на расстоянии, вызываемое натяжением веревки и давлением стержня. Когда мускулы нашего тела приводятся в возбуждение стимулом, который мы способны прилагать к ним некоторым, неизвестным нам путем, то волокна стремятся укорачиваться и в то же время раздвигаться в стороны. В мускуле появляется состояние

напряжения, и орган приходит в движение. Но такое объяснение мускульного действия далеко не полно. В нем ничего не говорится о причине возбуждения состояния напряжения, в нем не исследуются и силы сцепления, позволяющие мускулам выдерживать это напряжение. Тем не менее, тот простой факт, что вместо одного действия, относительно которого нам известны только причина и эффект на расстоянии, подставляется другого рода действие, непрерывно распространяющееся вдоль некоторой материальной субстанции, — уже один этот факт побуждает нас принять его как действительный вклад в наши познания о механике живых организмов.

По той же причине и фарадеевскую концепцию состояния напряжения в электромагнитном поле мы можем рассматривать как метод объяснения действия на расстоянии посредством непрерывной передачи сил, хотя мы и не знаем, как это состояние напряжения возбуждается.

Но одно из самых плодотворных открытий Фарадея, открытие магнитного вращения поляризованного света, позволяет нам сделать еще один шаг дальше. Это явление, если разложить его на простейшие элементы, можно описать так: из двух световых лучей с круговой поляризацией, совершенно сходных по конфигурации, но вращающихся в противоположные стороны, тот распространяется с большей скоростью, который вращается в одном направлении с электричеством намагничивающего тока.

Отсюда следует, как это показал сэр В. Томсон посредством строго динамических суждений, что среда, находящаяся под действием магнитной силы, должна находиться в состоянии вращения, т. е. что малые участки среды, которые можно назвать молекулярными вихрями, вращаются, каждый вокруг своей оси, причем направление этой оси совпадает с направлением магнитной силы.

Здесь, следовательно, мы находим объяснение стремлению магнитных силовых линий раздвигаться в стороны и укорачиваться. Это есть следствие центробежной силы молекулярных вихрей.

Способ, которым действует электродвижущая сила, возбуждая и прекращая вихри, более неясен, хотя вообще и согласен с принципами динамики.



Итак, мы нашли, что электромагнитная среда, если она существует, совершает разного рода работу. Мы видели также, что магнетизм имеет тесную связь со светом, и мы знаем, что существует теория света, предполагающая, что он состоит в колебаниях среды. В каком же отношении находится эта светоносная среда к нашей электромагнитной среде?

К счастью, имеются электромагнитные измерения, на основании которых, при посредстве принципов динамики, можно вычислить скорость распространения малых магнитных возмущений в предполагаемой электромагнитной среде.

Эта скорость, согласно различным опытам, весьма велика, от 288 до 314 миллионов метров в секунду. Скорость же света, согласно опытам Фуко, равна 298 миллионам метров в секунду. В действительности различные определения той и другой скорости отличаются друг от друга больше, нежели вычисленная скорость света разнится от вычисленной скорости распространения малого электромагнитного возмущения. Но если светоносная и электромагнитная среды занимают одно и то же место и передают возмущение с одной и той же скоростью, то какое основание имеем мы считать их различными? Принимая их за одну и ту же среду, мы по меньшей мере избегаем упрека в наполнении пространства эфирами разного рода.

Кроме того, единственное электромагнитное возмущение, которое только и может распространяться в непроводящей среде, есть возмущение, поперечное к направлению распространения, совершенно сходное с тем, что мы знаем о возмущении, известном под именем света. Следовательно, можно сказать, что и свет есть электромагнитное возмущение в непроводящей среде. Если мы допустим это, то электромагнитная теория света будет во всех отношениях согласна с волновой теорией, и труды Томаса Юнга и Френеля будут утверждены на более прочном основании, чем когда-либо, если мы объединим их с трудами Кавендиша и Кулона при помощи связующего звена слитых воедино учений о свете и электричестве — фарадеева великого открытия электромагнитного вращения света.

Обширные межпланетные и межзвездные пространства уже нельзя рассматривать как пустые места во вселен-

ной. Мы находим их уже наполненными этой средой — наполненными так, что ничто не может удалить ее из самомалейшего участка пространства или произвести легчайший разрыв в ее бесконечной непрерывности. Она простирается сплошь от звезды до звезды; и когда молекула водорода колеблется в созвездии Пса, среда воспринимает импульсы этих колебаний и, неся их по своему беспредельному лону в течение трех лет, прямым путем, в правильной последовательности и полным счетом передает их в спектроскоп м-ра Гюггинса, в Tulse-Hill'e.

Но среда имеет и другие функции, и в ней имеют место и другие процессы, кроме переноса света от человека к человеку и от одного мира к другому и кроме доказательства в пользу очевидности абсолютного единства в отношении меры и числа во вселенной. Мельчайшие части этой среды могут иметь, кроме колебательных движений, еще и вращательные, причем оси вращения и представляют собой те силовые магнитные линии, которые без разрыва непрерывности простираются в области, недоступные ни одному глазу, и которые, действуя на наши магниты, повествуют нам на языке, еще неразгаданном, о том, что происходит в таинственном мире элементарных явлений, от минуты до минуты и от века до века.

И не следует смотреть на эти линии как на чисто математические абстракции. Это — направления, в которых среда испытывает натяжение, подобное натяжению веревки, или, лучше, подобное натяжению собственных наших мускулов. Натяжение среды в направлении силы земного магнетизма составляет у нас один гран веса на 8 кв. футов. В некоторых опытах Джауля среда испытывала натяжение в 200 фунтов на кв. дюйм.

Но, в силу той же самой упругости, которая делает эту среду способной передавать световые колебания, она способна также действовать наподобие пружины. Надлежащим образом вращаясь, она испытывает натяжение, отличное от магнитного, — натяжение, благодаря которому она толкает противоположно наэлектризованные тела навстречу одно другому, производит действия на другом конце телеграфных проволок и, если напряжение ее достаточно велико, ведет к разрыву и к взрыву, называемому молнией.

Таковы некоторые из уже открытых свойств того, что часто называли пустотой, или ничем. Они вынуждают нас смотреть на разного рода действия на расстоянии как на действия между смежными частями непрерывного вещества. Будет ли эта новая точка зрения по своему существу объяснением, или же она будет усложнением, — решение этого вопроса я оставляю на усмотрение философов.

## ФАРАДЕЙ

(Михаил Фарадей родился 22 сентября 1791 г.,  
умер 25 августа 1867 г.)

(Из *Nature* vol. VIII, 18/IX, 1873 г.)

В этом номере *Nature* мы предлагаем подписчикам первую статью из задуманной нами серии «Портретов выдающихся ученых» [17].

Первым портретом является портрет Фарадея, гравированный на стали Джинсом по фотографии Воткинса. Имевшие счастье знать Фарадея лучше всего оценят искусство художника — он поистине превзошел самого себя, так как гравюра более жизненна, чем фотография. Мы не могли не поместить здесь портрета, в котором так ярко выражена прекрасная простота, свойственная Фарадею. Здесь нет никакого позирования!

Нет необходимости сопровождать этот портрет воспоминаниями о Фарадее. Бенс Джонс, Тиндалль и Гладстон любовно рассказали уже историю его полной величия и простоты жизни, которая озаряла и еще долго будет озарять своим блеском английскую науку. Их книги донесли историю его жизни до миллионов людей. Нет также никакой необходимости в объяснении причин того, что мы начали нашу серию с портрета Фарадея. Всякий признает справедливость нашего выбора.

Но в высшей степени необходимо, как раз в настоящее время, обратить особое внимание на некоторые уроки, которые можно извлечь из жизни Фарадея. И мы счастливы, что можем это сделать в то время, как заседает наш научный конгресс и еще не умолкли отклики на вступительную речь председателя Британской ассоциации содействия прогрессу науки.

Мы прежде всего рассматриваем Фарадея как наиболее полезный и одновременно наиболее благородный тип ученого. Тот факт, что Фарадей существовал, де-

лает более великой и сильной всю нацию, и нация была бы еще более великой и сильной, если бы среди нас было бы больше Фарадеев. Проф. Вильямсон в своей замечательной речи называет наше время «многочисленным». И действительно, вопрос о современном состоянии науки и о путях ее усовершенствования больше чем когда бы то ни было занимает сейчас умы людей; в настоящее время все соглашается с тем, что это — дело всей нации и, более того, дело, имеющее фундаментальное значение. Каково же современное состояние английской науки? Состояние это таково, что в то время как растет число профессоров, растет число студентов, вводится практическое обучение и увеличивается количество учебников, растет количество и повышается квалификация лекторов-популяризаторов и авторов популярных научных книг — творческая исследовательская работа, источник благосостояния нации, падает.

Польза, которую ученый, как таковой, приносит нации, измеряется количеством новых знаний, которыми он ее обогащает. С этой точки зрения вся нация как целое и оценивает достижения науки, и на этом покоится национальная репутация Фарадея. Пусть нация знает, в чем мы сейчас действительно нуждаемся: нам нужны еще Фарадеи, другими словами, нужны люди, работающие над созданием новых знаний.

Приятно слышать это пожелание выраженным столь ясно в президентской речи:

«Для дела продвижения науки, во-первых, необходимо достаточное число высококвалифицированных работников. Во-вторых, нужно поместить их в условия, наиболее благоприятные для их плодотворной деятельности. Необходимо отыскать наиболее подходящих для этого молодых людей и подготовить их к этой работе. Я знаю один действительно эффективный путь для отыскания наиболее одаренных природой юношей. Этот способ заключается в систематизации и развитии врожденных данных, случайно одновременно встречающихся у отдельных людей, и в предоставлении этим юношам возможности выдвинуться из массы.

«Когда исследователи найдены, необходимо поместить их в наиболее благоприятные для их успешной деятельности условия.



**МЕХАИЛ ФАРАДЕЙ**

«Первым и основным условием для этого является поддерживание и поощрение их жажды к приобретению знаний. Они не должны ограничиваться общими познаниями, приобретенными в своей науке, а должны углублять и расширять их, получая более полные и точные знания ее учений и методов. Одним словом, они должны теперь учиться больше, чем во время своего первоначального обучения.

«Они должны жить своей работой и не отвлекать своей энергии для других целей; они должны чувствовать себя обеспеченными от нужды на случай болезни или в старости. Им нужно дать способных и хорошо обученных ассистентов для помощи при исследовательских работах и предоставить им здания, аппаратуру и материалы, которые могут им понадобиться для успешного ведения этих исследований.

«Поэтому в той системе, которую мы бы считали желательной, должна быть создана обстановка, благоприятствующая поддержанию и развитию в исследователях истинной жажды знания; им следует предоставить постоянные средства к существованию, достаточные для того, чтобы чувствовать себя обеспеченными и заниматься только научной работой, но недостаточные для нейтрализации стимула к дальнейшим усилиям. В то же время эти средства должны позволить им воспользоваться всем необходимым содействием соответственно их потребностям и соответственно умению использовать это содействие».

Будет ли предложенный доктором Вильямсоном план иметь тот успех, на который он надеется, — является вопросом второстепенным; важно то, что сейчас полностью признается необходимость такого плана.

Все сделанные нами до сих пор замечания были подсказаны той пользой, которую принес Фарадей. Нужно надеяться, что его благородная, простая и лишенная драматизма жизнь будет так же долго жить в памяти людей, как и обессмертившие его имя открытия. В нем не было жажды одобрения толпы, не было зависти к работе других ученых, не было отклонений от любимой, поставленной перед собой цели — «работать, заканчивать, опубликовывать».

«Его сердечная простота, его искренность, его горячая любовь к истине, его товарищеский интерес ко всем

успехам и его искреннее восхищение всеми открытиями других ученых, его природная скромность в отношении собственных открытий, благородство его души, независимой и смелой, — все это вместе придавало образу знаменитого физика несравненное очарование».

Таков его портрет, набросанный Дюма [18], который является сам человеком такого же рода. Все признают справедливость этого портрета. Могут ли ученые найти более благородный образец, чтобы строить по нему свою собственную жизнь. Более того, если бы его примеру следовало больше людей, то разве мы не слышали бы реже о людях, не оправдавших «блестящих обещаний» своей юности, успокоившихся благодаря «жалованью», или благодаря «приложениям науки», или благодаря преимуществам, связанным с популяризацией чужих работ? Разве мы не слышали бы немного реже, что исследовательская работа — это один обман и что все попытки помочь ей приводят к использованию общественных средств в личных целях?

В заключение мы должны определить место, которое Фарадей занимает в общей истории науки; это далеко не легко. Еще слишком жива в памяти внешняя форма, в которую выливалась его научная деятельность, чтобы можно было правильно сравнивать Фарадея с другими великими людьми, к которым мы должны его причислить.

Всякий великий человек является единственным в своем роде. В историческом шествии ученых, у каждого из них своя определенная задача и свое определенное место. Некоторые могут выдвинуться, приспособляя изложение науки к изменяющемуся восприятию каждого поколения ученых, но прямая их задача не столько дидактика или педагогика (т. е. не обучение фразам, с помощью которых мы убеждаем сами себя, что понимаем ту или иную науку), сколько задача, сводящаяся к созданию живого контакта с двумя главными источниками умственного роста: с творцами науки, личное влияние которых на расширение умственного горизонта ничем незаменимо, и с теми материальными предметами, которые впервые были осмыслены, благодаря их трудам.

Фарадей является и навсегда останется творцом того общего учения об электромагнетизме, которое рассматривает с единой точки зрения все явления, изучав-



шиеся прежде в отдельности, не говоря уже о тех явлениях, которые открыл сам Фарадей, следуя своему убеждению о единстве всей науки.

Основные явления, т. е. электрические и магнитные притяжения и отталкивания, электрический ток и его действие, были открыты до Фарадея. Затем пришли Кавендиш, Кулон и Пуассон; они следовали по пути, намеченному Ньютоном, и, сосредоточив свои исследования главным образом на силах, действующих между телами, обосновали математические теории электрических и магнитных сил. Затем Эрстед открыл основной факт существования электромагнитной силы, а Ампер исследовал математические законы механического взаимодействия между электрическими токами.

Таким образом область науки об электромагнетизме была уже очень велика, когда Фарадей начал свою научную деятельность. Эта область была настолько обширна, что охватить одним взглядом все ее отдельные части можно было только при таком размахе мысли, для которого требовалась специальная подготовка. И вот мы видим Фарадея, стремящегося в первую очередь извлечь из каждого из известных источников электрического действия все те явления, которые этот источник может дать. Установив таким образом единство природы всех электрических явлений, он поставил себе вторую задачу — создать такую концепцию процесса электризации, электрического действия, которая охватывала бы все эти явления. Для этой цели необходимо было прежде всего отделаться от всех тех паразитарных представлений, которые так легко связываются с каждым научным термином и придают ему ряд самых разнообразных толкований за счет того прямого содержания, которое данным словом обозначается. Поэтому Фарадей постарался отнять у таких терминов, как «электрический флюид», «ток» и «притяжение», всякое другое значение, кроме того, которое подтверждается самим явлением; вместе с тем он изобрел новые термины, как, например, «электролиз», «электрод», «диэлектрический» и т. д., которые не вызывают у нас никаких понятий, кроме тех, которые вытекают из самого определения.

Он поставил себе задачей исследовать факты, идеи и научную терминологию электромагнетизма и в резуль-

гате перестроил эту отрасль науки по совершенно новому методу.

Старый и популярный термин «электрический флюид», который, как мы надеемся, навсегда изгнан в область газетных фельетонов, в свое время фиксировал внимание людей на тех специальных частях тел, в которых предполагалось наличие этого флюида.

Фарадей же, создав термин «диэлектрический», заставил нас обратить внимание на процессы, совершающиеся в воздухе или в другой среде между наэлектризованными телами.

Нет надобности умножать число примеров этого рода. Термины: «силовое поле», «силовые линии», «индукция» и т. д., являются достаточно характерными примерами. Все они иллюстрируют общие принципы роста науки в той ее особой форме, представителем которой является Фарадей. Мы находим у него сначала тщательное наблюдение избранных явлений, затем исследование получившихся в результате его представлений и образование, в случае необходимости, новых понятий и затем, наконец, изобретение научных терминов, приспособленных для обсуждения явлений в свете новых идей.

То высокое место, которое мы отводим Фарадею в истории развития науки об электромагнетизме, может быть сочтут неоправданным, ввиду того что электромагнетизм есть точная наука, во многих своих отраслях вылившаяся в математическую форму еще до Фарадея, тогда когда Фарадей по профессии не был математиком. В его описаниях мы не находим тех дифференциальных и интегральных уравнений, которые многим кажутся подлинной сущностью точной науки. Откройте труды Пуассона или Ампера, вышедшие до Фарадея, или Вебера и Неймана, которые работали после него, и вы увидите, что каждая страница пестрит формулами, ни одну из которых Фарадей не понял бы. Все допускают, что Фарадей сделал несколько крупных открытий, но если оставить в стороне эти открытия, то можно ли ставить его научный метод на такую высоту, не роняя математического авторитета вышеупомянутых выдающихся ученых?

Верно, конечно, что нельзя углубленно заниматься какой-либо точной наукой, не зная ее математики. Однако мы не думаем, что выкладки и формулы, которые математики считают столь полезными, представляют со-

бой всю математику в целом; дифференциальное и интегральное исчисления — только часть математики.

Геометрия положения представляет собой пример математической науки, созданной без помощи дифференциального и интегрального исчислений. Фарадеевы линии сил занимают в науке об электромагнетизме такое же положение, как пучки линий в геометрии положения. Они позволяют нам воспроизвести точный образ предмета, о котором мы рассуждаем. Способ, которым Фарадей использовал свою идею силовых линий, чтобы координировать явления электромагнитной индукции\*, доказывает, что он был математиком высокого порядка — одним из тех, у кого математики будущего могут черпать ценные и благотворные методы.

Прогресс точных наук зависит от открытия и развития соответствующих точных идей, с помощью которых мы можем мысленно воспроизводить факты, с одной стороны, достаточно общие, чтобы охватывать все частные случаи, а с другой стороны, достаточно точные, чтобы гарантировать правильность тех дедукций, которые можно вывести из этих идей математическим путем.

Начиная от прямой линии Эвклида и кончая силовыми линиями Фарадея, — таков был всегда характер идей, которые двигали науку, а свободно оперируя идеями динамики и геометрии, мы сможем продвинуть науку еще дальше. Математические расчеты нужны нам для сличения результатов применения идей с измерениями тех величин, с которыми мы оперируем в наших опытах. Наука об электричестве в настоящее время находится в той стадии, в которой такие измерения и расчеты имеют наиважнейшее значение. Вероятно, мы не знаем даже названия той науки, которая вырастает из ныне собираемых нами материалов к тому времени, когда появится следующий за Фарадеем ~~Бенс~~ Бенс

---

\* Для того чтобы оценить интенсивность умственной мощи Фарадея, самое лучшее ознакомиться с первой и второй сериями его «Исследований» и сопоставить их с тем, что говорится в «Жизни Фарадея» Бенса Джонса. Этот автор излагает историю первого открытия Фарадея и окончательного опубликования результатов исследований. Затем следует проследить за ходом науки об электромагнетизме после Фарадея. Никаких новых идей не добавилось, но зато была установлена правильность и научная ценность каждой из идей Фарадея.

## МОЛЕКУЛЫ [19]

(РЕЧЬ, ПРОИЗНЕСЕННАЯ НА СЪЕЗДЕ БРИТАНСКОЙ АССОЦИАЦИИ  
В БРЕДФОРДЕ)

(Из *Nature*, vol. VIII, 25/IX 1873 г.)

Атом есть тело, которое нельзя рассечь пополам. Молекула есть малейшая возможная часть какого-либо определенного вещества. Никто никогда не видал и не держал в руках отдельной молекулы. Следовательно, наука о молекулах есть одна из тех областей знания, которые имеют дело с вещами, невидимыми и невоспринимаемыми нашими чувствами, и которые недоступны прямому опыту.

Человеческий ум в недоумении останавливался перед многими трудными вопросами. Бесконечно ли пространство, и если да, то в каком смысле? Бесконечен ли по своему протяжению материальный мир, и все ли места внутри того, что протяженно, также наполнены материей? Существуют ли атомы, или материя делима до бесконечности?

Исследование этого рода вопросов продолжается с тех пор, как человек начал мыслить, и пред каждым из нас, как только мы вступаем в обладание нашими способностями, те же самые старые вопросы встают во всей своей свежести и новизне. Они являются существенной частью науки девятнадцатого столетия нашей эры, как были существенной частью науки за пять столетий до него.

Мы мало знаем о том, какова была организация науки, во Фракии 22 столетия тому назад, а также мало знаем и о способах, какие были тогда в ходу для поддержания интереса к исследованиям в области физики. Однако в те дни был человек, посвятивший свою жизнь научным исследованиям с жаром, достойным самых знаменитейших членов Британской ассоциации; а уроки, в которых Демокрит развивает атомистическую теорию своим соотечественникам из Абдеры, реализовали не

только в форме золотых мыслей, но и в форме золотых талантов сумму, едва ли возможную даже в Америке.

Другому выдающемуся философу, Анаксагору, который более известен миру, как учитель Сократа, мы обязаны самыми важными услугами, какие только были оказаны атомистической теории, — услугами, которые, после создания ее Демокритом, оставалось еще сделать. В самом деле, Анаксагор предложил теорию, в такой мере противоречащую атомистической теории Демокрита, что истинность или ложность одной теории вела за собой ложность или истинность другой. Вопрос о существовании или несуществовании атомов нельзя представить вам сегодня с большей ясностью, чем он дан в теориях этих двух философов.

Возьмем некоторую часть вещества, каплю воды, например, и будем наблюдать ее свойства. Подобно всякой другой части вещества, когда-либо нами виденной, она делима. Разделим ее пополам, и каждая часть удержит все свойства первоначальной капли, между прочим, и свойство делиться на части. Части будут подобны целому во всех отношениях, кроме абсолютных размеров.

Будем повторять процесс деления до тех пор, пока отдельные части воды не сделаются настолько малы, что мы уже не в состоянии будем различать их или оперировать с ними. Пока мы не сомневаемся в том, что этот процесс деления можно было бы вести и дальше, если бы наши чувства были острее и наши инструменты тоньше. До сих пор все было определено, но теперь возникает вопрос: можно ли продолжать эти подразделения как угодно далеко?

Согласно Демокриту и атомистической школе, мы должны ответить отрицательно. После некоторого числа делений капля разделится на части, из которых каждая уже неспособна к дальнейшему разделению. Следовательно, мы должны, в воображении, дойти до атома, который, как буквально значит это слово, не может быть разделен пополам. Такова атомистическая доктрина Демокрита, Эпикура и Лукреция, и я могу прибавить, вашего лектора.

Согласно Анаксагору, с другой стороны, части, на которые мы делим каплю, во всех отношениях подобны целой капле, так как природа вещества остается та же, каковы бы ни были размеры тела. Следовательно, если

делима — целая капля, то и ее части делимы, как бы малы они ни были, и так без конца.

Сущность учения Анаксагора — в том, что части тела во всех отношениях подобны целому. Поэтому его называли учением о гомеомерии. Анаксагор, без сомнения, не утверждает этого о частях органических тел, каковы человек и животные, но он утверждает, что неорганические вещества, которые кажутся нам однородными, действительно таковы, и что универсальный опыт человечества свидетельствует, что всякое материальное тело, без исключения, делимо.

Таким образом учение об атомах и учение об однородности противоречат одно другому.

Перейдем теперь к молекулам. Молекула — слово новое. Мы не встречаем его в Словаре Джонсона [20]. Идеи, им воплощаемые, принадлежат современной химии.

Водяная капля — возвращаемся к нашему первому примеру — может быть разделена на определенное число, и не более, частей, подобных друг другу. Каждую из них современный химик называет молекулой воды. Это — никоим образом не атом, ибо она содержит два различных вещества, кислород и водород, и известным процессом молекулу можно действительно разделить на две части — одну, состоящую из кислорода, другую — из водорода. Согласно принятому учению, в каждой молекуле воды находятся две молекулы водорода и одна молекула кислорода. Будут ли это последние атомы или нет, решить я не берусь.

Теперь мы видим, что такое молекула, в отличие от атома.

Молекула вещества есть небольшое тело, такое, что если, с одной стороны, несколько подобных молекул соединить вместе, то они образуют некоторую массу этого самого вещества, а с другой стороны, если некоторую часть этой молекулы удалить, то она уже неспособна будет вместе с другими молекулами, с которыми сделано то же самое, составить массу первоначального вещества.

Всякое вещество, простое или сложное, имеет свою молекулу. Если ее разделить, то ее части будут молекулами вещества или веществ, отличных от того вещества, частью которого была целая молекула. Атом, если такая вещь существует, должен быть молекулой элементарного вещества. Так как, следовательно, не всякая

молекула есть атом, но всякий атом есть молекула, я буду пользоваться словом молекула как более общим термином.

Я не имею намерения утомлять вас изложением учений современной химии относительно молекул различных веществ. Меня заставляет обращаться к вам не специальный, а общий интерес молекулярной науки.

Мы находим, что теперь, как и в дни самых ранних умозрений о природе, все физические исследования сходятся к одному и тому же пункту и каждый исследователь, когда взор его направляется в туманную область, куда влечет его путь открытий, сообразно остроте своего зрения, видит перед собой призрак того же самого вопроса.

Для одного атом есть материальная точка, одаренная и окруженная потенциальными силами. Другой этого одеяния сил не усматривает, а видит только крепчайшую броню простой непроницаемости.

Но хотя иные мыслители, видя, что призрак уходит от них в сокровеннейшее святилище непостижимо малого, признавались, что вопрос им не по силам, и хотя философы всегда увещевали друг друга направлять свой ум к более полезной и достижимой цели, но каждое поколение, от самого раннего рассвета науки до наших дней, всегда посвящало должную долю своих интеллектуальных сил на разрешение вопроса о последнем атоме.

Сегодня мы задались целью описать некоторые исследования по молекулярной физике и, в частности, сообщить вам кое-какие определенные сведения о самих молекулах. Старая атомистическая теория как в изложении Лукреция, так и в форме, приданной ей в новое время, утверждает, что молекулы всех тел находятся в движении, даже тогда, когда само тело, повидимому, находится в покое. Эти движения молекул в случае твердых тел заключены в столь тесные пределы, что даже нашими лучшими микроскопами мы не можем открыть, что они изменяют свое положение. В жидкостях же и газах молекулы не заключены ни в какие определенные пределы и могут совершать свои движения по всей массе, даже когда эта масса и не возмущена никаким видимым движением.

Этот процесс так называемой диффузии, происходящий в газах и в жидкостях и даже в некоторых твер-

дых телах, может быть подвергнут опытному исследованию и дает одно из самых убедительных доказательств движения молекул.

Новые успехи молекулярной физики начались с изучения механического эффекта столкновений этих движущихся молекул, когда они ударяются о твердое тело. Само собой разумеется, эти летящие молекулы должны ударяться о всякое тело, находящееся среди них, и эти постоянно повторяющиеся удары составляют, согласно нашей теории, единственную причину того, что называется давлением воздуха и других газов.

Повидимому, впервые начал догадываться об этом Даниил Бернулли, но для проверки теории у него не было тех средств, какие имеем теперь мы. Ту же теорию позднее и независимо выставил Лесаж, из Женевы; однако он занялся главным образом объяснением тяготения посредством ударов атомов. Затем, Геранат, в своей «Математической физике», появившейся в 1847 г., сделал уже более обширное приложение теории к газам, а д-р Джауль, об отсутствии которого на нашем собрании все мы сожалеем, вычислил действительную скорость молекул водорода.

Дальнейшее развитие теории, как вообще полагают, началось с мемуара Кренига, в котором, однако, насколько я могу судить, нет никаких улучшений того, что было сделано раньше. Однако, как кажется, он обратил на этот предмет внимание проф. Клаузиуса, и вот ему-то мы и обязаны большей частью того, что с тех пор было сделано.

Все мы знаем, что воздух или какой-нибудь другой газ, заключенный в сосуде, давит на стенки сосуда и на поверхность всякого тела, находящегося внутри сосуда. По кинетической теории, это давление своим происхождением всецело обязано молекулам, ударяющимся о поверхность и таким путем сообщаящим ей ряд импульсов, которые следуют один за другим с такой быстротой, что производимый им эффект нельзя отличить от эффекта непрерывного давления.

Если дана скорость молекул и число их изменяется, то, так как каждая молекула, в среднем, ударяет в стенки сосуда одинаковое число раз, сообщая импульсы одинаковой величины, каждая будет вносить одинаковую долю общего давления. Следовательно, давление в со-



суде данных размеров пропорционально числу молекул в нем, т. е. количеству содержащегося в нем газа.

Это — полное динамическое объяснение того факта, открытого Робертом Бойлем, что давление воздуха пропорционально его плотности. Оно показывает также, что из различных частей газа, нагнетаемого в сосуд, каждая производит свою долю давления независимо от остальных, причем все равно, будут ли это части одного и того же газа или нет.

Допустим теперь, что скорость молекул увеличивается. Каждая молекула будет теперь ударять в стенки сосуда большее число раз в секунду, и, кроме того, импульс каждого удара будет также возрастать в той же самой пропорции, так что доля давления, вносимая каждой молекулой, будет изменяться как *квадрат* скорости. Но увеличение скорости соответствует, по нашей теории, возрастанию температуры, и таким путем мы можем объяснить действие нагревания газа, а также закон, открытый Шарлем, что пропорциональное расширение всех газов для данных пределов изменения температуры одинаково.

Динамическая теория говорит нам также и о том, что происходит, когда молекулы различных масс сталкиваются друг с другом. Большие массы будут двигаться медленнее меньших, так что, в среднем, каждая молекула, большая или малая, будет иметь ту же энергию движения.

Доказательство этой динамической теоремы — и в этом я заявляю свои права на приоритет — в последнее время получило широкое развитие и усовершенствование благодаря трудам д-ра Людвигу Больцмана. Самое важное следствие, из нее вытекающее, состоит в том, что кубический сантиметр любого газа при постоянных температуре и давлении содержит одинаковое число молекул. Таково динамическое истолкование закона Гей-Люссака об эквивалентных объемах газа. Но теперь мы должны обратиться к частностям и вычислить действительную скорость молекулы водорода.

Кубический сантиметр водорода, при температуре таяния льда и под давлением одной атмосферы, весит 0,0008954 грамма. Мы должны найти, с какой скоростью эта малая масса должна двигаться (вся ли вме-

сте или ее отдельные молекулы — все равно) так, чтобы произвести наблюдаемое давление на стенки кубического сантиметра. Это вычисление в первый раз сделано было д-ром Джаулем и дало 1859 метров в секунду. Такое значение мы привыкли считать большой скоростью. Оно больше любой скорости, получаемой в артиллерийской практике. Скорость других газов меньше, как видно из табл. на стр. 88, но во всех случаях она очень велика по сравнению со скоростью пули [21].

Обратимся теперь к молекулам воздуха, которые летают в этой зале по всем направлениям со скоростью почти семнадцати миль в минуту.

Если бы все эти молекулы летели в одном и том же направлении, они образовали бы ветер, дующий со скоростью семнадцати миль в минуту; приблизительно с такой скоростью дует ветер, вылетающий из жерла пушки. Как же, следовательно, вы и я можем стоять здесь? Единственно потому, что молекулы летят по различным направлениям, так что те, которые ударяют нас сзади, позволяют нам выдерживать бурю, которая бьет в нас спереди. В самом деле, если бы эта молекулярная бомбардировка прекратилась, хотя бы на мгновение, наши бы вены вздулись, дыхание прекратилось и мы буквально погибли бы. Но молекулы ударяют не только о нас или о стены комнаты. Воспомним, что число их громадно и что они летят по всевозможным направлениям, и мы поймем, что они не могут избежать соударений. Как только две молекулы столкнулись, их пути изменяются, и обе они летят в новых направлениях. Таким образом каждая молекула постоянно изменяет свой путь, так что, несмотря на большую скорость, пройдет еще много времени, пока она очутится далеко от той точки, из которой начала двигаться.

У меня здесь сосуд, содержащий аммиак. Аммиак есть газ, который легко узнается по своему запаху. Его молекулы движутся со скоростью 600 метров в секунду, так что если бы их полет не прерывался столкновениями с молекулами воздуха этой залы, всякий, даже в самой дальней галлерее, почувствовал бы запах аммиака прежде, чем я успел бы произнести название этого газа. Но вместо этого, каждая молекула аммиака, сталкиваясь то и дело с молекулами воздуха, идет то одним, то другим путем и, подобно зайцу, который всегда делает петли,

хотя и проходит большой путь, но мало подвигается вперед. Как бы то ни было, запах аммиака уже начинает чувствоваться в некотором отдалении от склянки. Газ будет распространяться в воздухе, хотя и медленно, и если бы мы могли закупорить все отверстия этой залы, чтобы сделать ее непроницаемой для воздуха, и оставить так на несколько недель, то аммиак равномерно смешался бы с воздухом во всех частях залы.

Это свойство газов, в силу которого один газ может диффундировать в другой, было впервые замечено Пристлеем. Дальтон показал, что оно совершенно независимо от какого-либо химического действия диффундирующих газов. Грэхем, специально занимавшийся исследованиями этих явлений, которые, повидимому, проливают свет на молекулярные движения, тщательно изучил диффузию и впервые получил результаты, на основании которых может быть вычислена скорость диффузии.

Позднее скорость диффузии одного газа в другой была в высшей степени тщательно измерена проф. Лешмидтом в Вене.

Он помещал оба газа в две одинаковые вертикальные трубки, так чтобы более легкий газ находился выше тяжелого, чтобы избежать образования потоков. Затем он открывал выдвижной клапан, чтобы сделать из двух трубок одну; приблизительно через час он закрывал клапан и определял, сколько одного газа перешло в другой.

Так как большинство газов невидимы, то, чтобы показать вам диффузию газов, я должен взять для этого два газа, аммиак и хлористоводородную кислоту, которые при смешивании дают твердый продукт. Аммиак, как более легкий, помещен над хлористоводородной кислотой, с слоем воздуха между ними; вы скоро увидите, что газы диффундируют один в другой сквозь этот воздушный слой и при смешении образуют облачко белого дыма. Но во все время, пока длится процесс, нельзя открыть ни потоков, ни какого-либо видимого движения. Каждая часть сосуда кажется такой же спокойной, как банка с неподвижным в ней воздухом.

Согласно нашей теории, и в спокойном воздухе совершается такого же рода движение, как и в диффундирующих газах; разница только в том, что мы можем легче обнаружить движение молекул с места на место

В том случае, когда они по природе отличны от тех, между которыми диффундируют.

Чтобы составить себе представление о том, что происходит с молекулами в спокойном воздухе, лучше всего наблюдать рой пчел, где каждая отдельная пчела бешено летает то туда, то сюда, между тем как целый рой либо остается на месте, либо медленно плывет в воздухе.

Иногда пчелиные рои бывают способны пролетать большие расстояния, и их хозяева, чтобы доказать свои права собственности, когда найдут их на чужой земле, посыпают рой пригоршней муки. Положим теперь, что мука, высыпанная в летающий рой, окрасила только тех пчел, которые находились в это время в нижней половине роя, а на тех, которые оказались в верхней половине, мука не попала.

Если пчелы беспорядочно летают туда и сюда, то в верхнюю часть роя будет попадать посыпанных пчел все больше и больше, пока они не распределятся равномерно во всех частях роя. Причина этой диффузии не в том, что пчелы были отмечены мукой, но в том, что они перелетали с одного места на другое. Отметка мукой только позволяет нам узнавать известных пчел.

У нас нет никаких средств для отметки некоторого числа молекул воздуха, для того чтобы мы могли узнать их, когда они рассеются между другими молекулами, но мы можем сообщить им некоторые свойства, которые свидетельствовали бы нам об их диффузии.

Например, если горизонтальный слой воздуха движется горизонтально, то молекулы, распространяясь из этого слоя между молекулами, находящимися выше и ниже его, несут с собой свое горизонтальное движение и стремятся сообщить движение соседним слоям, между тем как молекулы, диффундирующие из соседних слоев в движущийся слой, стремятся остановить его движение. Это действие между слоями несколько похоже на действие двух шероховатых поверхностей, из которых одна скользит по другой и трется о нее. Это действие называется трением, когда оно имеет место между твердыми телами; в случае жидкостей оно называется внутренним трением, или вязкостью.

На деле, это — также диффузия, только иного рода — боковая диффузия количества движения; величина ее может быть вычислена на основании данных, выведен-

ных из наблюдений диффузии первого рода, диффузии вещества. Сравнительные значения вязкости различных газов были определены Грэхемом в его исследованиях о распространении газов в длинных узких трубках, а их абсолютные значения были получены из опытов над колебаниями дисков Оскаром Мейером и мною.

Другой путь, которым мы можем проследить диффузию молекул в спокойном воздухе, состоит в нагревании верхнего слоя воздуха в сосуде и в наблюдении скорости, с какой эта теплота сообщается нижним слоям. На деле, это — третий род диффузии — диффузия энергии; скорость, с какой она происходит, была вычислена на основании данных, выведенных из опытов над вязкостью, прежде чем были сделаны какие-нибудь прямые опыты над теплопроводностью. Проф. Стефану в Вене удалось недавно, при помощи весьма тонкого метода, определить теплопроводность воздуха и найти, как он нам сообщил, полное согласие с значением, предсказанным теорией.

Все эти три рода диффузии — диффузия материи, количества движения и энергии — производятся движением молекул. Чем больше скорость молекул и чем дальше они уходят, прежде чем пути их будут изменены соударением с другими молекулами, тем быстрее будет совершаться диффузия. Но скорость молекул нам уже известна, а следовательно, опытами над диффузией мы можем определить, как далеко, в среднем, молекула пролетает, не наталкиваясь на другую. Проф. Клаузиус, в Бонне, впервые давший нам точные понятия об этих движениях молекул, называет это расстояние средним свободным путем молекулы. Пользуясь опытами над диффузией проф. Лошмидта, я вычислил средний свободный путь молекул четырех хорошо известных газов. Среднее расстояние, пробегаемое молекулой от одного столкновения до другого, дано в приведенной таблице. Это — очень маленькое расстояние, совершенно неуловимое для нас даже в лучшие микроскопы. Грубо говоря, оно составляет около  $\frac{1}{10}$  доли длины световой волны, величины, как вам известно, чрезвычайно малой. Само собой разумеется, время, употребляемое на такой малый путь столь быстролётными молекулами, весьма незначительно. Я вычислил, сколько соударений может совершиться в секунду. Числа даны в таблице и вы-

ражаются тысячами миллионов. Нет ничего удивительного, что быстреешая молекула так медленно подвигается вперед, если ее ход совершенно изменяется тысячи миллионов раз в секунду.

Все три рода диффузии имеют место и в жидкостях, но соотношение между скоростями, с которыми они совершаются, не так просто, как в случае газов. Динамическая теория жидкостей не так хорошо изучена, как динамическая теория газов, но главное различие между газом и жидкостью состоит, повидимому, в том, что в газе каждая молекула большую часть времени употребляет на прохождение свободного пути, и только весьма малую долю времени тратит на встречи с другими молекулами, между тем как в жидкостях для молекулы свободный путь едва ли возможен, и она всегда находится в состоянии тесной встречи с другими молекулами.

Таблица диффузии:

Мера:  $\frac{(\text{сантиметр})^2}{\text{секунда}}$

(Знаки: Н — водород; О — кислород; СО — окись углерода; СО<sub>2</sub> — углекислота)

	Вычисл.	Наблюд.	
Н и О	0,7086	0,7214	} Диффузия материи по наблюдениям Лопшидта
Н и СО	0,6519	0,6422	
Н и СО <sub>2</sub>	0,5575	0,5558	
О и СО	0,1807	0,1802	
О и СО <sub>2</sub>	0,1427	0,1409	
СО и СО <sub>2</sub>	0,1386	0,1406	
Н	1,2990	1,49	} Диффузия количества движения (Грэхем и Мейер)
О	0,1884	0,213	
СО	0,1748	0,212	
СО <sub>2</sub>	0,1087	0,117	
Воздух	—	0,256	} Диффузия температуры по наблюдениям Стефана
Медь	—	1,077	
Железо	—	0,183	

Тростниковый сахар в воде . . . . . 0,0000035 } Фойт  
 Диффузия в день . . . . . 0,3144 }  
 Соль в воде . . . . . 0,00000116 } Фикк

Следовательно, в жидкости диффузия движения от одной молекулы к другой совершается гораздо быстрее, нежели диффузия самих молекул, по той же самой причине, по которой в тесной толпе гораздо легче переслать письмо, передавая его из рук в руки, нежели поручить передачу особому посыльному, которому пришлось бы прокладывать себе путь в толпе. У меня здесь банка, нижняя часть которой содержит раствор медного купороса, в верхней же находится чистая вода. Она стояла здесь с пятницы, и вы видите, как мало синей жидкости перешло путем диффузии вверх. Скорость диффузии раствора сахара тщательно наблюдал Фойт. Сравнивая результаты его наблюдений с результатами, полученными Лошмидтом в его опытах над газами, мы находим, что столько же диффундирует газа в течение секунды, сколько диффундирует жидкости в день.

Таким образом скорость диффузии количества движения в жидкостях меньше, чем в газах, но никоим образом не в том же отношении. Для того, чтобы то же самое количество движения прекратилось в воде, нужно почти вдесятеро больше времени, чем для прекращения его в воздухе, как вы увидите это из того, что произойдет, когда я встряхну эти банки, из которых одна содержит воду, а другая воздух. Но разница между скоростями, с какими распространяется возрастание температуры в жидкостях и в газах, еще меньше.

В твердых телах молекулы все еще находятся в движении, но их движения ограничены весьма тесными пределами. Вследствие этого диффузия материи в твердых телах не имеет места, хотя диффузия движения и теплоты совершается в них весьма свободно. Тем не менее некоторые жидкости диффундируют в твердых коллоидах, каковы студень и камедь, а водород может распространяться в железе и в палладии.

За неимением времени мы можем только упомянуть об удивительнейшем молекулярном движении, называемом электролизом. Здесь имеется электрический ток, проходящий в подкисленной воде и выделяющий кислород на одном электроде, а водород на другом. В пространстве между ними вода совершенно спокойна; и однако в ней идут два противоположных течения кислорода и водорода. Физической теорией этого процесса занимался Клаузиус и дал основания к воззрению, что

В обыкновенной воде молекулы не только движутся, но иногда и ударяются друг о друга с такой силой, что кислород и водород этих молекул отделяются друг от друга и толкуются в этой сумятице, отыскивая себе товарищей, которые диссоциированы подобным же путем. В обыкновенной воде этот обмен, в целом, не производит никакого заметного эффекта; но как только начнет действовать электродвижущая сила, она оказывает направляющее влияние на несвязанные молекулы и заставляет каждую двигаться к ее электроду, до того момента, когда, столкнувшись со свободной молекулой противоположного рода, она опять вступает в более или менее прочное соединение с нею, пока не наступит новая диссоциация вследствие другого соударения. Следовательно, электролиз есть своего рода диффузия, которой помогает электродвижущая сила.

Другая ветвь молекулярной науки относится к обмену молекулами между жидкостью и газом. Сюда принадлежит теория испарения и конденсации, в которой рассматриваемый газ есть пар некоторой жидкости, а также теория поглощения газа различными жидкостями. Исследования д-ра Эндрьюса о связи между жидким и газообразным состояниями показали нам, что хотя положения, изложенные в наших элементарных учебниках, и выражены так гладко, что они кажутся почти самоочевидными, но их истинная интерпретация может заключать в себе начало настолько глубокое, что пока оно не выяснено, никто даже и не подозревает, чтобы здесь оставалось еще что-либо неоткрытым.

Затем, есть еще кое-какие поля, с которых собраны данные молекулярной науки. Последние результаты мы можем разделить на три разряда, соответственно полноте наших познаний в этом направлении.

К первому разряду принадлежат относительные массы молекул различных газов и их скорости в метрах в секунду. Эти данные получены из опытов над давлением и плотностью газов и известны с высокой степенью точности.

Во втором разряде мы должны поместить относительные размеры молекул различных газов, длину их средних свободных путей и число соударений в секунду. Эти количества выведены из опытов над тремя родами диффузии. Полученные значения нужно рассматривать как



Таблица молекулярных данных

		Водород	Кислород	Окись углерода	Углекислота
I разряд	Масса молекулы (водород = 1)	1	16	14	22
	Средняя скорость в метрах в секунду при 0° С	1859	465	497	396
II разряд	Средний свободный путь в десятиллионных долях миллиметра	965	560	482	379
	Число соударений в секунду в миллионах	17,750	7646	9489	9720
III разряд	Диаметры в десятиллионных долях миллиметра	5,8	7,6	8,3	9,3
	Массы (единица = 10 <sup>-22</sup> миллиграмма)	46	736	644	1012

грубые приближения, до тех пор пока методы экспериментирования не будут значительно усовершенствованы.

Есть еще ряд величин, которые мы должны отнести к третьему разряду, так как наше знание их не отличается ни такой точностью, как количественные результаты первого разряда, ни такой степенью приближения, как величины второго разряда, а представляет собой просто вероятные догадки. Таковы: абсолютные массы молекул, их абсолютные диаметры и число молекул в кубическом сантиметре. Относительные массы различных молекул известны нам с большой точностью, а их относительные диаметры известны нам приблизительно. Отсюда мы можем вывести относительные плотности самих молекул. Здесь мы на твердой почве.

Большое сопротивление, оказываемое жидкостями сжатию, делает вероятным, что их молекулы должны находиться почти на таком расстоянии друг от друга, на каком две молекулы того же самого вещества в газообразной форме действуют одна на другую во время их встречи. Это предположение было подвергнуто проверке

Лоренцом Мейером, который сравнивал плотности различных жидкостей с вычисленными относительными плотностями молекул их паров и нашел замечательное соответствие между ними.

Недавно Лошмидт вывел из динамической теории следующее замечательное соотношение: объем газа относится к совокупному объему всех содержащихся в нем молекул, как средний свободный путь молекулы относится к одной восьмой ее диаметра.

Допуская, что объем вещества, приведенного в жидкое состояние, не слишком превышает совокупный объем молекул, мы получим из этой пропорции диаметр молекулы. Этим путем Лошмидт в 1865 г. впервые вычислял диаметр молекулы. Независимо от него и от других, Стони в 1868 г. и сэр В. Томсон в 1870 г. обнаруживали результаты подобного же рода, причем Томсон пришел к своим результатам не только этим путем, но и из соображений, основанных на рассмотрении толщины мыльных пузырей и электрических свойств металлов.

Согласно таблице, вычисленной мной на основании данных Лошмидта, размеры молекул водорода таковы, что два миллиона их, положенные рядом, заняли бы всего миллиметр, а миллион миллионов миллионов миллионов их весили бы больше четырех, но меньше пяти граммов.

В кубическом сантиметре газа при постоянных давлении и температуре содержится около 19 миллионов миллионов миллионов молекул. Все эти числа, относящиеся к третьему разряду, как это само собой понятно, в настоящее время нужно рассматривать просто как основанные на догадках. Чтобы обеспечить себе некоторое доверие к числам, таким путем полученным, нужно было бы сравнить между собой большее число независимых данных, нежели до сего времени получено, и показать, что они ведут к согласным друг с другом результатам.

До сих пор мы рассматривали науку о молекулах как исследование естественных явлений. Но если прямая цель всякого научного труда — раскрывать тайны природы, то он имеет и иное действие, не менее ценное, на ум исследователя. Научная работа делает его обладателем методов, и к изобретению их ничто, кроме на-

учной работы, не могло бы его привести; это ставит его в положение, с которого многие области природы, помимо тех, которые он изучал, являются перед ним в новом свете.

Изучение молекул привело к развитию особого метода, и этот метод также раскрыл новые аспекты природы.

Лукреций, желая дать нам картину движения атомов, советует нам взглянуть на солнечный луч, прорезывающий темную комнату (то же орудие исследования, посредством которого д-р Тиндалль делает для нас видимой пыль, которую мы вдыхаем), и наблюдать, как пылинки пляшут в луче друг вокруг друга во всех направлениях. Это движение видимых пылинок, рассказывает он нам, есть ведь результат гораздо более сложного движения невидимых атомов, толкающих эти пылинки. В своих мечтах о природе, рассказывал нам Теннисон, «я видел сверкающие потоки атомов, видел, как они все разрушали в беспредельной пустыне, летая и сталкиваясь друг с другом, и вновь и вновь изменяя навеки порядок вещей во вселенной». И нет ничего удивительного, что он пытался разорвать оковы рока, заставляя свои атомы отклоняться от их путей, в произвольные моменты и в произвольных местах, надевая их таким образом чем-то вроде иррациональной свободной воли, которая, по его материалистической теории, только и может объяснить ту силу произвольного действия, которую мы сознаем в себе.

Пока мы имеем дело с двумя молекулами и имеем в своем распоряжении все данные, мы можем вычислить результаты их встречи, но когда приходится иметь дело с миллионами молекул, из которых каждая испытывает миллионы соударений в секунду, то сложность задачи, повидимому, исключает всякую надежду на точное разрешение ее.

Потому-то современные атомисты приняли метод, который, как я думаю, является совершенной новостью в математической физике, хотя им давно уже пользуются в статистике. Когда членам секции F [22] приходится работать над отчетами о переписи или над какими-нибудь другими документами, содержащими числовые данные экономической или социальной науки, то они начинают с того, что распределяют все население на группы по возрастам, по доходам, по воспитанию, по

вероисповеданию, либо по уголовным преступлениям. Число индивидуумов настолько велико, что изображать историю каждого в отдельности было бы невозможно, и потому, чтобы привести труд в границы человеческой возможности, сосредоточивают внимание на малом числе искусственных групп. Изменяющееся число индивидуумов в каждой группе, а не изменяющееся состояние каждого индивидуума — таковы начальные данные, исходя из которых они ведут свою работу.

Но, конечно, это не единственный метод изучения природы человека. Мы можем наблюдать поведение отдельного человека и сравнивать его с тем поведением, которого мы могли бы ожидать от него, согласно наилучшей из существующих теорий, принимая во внимание его прежний характер и настоящие обстоятельства. Те, кто пользуются этим методом, стараются усовершенствовать свое знание элементов человеческой природы совершенно таким же путем, каким астроном исправляет элементы планеты, сравнивая ее настоящее положение с выведенным из полученных элементов. Изучение человеческой природы родителями и воспитателями, историками и государственными людьми нужно, следовательно, отличать от изучения ее статистиками и составителями таблиц и теми из государственных людей, которые верят в цифры. Один метод можно назвать историческим, другой — статистическим.

Уравнения динамики вполне выражают законы исторического метода в приложении к материи, но приложение этих уравнений требует совершенного знания всех данных. Самая малая часть материи, которую мы можем подвергнуть опыту, состоит из миллионов молекул, из которых ни одна, взятая отдельно, никогда не может стать для нас ощутимой. Следовательно, мы никогда не будем в состоянии узнать действительного движения какой-либо из этих молекул; поэтому мы вынуждены отказаться от строго исторического метода и обратиться к статистическому методу изучения обширных групп молекул.

Данные статистического метода в приложении к молекулярной физике суть суммы большого числа молекулярных количеств. Изучая соотношения между количествами этого рода, мы встречаемся с закономерностью нового рода, с закономерностью средних значений, и

мы можем надеяться, что ее совершенно достаточно для всяких практических целей; однако, она не может иметь никаких притязаний на абсолютную точность, свойственную законам абстрактной динамики.

Таким образом, молекулярная физика учит нас, что наши опыты никогда не могут нам дать чего-либо, что было бы больше статистического знания, и что ни один закон, выведенный этим путем, не может претендовать на абсолютную точность. Но когда от рассмотрения наших опытов мы переходим к созерцанию самих молекул, мы оставляем мир случайностей и перемен и вступаем в область, где все достоверно и неизменно.

Молекулы образованы по одному и тому же типу, с точностью, какой мы не находим в ощущаемых нами свойствах тел, ими образуемых. Во-первых, масса каждой отдельной молекулы и все другие ее свойства абсолютно неизменны. Во-вторых, свойства всех молекул одного рода абсолютно тождественны.

Рассмотрим свойства двоякого рода молекул, молекул кислорода и молекул водорода.

Мы можем достать образчики кислорода из весьма различных источников — из воздуха, из воды, из скал какой угодно геологической эпохи. История этих образчиков была весьма различна, и если бы в продолжение тысячелетий разница условий могла бы произвести различие в свойствах, эти образчики кислорода обнаружили бы это.

Подобным же образом мы можем добыть водород из воды, из каменного угля или, как сделал Грэхем, из метеоритного железа. Возьмем два литра какого угодно образчика водорода, соединим их в точности с одним литром какого-либо образчика кислорода и мы получим в точности два литра водяного пара.

Если бы в продолжение всей предшествовавшей истории каждого из этих образчиков — все равно был ли он заключен в скале, или плавал в океане, или носился в неизвестных пространствах вместе с метеоритами, — если бы какие-либо изменения в молекулах случились бы, то эти соотношения не могли бы сохраниться.

Но у нас есть другой и совершенно отличный способ сравнения свойств молекул. Молекула, хотя и неразрушимая, не есть твердое тело, но способна к внутренним движениям, и когда эти движения возбуждены в ней,

она испускает лучи, и длина волны этих лучей служит мерой времени колебания молекулы.

При помощи спектроскопа длины световых волн разного рода можно сравнивать между собой до одной десятичной доли. Таким путем убедились, что не только молекулы каких угодно образчиков водорода в наших лабораториях имеют один и тот же ряд периодов колебаний, но что свет с тем же самым рядом периодов колебаний испускается солнцем и неподвижными звездами.

Таким образом мы убеждаемся, что молекулы такой же точно природы, как у нашего водорода, существуют и в отдаленных пространствах или, по крайней мере, существовали, когда посылался свет, посредством которого мы их видим.

Из сравнения размеров зданий египтян с сооружениями греков оказывается, что они имеют общую меру. Следовательно, если бы даже ни один из писателей древнего мира не отметил бы того факта, что оба народа употребляли мерой длины один и тот же локоть, мы могли бы доказать это самими постройками. Таким образом мы вправе утверждать, что некогда материальная мера длины была перенесена из одной страны в другую, либо что обе страны получили свои меры из одного и того же источника.

Но на небе посредством света, и только посредством одного света, мы открываем звезды, столь отдаленные от других, что никогда никакая материальная вещь не могла перейти от одной к другой. И, однако, этот свет, который служит для нас единственным свидетельством существования этих отдаленных миров, учит нас, что каждый из них создан из молекул того же самого рода, как и те, которые мы встречаем на земле. Молекула водорода, например, находится ли она на Сириусе или на Арктуре, совершает свои колебания в точности в то же самое время.

Следовательно, каждая молекула во вселенной носит на себе печать меры и числа, настолько же ясную, как и метр Парижских архивов или как и двойной царский локоть Карнакского храма [23].

## О «СООТНОШЕНИИ ФИЗИЧЕСКИХ СИЛ» ГРОВА [27]

(Из *Nature*, vol. X, 20/VIII, 1874 г.)

Очень редки те случаи, когда человек, не посвятивший себя исключительно научному труду, вносит в науку такой ценный вклад, как это сделал сэр В. Р. Гров. Его азотнокислый элемент, изобретенный им не случайно, но на основании хода мышления, который в 1839 г. был столь же нов, сколько и оригинален, является серьезным вкладом в науку. Ценность этого вклада доказывается тем, что батарея Грова дожила до наших дней [28] и что ею ежедневно пользуются в любой лаборатории, как наиболее мощным генератором электрических токов. Между тем сотни других элементов, изобретенных после Грова, давно вышли из употребления и оказались побежденными в борьбе за научное существование.

Газовый элемент, хотя и не имеет такого же практического значения, очень интересен в научном отношении, а собрание научных статей, которое лежит перед нами, невольно заставляет задуматься о тех важных результатах, которые получились бы для науки, если бы такой мощный ум был неизменно направлен с нераздельной энергией на какой-нибудь крупный вопрос физики.

Кардинальное место в опубликованном томе принадлежит той статье, по которой назван весь том; это — статья о соотношении физических сил. Взгляды, изложенные здесь, были впервые оглашены в докладе, сделанном в Лондонском институте в январе 1842 г.; затем этот доклад был отпечатан Институтом, более пространно развит в ряде лекций в 1843 г. и опубликован в извлечениях в «*Litterary Gazette*». Эта статья имеет особую ценность; свою основную задачу в качестве послания научному миру она выполнила уже давно, но в памяти лиц, изучающих ход человеческой мысли, она сохра-

нится навсегда, как один из документов, на которых строится история науки.

Не одни только открытия и регистрация их учеными обществами движут науку. Действительный очаг науки — не томы научных трудов, но живой ум человека, и для того, чтобы продвигать науку, нужно направить человеческую мысль в научное русло. Это можно сделать различными способами: огласив какое-либо открытие, отстаивая парадоксальную идею или изобретая научную фразу, или изложив систему доктрины. Дело историка науки определить силу и направление импульса, приданного человеческому мышлению одним из перечисленных средств. Однако для продвижения науки мы требуем в каждую данную эпоху не только, чтобы люди мыслили вообще, но чтобы они концентрировали свои мысли на той части обширного поля науки, которая в данное время требует разработки. В истории науки мы часто видим, что такое действие производят книги, наводящие на размышление; они в точной, удобопонятной и ясной форме излагают те руководящие идеи, которые уже зародились в умах деятелей науки и привели их к тем или иным открытиям, но еще не получили определенной формулировки.

В первой половине настоящего столетия то, что мы называем «началом сохранения энергии», было неизвестно даже по имени, но оно «уже отбрасывало свою тень на настоящее из глубин будущего». И те, которые в большей или меньшей степени понимали дух времени, более или менее отчетливо высказывали свой взгляд на ту форму, которую готовит себе наука. Некоторые из них обращались к передовым деятелям науки и пользовались ученой фразеологией, другие же искали более широкой аудитории и выражались языком, который был ей понятен. Книга г-жи Соммервилль «*Connection of the Physical Sciences*» вышла в 1834 и к 1849 г. выдержала восемь изданий. Этот факт ярко говорит о том, что уже тогда существовало широко распространенное стремление к охвату науки о физике в ее целом. Если мы будем изучать эту книгу, чтобы установить характер взаимной связи между отдельными физическими дисциплинами, то мы прежде всего придем к заключению, что эта связь создана искусством переплетчика, который сбросюровал в один том массу инфор-



маций о каждой из них. Мы видим только ряд изложений различных дисциплин, но о взаимной их связи не говорится почти ничего. То немногое, что говорится, имеет отношение к взаимной зависимости различных научных дисциплин друг от друга, поскольку знакомство с элементами одной, необходимо для успешной работы с другой. Так, например, физическая астрономия требует знакомства с динамикой, а практик-астроном должен иметь известное понятие об оптике, чтобы понимать законы атмосферного преломления и уметь устанавливать телескопы. Затем мы видим, что науки пользуются одним общим методом, а именно, математическим анализом, так что аналитические методы, разработанные для одной науки, часто бывают полезны для другой. Таким образом единство, которое оттеняет книга г-жи Соммервилль, есть единство научного метода, а не единство процессов природы.

Труд сэра В. Грова можно смело назвать популярной книгой, так как он выдержал уже шесть изданий. Он свидетельствует, таким образом, не только о ходе мышления автора, но и является показателем состояния научной мысли обширного круга читателей; он не обладает той общепонятностью и легкостью изложения, которыми отличается сочинение г-жи Соммервилль; пользоваться им как научным руководством нельзя, не годится он и как пособие для подготовки к дискуссиям на научные темы. Назначение книги — доказать, что различные формы энергии, существующие в природе, могут преобразовываться одна в другую, причем одна исчезает при появлении другой. Говоря о соотношении физических сил, автор подразумевает именно это явление, и весь труд посвящен изложению данного факта, причем каждая из физических сил по очереди рассматривается как исходный пункт, служащий источником для всех остальных сил.

Мы очень сожалеем, что не располагаем первыми отзывами об этой книге, по которым можно было бы судить о приеме, оказанном доктрине автора литературными и научными кругами того времени. Нет никакого сомнения, что этот труд сыграл большую роль в смысле оформления того, что называется «научным мнением», т. е. того, чем люди науки руководствуются, когда им приходится высказать какое-либо суждение о науке,

с которой они незнакомы. Многие вещи в труде автора, которые шли вразрез с научным мнением того времени и поэтому вызвали возражения, с тех пор сами стали частью научного мнения, и новому поколению людей науки старые возражения уже кажутся непонятными.

Труд Гельмгольца «О сохранении силы», опубликованный в 1847 г., несомненно, означает большой шаг вперед на пути науки, но непосредственное влияние этого труда сказалось на узком круге ученых специалистов и на общественном мнении отразилось слабо.

Многочисленные труды Майера богаты материалом, который может возбудить интерес к вопросу о преобразовании энергии даже среди людей, не посвящавших себя исключительно науке, но в Англии эти труды были долго неизвестны, и непосредственное их влияние в период их выхода в свет было незначительно даже в Германии.

Быстрое развитие термодинамики и других областей применения принципа сохранения энергии, в начале второй половины текущего столетия, принадлежит уже более поздней эпохе истории науки, чем та, о которой мы говорим.

Для правильной оценки труда сэра В. Грова, мы должны смотреть на него как на орудие, с помощью которого некоторые научные идеи получили широкое распространение, так как они были изложены языком, не допускавшим неправильного понимания и вместе с тем достаточно привычным широким кругам читателей, чтобы не отпугнуть тех, кто приходит в ужас, когда литературные условности приносятся в жертву точности формулировки.

Интересно проследить за той эволюцией, благодаря которой слова обычного обихода постоянно дифференцируются и приобретают научную точность. Творцы науки о динамике выбрали из обычного лексикона несколько слов, обозначающих действие и результаты действия, как, например, сила, мощность, действие, импульс, удар, напряжение, деформация, работа, энергия и т. д. В их умах накопился ряд идей, требовавших терминов для их обозначения, и они воспользовались вышеуказанными словами, как выражающими их идеи наилучшим образом. Однако, эквивалентные термины Force, Vis, Kraft оказались наиболее удобными,

и мы видим, что ими начали пользоваться для выражения почти всех идей, перечисленных выше; остальные же термины, которые могли бы оказать свою долю пользы, выпали из научного лексикона и сохранили только свое более или менее неопределенное значение в качестве слов обычного обихода.

Мы знаем термины: *Vis acceleratrix*, *Vis motrix*, *Vis viva*, *Vis mortua* и даже *Vis inertiae*, и в каждом из них, кроме второго и четвертого, слово *Vis* имеет значение, радикально отличное от того значения, которое придают ему в других выражениях [29].

Если научный труд читается научно подготовленным читателем, то точное усвоение эпитетов, придающих слову *Vis* различные значения, не вызовет путаницы понятий, но когда науку хотят популяризировать, то без реформы и перестройки научной номенклатуры по лучшим, более совершенным принципам идеи науки в популярном изложении окажутся гораздо более смутными, чем идеи так называемого «популярного невежества».

Те физические силы, о соотношении которых говорится в рассматриваемом нами труде, суть: движение, тепло, электричество, свет, магнетизм, химическое средство и «другие виды сил». Согласно определению силы, как оно дано в трактатах о динамике за последние два века, ни один из перечисленных видов, кроме, может быть, химического средства, не может быть признан за силу. Установившееся определение гласит: «Сила есть то, что вызывает изменение движения, и мерилом ее служит вызванное изменение движения».

Сам Ньютон напоминает нам, что сила существует только до тех пор, пока она действует; ее действие может сохраниться, но сама сила, как таковая — по существу явление преходящее. Поэтому если мы встречаем такие термины, как «сохранение силы», «постоянство силы» и т. п., то нужно полагать, что слово «сила» применяется здесь в смысле, радикально отличающемся от того, который придают ему люди науки, начиная от Ньютона. Во всех этих случаях, так же как и в термине «физические силы» в применении к теплу, мы можем теперь, благодаря д-ру Томасу Юнгу, пользоваться словом «энергия», вместо слова «сила», так как, ввиду научного определения этого слова как «спо-

способности производить работу», оно применимо во всех указанных случаях. Путаница распространилась даже на метафорическое применение слова «сила». Так, например, можно вполне правильно говорить метафизически о силе общественного мнения, оказывающей свое действие на государственного человека, в виде известного давления, потому что здесь мы имеем дело с действием, стремящимся вызвать движение в известном направлении. Но когда мы говорим о «вооруженных силах королевы» [30], то это так же ненаучно, как говорить о «физических силах». В своих заключительных заметках автор говорит о той путанице терминов, которая мешала ему излагать научные положения вследствие несовершенства научного лексикона. Он говорит, что «избежать этого затруднения невозможно без введения неологизмов; я недостаточно самонадеён, чтобы вводить их, и не имею достаточного авторитета, чтобы заставить их признать».

Такое признание, исходящее от большого мастера «изложения предмета», является весьма важным свидетельством необходимости изучения и специальной культуры научной терминологии. Сравнение многих отрывков разбираемого нами труда с соответствующим изложением в более новых книгах, хотя и гораздо менее значительных, доказывает, как много мы выиграли благодаря введению удачных неологизмов. То, что казалось таинственным и даже парадоксальным гиганту, работавшему с самым примитивным лексиконом, является трюизмом в глазах молодого поколения, законного наследника того дворца истины, для которого гигант доставил материалы.

Так, например, применение слова «масса» для обозначения количества вещества, определяемого количеством силы, необходимой для создания данного ускорения, поставило современных учащих на совершенно другой уровень по сравнению с теми, кому приходилось расшифровывать термин *Vis inertiae*, комбинируя толкование *Vis* как силы и *Inertiae* как бездеятельности. Равным образом слово «напряжение» является эквивалентом слов «действие и противодействие» и служит общим обозначением для давления, растяжения и т. д.; это слово избавит будущие поколения от массы затруднений. Различие между обладанием энергией и фактом совершения работы, с которым мы теперь так освоились,

вероятно, избавило бы доктрину, изложенную в рассматриваемом нами труде, от целого ряда возражений. Возражения эти касались утверждений, в которых создание одного вида энергии и сохранение другого вида трактовались так, как будто они являются операциями одного и того же рода. Мы читаем на стр. 163: «вольтова батарея, разлагая воду в вольтаметре, между тем как тот же самый ток одновременно применяется для образования (сохранения) электромагнита, тем не менее создает в вольтаметре эквивалент газа или разлагает эквивалент электролита соответственно каждому эквиваленту разложения в элементах батареи и дает те же отношения, если мы удалим электромагнит».

Здесь сохранение магнита есть нечто, совершенно отличное от разложения электролита; первое является сохранением энергии, второе — выполнением работы. Это хорошо разъяснено в труде автора, но если бы он располагал соответствующей терминологией, то никогда не встретил бы возражений.

## О ДИНАМИЧЕСКОМ ДОКАЗАТЕЛЬСТВЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО СТРОЕНИЯ ТЕЛ \*

(Из *Nature*, vol. XI, 1875 г.)

Когда какое-нибудь явление можно описать как частный случай какого-нибудь общего, приложимого к другим явлениям принципа, то говорят, что это явление получило объяснение. Однако, объяснения бывают весьма различны в зависимости от степени общности примененного принципа. Так, человек, впервые заметивший действие выплеснутой на огонь воды, почувствовал некоторое умственное удовлетворение, обнаружив, что результаты всегда одинаковы и что они не зависят от какой-то временной и непостоянной антипатии между водой и огнем. Это — объяснение низшего порядка, в котором класс, к которому мы относим данное явление, состоит из других явлений, отличающихся от первого только местом и временем, но заключенный в нем принцип есть самый общий принцип, в котором место и время не входят в число условий, определяющих процесс природы. С другой стороны, когда физическое явление может быть полностью описано как изменение конфигурации и движения материальной системы, говорят, что мы имеем полное динамическое объяснение явления. Мы не можем представить себе ни необходимости, ни желательности, ни возможности дальнейшего объяснения, так как, если мы знаем значение слов «конфигурация», «движение», «масса» и «сила», мы видим, что представляемые ими идеи настолько элементарны, что их нельзя объяснить ничем другим.

Явления, изучаемые химиками, это — в большинстве своем те явления, которые не получили полного динамического объяснения.

---

\* Лекция, прочитанная в Химическом обществе 18 февраля проф. Дж. Кларком Максвеллом.

Было построено много диаграмм и моделей сложных молекул. Они являются свидетельством о попытках химиков представить себе конфигурацию материальных систем при помощи геометрических соотношений, которыми можно иллюстрировать или объяснять химические явления. Ни один химик, однако, не видит в этих диаграммах ничего большего, чем символические изображения различных степеней связи между различными компонентами молекул [19].

О другой стороны, в астрономии масштабы конфигурации и движения небесных тел таковы, что мы можем обнаружить их непосредственным наблюдением. Ньютон доказал, что наблюдаемые движения указывают на постоянное стремление всех тел приближаться друг к другу, а установленное им учение о всемирном тяготении не только объясняет наблюдаемые движения нашей системы, но и позволяет вычислить движение системы, в которой астрономические элементы имели бы любую величину.

Переходя от астрономии к науке об электричестве, мы все еще можем наблюдать взаимное расположение и движение наэлектризованных тел и, строго следуя указанному Ньютонем пути, вывести отсюда величину сил взаимодействия этих тел. Однако, оказывается, что эти силы зависят от распределения того, что мы называем электричеством. То, что Гаусс называет *construierbar Vorstellung* (наглядное представление) о невидимом действии электричества, составляет предмет великих исканий в этой области.

Пытаясь распространить динамический метод на объяснение химических явлений, мы должны составить себе представление о расположении и движении некоторого числа материальных систем, из которых каждая настолько мала, что ее нельзя наблюдать непосредственно. Фактически, наблюдая внешние действия некоторого невидимого механизма, мы должны сделать заключение об его внутреннем действии.

Применявшийся, обычно при таких исследованиях метод заключался в принятии некоторой гипотезы и в последующем расчете того, что должно произойти, если гипотеза справедлива. Если результаты расчетов совпадали с явлениями, то говорили, что гипотеза подтвердилась, во всяком случае до тех пор, пока кто-нибудь не

высказывал другой гипотезы, еще лучше согласующейся с явлениями.

Причиной того, что столь большое число наших физических теорий было построено с помощью метода гипотез, является отсутствие у ученых достаточно общей терминологии для выражения результатов своих выводов в их более ранней стадии.

Они были вынуждены, таким образом, оставить свои идеи в неопределенном и потому бесполезном для науки состоянии или представить их в такой форме, подробности которой можно получить лишь при непозволительном применении фантазии.

Тем временем математики, руководимые инстинктом, заставляющим их накапливать для других продукты деятельности своего мышления, разработали, в наиболее общей форме, динамическую теорию материальной системы.

Из всех теорий строения тела, безусловно, наиболее вероятно та, которая утверждает лишь, что тела являются материальными системами, и предлагает выводить из наблюдаемых явлений лишь те заключения о состояниях и связях материальной системы, которые действительно вытекают из этих явлений.

Когда эти методы физических рассуждений будут соответствующим образом представлены и объяснены несколькими примерами, реже станут жалобы на слабость аргументации ученых, а индуктивный метод не будет больше высмеиваться как чисто гадательный.

Лишь небольшая часть теории строения тел сведена в настоящее время к точной дедукции из известных нам фактов. Чтобы вполне правильно вести научную работу посредством систематических опытов и точных демонстраций, требуется стратегическое искусство, на которое нельзя рассчитывать даже у людей, давших науке ряд оригинальных наблюдений и плодотворных предложений. Заслуга этих пионеров науки ничуть не умаляется тем, что, работая в неизвестной еще области, они в своем продвижении вперед зачастую отрывались от системы связей с уже установленной научной базой, являющейся единственной гарантией для непрерывного развития науки.

Изучая строение тел, мы с самого начала вынуждены иметь дело с частицами, которые мы не в состоянии на-



блюдать. Действительно, каковы бы ни были наши конечные заключения о молекулах и атомах, существуют экспериментальные доказательства того, что тела могут быть разделены на столь малые частицы, что они не поддаются нашему восприятию.

Поэтому, если мы будем помнить, что слово «частица» означает небольшую часть тела и не подразумевает гипотезы о конечной делимости тел, мы можем считать, что тело состоит из частиц, и также можем утверждать, что в телах или частях тел измеримых размеров количество этих частиц чрезвычайно велико.

Ближайшей задачей является введение динамического метода в изучение материальной системы, состоящей из огромного количества частиц, для чего необходимо составить себе представление об их конфигурации и движении, а также о действующих на эти частицы силах. После этого на основании динамической теории можно сделать заключения о явлениях, доступных нашему наблюдению в видимых частях системы, хотя они и зависят от расположения и движения их невидимых частиц.

Необходимые в настоящем исследовании динамические принципы были развиты рядом основоположников динамики от Галилея и Ньютона до Лагранжа и Лапласа. Однако, специальное приспособление этих принципов к молекулярным исследованиям является в значительной мере делом профессора Боннского университета Клаузиуса, новые работы которого, в дополнение к результатам его сложных вычислений, содержат новые динамические идеи; руководствуясь этим, я надеюсь без больших вычислений вывести ряд чрезвычайно важных заключений.

Уравнение Клаузиуса, на которое я хочу обратить сейчас ваше внимание, имеет следующую форму:

$$pV = \frac{2}{3}T - \frac{2}{3} \sum \sum \left( \frac{1}{2} Rr \right).$$

Здесь  $p$  означает давление газа, а  $V$  — объем заключающего его сосуда. Для случая газа при постоянной температуре произведение  $pV$  остается, согласно закону Бойля, почти постоянным для различных объемов и давлений. Этот член уравнения является произведением двух величин, из которых каждая может быть непосредственно измерена.

Вторая часть уравнения состоит из двух членов. Первый зависит от движения частиц, второй от сил, с которыми они друг на друга действуют.

Величина  $T$  есть кинетическая энергия системы или, другими словами, та часть энергии, которая обусловлена движением частей системы.

Кинетическая энергия частицы равна половине произведения ее массы на квадрат ее скорости, а кинетическая энергия системы — сумме кинетических энергий ее частей.

Во втором члене  $r$  есть расстояние между каждыми двумя частицами, а  $R$  — их взаимное притяжение (если эта сила есть отталкивание или давление, то  $R$  нужно считать отрицательным).

Величина  $\frac{1}{2} Rr$  или половина произведения притяжения на расстояние, на котором оно действует, названо Клаузиусом вириалом притяжения (в случаях давления или отталкивания вириал отрицателен).

Клаузиус первый указал на существенное значение этой величины и, дав ей особое название, значительно облегчил применение своего метода к изложению физики.

Вириал системы есть сумма вириалов каждой пары частиц этой системы. Это выражено двойной суммой  $\sum \sum \left( \frac{1}{2} Rr \right)$ , указывающей на то, что величина  $\frac{1}{2} Rr$  должна быть найдена для каждой пары частиц, а затем результаты должны быть сложены.

Клаузиус вывел это уравнение чрезвычайно простым математическим способом, объяснением которого, однако, я не стану вас утруждать, так как мы сегодня не занимаемся математикой. Мы видим, впрочем, что оно указывает на две причины, оказывающие влияние на давление газа на заключающий его сосуд: движение частиц, стремящееся повысить давление, и их взаимное притяжение, которое стремится понизить давление.

Поэтому мы можем приписать давление газа либо движению частиц, либо их взаимному отталкиванию.

Проверим с помощью этих результатов Клаузиуса теорию зависимости давления газа лишь от взаимного отталкивания частиц, в предположении, что когда газ помещен в покоящемся сосуде, частицы эти, действительно, находятся в покое.

В этом случае вириал должен быть отрицателен и, так как, согласно закону Бойля, произведение давления на объем постоянно, вириал тоже должен быть постоянен, каков бы ни был объем одного и того же количества газа, при постоянной температуре. Отсюда следует, что  $Vr$  — произведение силы взаимного отталкивания двух частиц на расстояние между ними — должно быть постоянной величиной, или, другими словами, сила отталкивания должна быть обратно пропорциональна расстоянию. Но Ньютон показал невозможность такого закона для молекулярных сил, так как из него следовало бы, что действие отдаленных частей тела превышает действие соседних частей. Действительно, достаточно отметить, что при постоянном  $Vr$  каждая пара частиц должна обладать одинаковым вириалом, так что вириал системы должен быть пропорционален числу пар частиц ее, т. е. квадрату числа частиц или, другими словами, квадрату количества находящегося в сосуде газа. Согласно этому закону давление газа при одной и той же плотности не будет одинаково в различных сосудах, но в большом сосуде будет значительно больше, чем в маленьком, а на открытом воздухе будет больше, чем в любом сосуде.

Поэтому давление газа нельзя объяснить предположением наличия между частицами сил отталкивания.

Следовательно, оно должно целиком или частично зависеть от движения частиц.

Если предположить, что частицы совершенно не действуют друг на друга, то вириала не будет вовсе и уравнение сведется к виду

$$Vr = \frac{2}{3} T.$$

Если  $M$  — масса всего количества газа, а  $c$  — средняя квадратичная скорость частицы, мы можем написать уравнение

$$Vr = \frac{1}{3} Mc^2$$

или, словами: произведение объема на давление равно одной трети массы, помноженной на средний квадрат скорости. Если мы теперь примем — позже мы это докажем независимым рассуждением, — что средний квадрат скорости зависит лишь от температуры, то это уравнение в точности представит закон Бойля.

Но обычно, как мы знаем, а особенно при низких температурах и больших плотностях, поведение газов отклоняется от закона Бойля. Посмотрим, не совместима ли с опытом отвергнутая нами в качестве действительного объяснения давления газа гипотеза о действующих между молекулами силах; если рассматривать ее как причину этого отклонения от закона Бойля.

Когда газ чрезвычайно разрежен, число частиц, находящихся на данном расстоянии от какой-нибудь из них, будет пропорционально плотности газа. Следовательно, вириал, обусловленный действием одной из частиц на остальные, будет изменяться пропорционально плотности, а общий вириал единицы объема будет изменяться пропорционально квадрату плотности.

Обозначив плотность через  $\rho$  и разделив обе части уравнения на  $V$ , получаем

$$p = \frac{1}{3} \rho c^2 - \frac{2}{3} A \rho^2,$$

где  $A$  — почти постоянно для малых плотностей.

Опыты Реньо показывают, что для большинства газов давление при увеличении плотности становится меньше вычисленной на основании закона Бойля величины. Следовательно, вириал должен быть положительным; другими словами, взаимодействие частиц является в основном притяжением, а уменьшение под его воздействием давления должно вначале почти точно соответствовать квадрату плотности.

С другой стороны, если давление всё увеличивается, вещество приходит, наконец, в такое состояние, при котором огромное увеличение давления дает лишь очень незначительное увеличение плотности. Это указывает на то, что вириал стал отрицательным или, другими словами, взаимодействие между частицами является в основном отталкиванием. Мы можем отсюда заключить, что взаимодействие между двумя частицами, находящимися на заметном расстоянии, совершенно неощутимо: по мере сближения частиц, взаимодействие сперва проявляется как притяжение, достигающее некоторого максимума, затем уменьшающееся и превращающееся, наконец, в столь большое отталкивание, что никакая возможная сила не может свести к нулю расстояние между частицами.

Соотношение между давлением и плотностью, возни-

кающее в результате такого взаимодействия частиц, принадлежит к этому типу.

При возрастании плотности от нуля, давление почти целиком зависит вначале от движения частиц и поэтому изменяется почти в точности соответственно тому, как это следует из закона Бойля. Но при дальнейшем возрастании плотности влияние взаимного притяжения частиц становится заметным; вследствие чего давление увеличивается медленнее, чем это следует по закону Бойля. При низкой температуре влияние притяжения может стать так велико, по сравнению с действием, вызванным движением, что давление, вместо того чтобы продолжать увеличиваться с повышением плотности, может достигнуть максимума и затем начать уменьшаться.

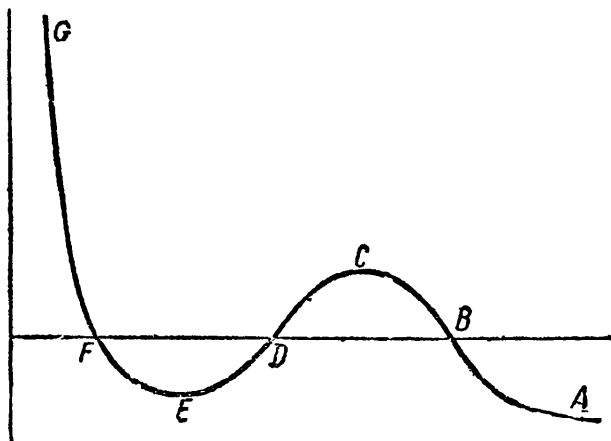


Рис. 2

В конце концов, однако, поскольку среднее расстояние между частицами продолжает уменьшаться, действие отталкивания превысит действие притяжения и давление настолько увеличится, что не только превысит величину, соответствующую закону Бойля, но возрастет настолько, что ничтожное увеличение плотности будет требовать огромного увеличения давления.

Отсюда следует, что соотношение между давлением и объемом может быть представлено кривой *ABCDEFG*, где горизонтальные ординаты означают объем, а вертикальные — давление.

При уменьшении объема, давление растет до точки *C*, затем падает до точки *E* и, наконец, беспрестанно растет, при дальнейшем уменьшении объема.

Мы до сих пор предполагали, что опыты производятся таким образом, что плотность одинакова во всех частях среды. Однако практически это невозможно, так как единственным условием, налагаемым извне на среду, может явиться лишь заключение ее целиком в некоторый сосуд. Следовательно, если среда может распределиться

таким образом, что часть ее будет иметь одну плотность, а часть — другую, то мы не можем этому воспрепятствовать.

Точки  $B$  и  $F$  изображают два состояния среды при одинаковом давлении, но весьма различных плотностях. Вся среда целиком может перейти из состояния  $B$  в состояние  $F$  не через промежуточные состояния  $CDE$ , а последовательно переходя небольшими порциями непосредственно из состояния  $B$  в состояние  $F$ . Таким образом последовательные состояния всей среды в целом будут изображены точками на прямой  $BF$ , причем точка  $B$  изображает среду в состоянии полного разрежения, а точка  $F$  — в состоянии полного сгущения. Это имеет место при сжижении газа или пара.

Поэтому в обычных условиях соотношение между давлением и объемом при постоянной температуре изображается ломаной линией  $ABFG$ . Однако, если в процессе сжижения тщательно предохранять среду от соприкосновения с паром, то она может остаться жидкостью и достигнуть состояний, представленных отрезком кривой между  $F$  и  $E$ . Быть может, будут найдены методы предотвращения конденсации пара, посредством которых можно будет привести его в состояние, изображаемое точками на  $BC$ .

Участок гипотетической кривой от  $C$  до  $E$  изображает существенно неустойчивые состояния, которые поэтому не могут быть осуществлены.

Предположим теперь, что среда, оставаясь однородной, переходит из состояния  $B$  в состояние  $F$  по гипотетической кривой  $BCDEF$ , а затем возвращается по прямой  $FB$  в виде смеси жидкости и пара. Поскольку температура была все время постоянной, теплота не могла превратиться в работу. Однако превращенное в работу тепло представлено избытком площади  $FDE$  над площадью  $BCE$ . Следовательно, условие, определяющее максимальное давление пара при заданной температуре, заключается в том, что линия  $BF$  отсекает сверху и внизу равные площади.

Чем выше температура, тем больше часть давления, зависящая от движения, сравнительно с частью его, зависящей от сил взаимодействия частиц. Следовательно, по мере повышения температуры падение кривой становится менее заметным, а при некоторой температуре кривая

вместо того, чтобы прогибаться, становится в некоторой точке горизонтальной, а затем снова поднимается кверху. Эта точка называется критической точкой. Она была определена для углекислоты в великолепных исследованиях Эндрьюса. Эта точка соответствует определенным температуре, давлению и плотности.

При более высоких температурах кривая непрерывно поднимается кверху и при переходе от наиболее разреженного к наиболее плотному состоянию нет ничего, соответствующего сжижению.

Молекулярная теория непрерывности жидкого и газообразного состояний составляет предмет весьма остроумной диссертации Иоганна Дидерика ван-дер-Вальса\* (Лейденский университет). Мне кажется, что в некоторых пунктах он впал в математические ошибки и, разумеется, его конечный результат не является исчерпывающим выражением взаимодействия между реальными молекулами; но он так талантливо и смело взялся за этот трудный вопрос, что его исследование даст, вероятно, заметный толчок развитию учения о молекулярном строении тел. Несомненно, эта диссертация заставила многих исследователей изучить голландский язык, на котором она написана.

Чисто термодинамические соотношения между различными состояниями вещества не входят в наш предмет, так как не зависят от специальных молекулярных теорий. Однако я упомяну о чрезвычайно ценном вкладе в эту область термодинамики, сделанном проф. Йелльского колледжа в Америке Виллардом Гиббсом\*\*, давшим нам замечательно простой и вполне удовлетворительный метод изображения соотношения между различными состояниями вещества при помощи модели. При помощи этой модели можно свободно решить вопросы, в течение долгого времени не поддававшиеся ни моим усилиям, ни усилиям других исследователей.

Возвратимся теперь к случаю весьма разреженного газа, в котором давление зависит исключительно от движения его частиц. Поскольку объем, давление и масса—

\* Over de continuïtet van den gas en vloeïstoofteestand (Leiden, A. W. Sijthoff, 1873).

\*\* «A method of geometrical representation of the thermodynamic properties of substances by means of surfaces». *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, v. II, part 2.

измеримые величины, легко вычислить, на основании уравнения Клаузиуса средний квадрат скорости частицы.

Если предположить, что скорость всех частиц одинакова, то окажется, что скорость молекулы кислорода при  $0^{\circ}\text{C}$  равна 461, молекулы азота 492, а водорода 1844 метрам в секунду.

В различные эпохи различные авторы пытались объяснить давление газа на заключающий его сосуд ударами частиц о стенки сосуда. Однако тот факт, что газы не рассеиваются в атмосфере со скоростями, близкими к приведенным выше, не был объяснен до тех пор, пока Клаузиус, на основании подробного изучения движения огромного числа частиц, не развил методов и идей современного учения о молекулярном строении вещества.

Ему мы обязаны представлением о средней длине пробега молекулы газа в промежутке между двумя последовательными столкновениями. Как только мы узнали, что каждая молекула, пройдя чрезвычайно короткий путь, сталкивается с другой и затем движется по новому пути в совершенно ином направлении, стало очевидным, что скорость распространения газов зависит не только от скорости молекул, но и от расстояний, проходимых ими между двумя последовательными столкновениями.

Еще больше я должен сказать о вкладе, сделанном Клаузиусом в молекулярную теорию. Однако его главная заслуга заключается в том, что он открыл новую область математической физики, показав, каким образом можно математически трактовать движущиеся системы бесчисленного количества молекул.

Клаузиус, во всяком случае в своих ранних исследованиях, не пытался определить, равны ли скорости всех молекул одного и того же газа или, если они не равны, то имеется ли какой-нибудь закон их распределения.

Поэтому он, очевидно, принял в качестве первоначальной гипотезы, что скорости равны. Но легко увидеть, что если столкновения имеют место для очень большого числа молекул, то их скорости станут различны, даже если они были первоначально равны, так как при всех, кроме некоторых весьма редко встречающихся условий, скорости двух молекул, хотя бы и равные перед столкновением, после него становятся неравными.



Распределяя молекулы по группам, согласно их скоростям, мы можем заменить невыполнимую задачу наблюдения всех столкновений отдельной молекулы регистрацией увеличения или уменьшения числа молекул в различных группах.

Следуя этому методу — единственно возможному как с точки зрения экспериментальной, так и математической, — мы переходим от строго динамических методов к методам статистики и теории вероятностей.

При столкновении двух молекул, они переходят из одной группы в другую, но за время большого числа столкновений число молекул, вступающих в каждую группу, в среднем не больше и не меньше, чем число покинувших ее за тот же промежуток времени. Когда система достигла этого состояния, число молекул в каждой группе должно быть распределено, согласно некоторому определенному закону.

Познакомившись с исследованиями Клаузиуса, я попытался установить этот закон.

Опубликованные мной в 1860 г. результаты подверглись затем более строгому исследованию д-ра Людвиг Больцмана, применившего также свой метод к изучению движения сложных молекул. Хотя, подобно всем отраслям науки о вероятностях и о статистике, математическое исследование несколько затруднено, однако оно не является ошибочным. С физической стороны оно приводит, однако, к последствиям, из которых некоторые, будучи явно справедливыми, указывают на правильность выбранной гипотезы, тогда как другие настолько несовместимы с известными нам экспериментальными данными, что мы вынуждены признать, что при формулировке физической теории столкновения молекул от нас ускользнуло нечто существенное.

Я попытаюсь сейчас изложить вам современное состояние этих исследований, не входя, однако, в их математические доказательства.

Я начну с формулирования общего закона распределения скоростей между молекулами одного рода.

Если мы возьмем на диаграмме определенную точку и проведем из этой точки линию, изображающую своим направлением и величиной скорость молекулы, и поставим на конце этой линии точку, то положение точки указывает на состояние движения молекулы.

Если мы сделаем то же самое для всех остальных молекул, то вся диаграмма будет покрыта точками, причем в некоторых местах этих точек будет больше, чем в других.

Можно показать, что закон распределения точек есть тот же закон, который является преобладающим при распределении ошибок наблюдения или установки.

Можно принять, что точки на диаграмме, находящейся перед вами, изображают скорости молекул или различные

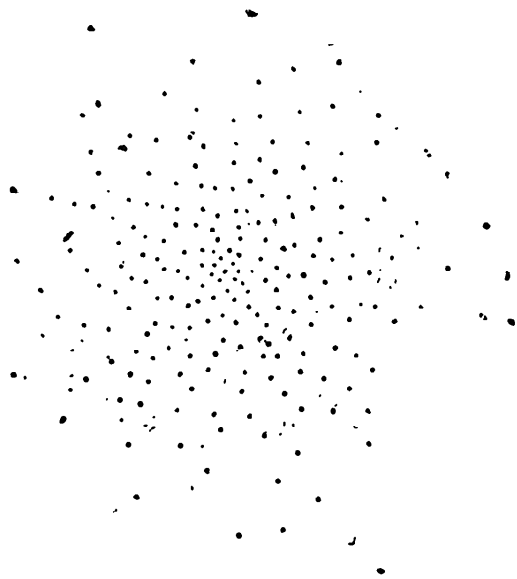


Рис. 3

наблюдения положений одной и той же звезды, или следы ружейных пуль вокруг центральной точки мишени, которые все располагаются именно таким образом.

Скорости молекул колеблются от нуля до бесконечности, поэтому, говоря о средней скорости молекул, мы должны определить, что мы под этим подразумеваем.

Наиболее полезная при сравнениях и вычислениях величина называется «средней квадратичной скоростью». Это — та скорость, квадрат которой есть средняя квадратов скоростей всех молекул.

Это и есть приведенная выше скорость, вычисленная на основании свойств различных газов. Молекула, движущаяся со средней квадратичной скоростью, обладает кинетической энергией, равной средней кинетической энергии всех молекул среды. Если бы масса, равная массе всего количества газов, двигалась с этой скоростью, она обладала бы той же кинетической энергией, которой, действительно, обладает газ, но эта энергия обладала бы видимой формой и могла бы непосредственно производить работу.

Если в сосуде имеются различного рода молекулы, причем некоторые обладают большей массой, чем другие, то, исследуя их, мы обнаруживаем, что их скорости распределяются так, что средняя кинетическая энергия моле-

гулы одинакова, независимо от того, мала ли или велика ее масса.

Пожалуй, здесь мы имеем важнейшее из всех сделанных до сих пор приложений динамических методов в химии.

Действительно, предположим, что мы имеем в сосуде два различных газа. Конечное распределение движения молекул таково, что средняя кинетическая энергия отдельной молекулы одинакова для обоих газов. Конечное состояние является как мы знаем, состоянием равных температур. Следовательно, условие равенства температур двух газов заключается в равенстве средних кинетических энергий единичной молекулы обоих газов.

Мы уже показали, что давление газа составляет две трети кинетической энергии в единице объема. Следовательно, если давление и температура двух газов одинаковы, то кинетические энергии в единице объема и кинетические энергии, приходящиеся на каждую молекулу, также одинаковы. Поэтому в единице объема обоих газов должно заключаться равное число молекул.

Этот результат совпадает с законом эквивалентных объемов, установленным Гей-Люссаком. Однако этот закон опирался до сих пор на чисто химические доказательства — относительные массы молекул различных веществ выводились из пропорций, в которых эти вещества входили в химические соединения. Теперь это доказано на основании динамических принципов. Молекула определяется как та маленькая частица вещества, которая движется как целое. Это — чисто динамическое определение, не зависящее ни от каких опытов над соединением веществ.

Плотность газообразной среды при нормальных температуре и давлении пропорциональна определенной таким путем массе одной из своих молекул.

Мы обладаем, следовательно, верным способом определения относительных масс молекул различных веществ, в их газообразном состоянии. Этому методу можно поверить больше, чем методу, основанному на электролизе или на удельной теплоте, потому что наши сведения об условиях движения более полны, чем наши сведения об электролизе или о внутреннем движении образующих молекулы составных частей.

Я должен сказать теперь несколько слов об этих вну-

тренних движениях, потому что наибольшие затруднения, возникавшие до сих пор в кинетической теории газов, лежат как раз в этой области.

До сих пор мы рассматривали только движение центра массы молекулы. Теперь мы должны рассматривать движение составляющих молекулу частей относительно центра массы.

Если предположить, что составляющие молекулу части суть атомы и что каждый атом есть так называемая материальная точка, то каждый атом может двигаться в трех различных и независимых друг от друга направлениях, соответствующих трем измерениям пространства, так что число переменных, необходимых для определения положения и конфигурации всех атомов молекулы, в три раза больше числа ее атомов.

Однако, для математического исследования нет необходимости предполагать, что молекулы состоят из атомов. Предполагается только то, что положение и конфигурация молекул могут быть полностью выражены при помощи некоторого числа переменных. Обозначим это число через  $n$ .

Три из этих переменных необходимы для определения положения центра массы молекулы, а остальные  $n - 3$  необходимы для определения ее конфигурации относительно центра массы.

Каждой из этих  $n$  переменных соответствует разного рода движение.

Поступательное движение центра массы имеет три компоненты.

Движение частей молекулы относительно центра массы имеет  $n - 3$  компоненты.

Можно рассматривать кинетическую энергию молекулы как состоящую из двух частей — энергии массы молекулы, представляемой сосредоточенной в ее центре массой, и энергии движения частей молекулы относительно ее центра массы. Первая называется энергией поступательного движения, вторая — энергией вращения и колебания. Сумма их и есть общая энергия движения молекулы.

Давление газа зависит, как мы видим, только от энергии поступательного движения. Удельная теплота зависит от пропорции, в которой растет при повышении температуры общая энергия, кинетическая и потенциальная.

Клаузиус давно уже указал, что, зная из опыта отношение удельной теплоты при постоянном объеме к удельной теплоте при постоянном давлении, можно определить отношение прироста общей энергии к приросту энергии поступательного движения.

Он не пытался, однако, определить а priori отношение между двумя составляющими частями энергии, хотя и предполагал в качестве чрезвычайно вероятной гипотезы, что в данном веществе средние величины обеих частей энергии всегда находятся в одинаковом отношении. Определение численной величины этого отношения он предоставил опыту.

В 1860 г. я исследовал отношение между обеими частями энергии, исходя из гипотезы о том, что молекулы являются упругими телами неизменной формы. К моему величайшему изумлению я нашел, что, какова бы ни была форма молекул, — если только они не идеально гладки и не шарообразны, — отношение обеих частей энергии должно быть всегда одинаково, поскольку обе эти части фактически равны.

Этот результат подтвержден исследованиями Больцмана, разработавшего общий случай молекулы, имеющей  $n$  переменных.

Он нашел, что, в то время как при одинаковой температуре средняя энергия поступательного движения одинакова для любых молекул, общая энергия движения относится к энергии поступательного движения, как  $n$  к 3.

Для твердого тела  $n = 6$ , вследствие чего общая энергия движения вдвое больше энергии поступательного движения.

Но если молекула способна изменять свою форму под действием приложенных к ней сил, она должна также быть способной к накоплению потенциальной энергии. И если силы таковы, что обеспечивают равновесие молекулы, то средняя потенциальная энергия будет увеличиваться с увеличением средней энергии внутреннего движения.

Следовательно, при повышении температуры, приращение энергии поступательного движения, энергии внутреннего движения и потенциальной энергии относятся, соответственно, как 3,  $(n - 3)$  и  $e$ , где  $e$  — положительная величина, значение которой неизвестно и которая зави-

сит от закона, управляющего силами, связывающими составные части молекулы.

Если объем вещества сохраняется постоянным, то сообщение теплоты вызовет увеличение общей энергии. Таким образом мы получим для удельной теплоты газа при постоянном объеме

$$\frac{1}{2J} \frac{p_0 V_0}{273^\circ} (n + e),$$

где  $p_0$  и  $V_0$  — давление и объем единицы массы при  $0^\circ$  С или  $273^\circ$  абсолютной температуры, а  $J$  — динамический эквивалент тепла. Удельная теплота при постоянном давлении равна

$$\frac{1}{2J} \frac{p_0 V_0}{273^\circ} (n + 2 + e).$$

В газах с молекулами одинаковой сложности величина  $n$  одинакова, а величина  $e$  может быть одинакова.

В этом случае удельная теплота обратно пропорциональна удельному весу, как это следует из закона Дюлонга и Пти, с определенной долей приближения, проверенного на опыте.

Но если мы возьмем истинные значения удельной теплоты, определенные Реньо, и сравним их с данными этой формулы, то мы получим, что для воздуха и ряда других газов  $n + e$  не может быть больше 4,9. Для углекислоты и водяного пара эта величина больше. Мы получаем те же результаты, сравнивая отношение вычисленных удельных теплот:

$$\frac{2 + n + e}{n + e},$$

с отношением, полученным для различных газов из опыта, а именно с величиной 1,408.

И здесь мы сталкиваемся с самым большим затруднением, которое до сих пор встречалось в молекулярной теории, а именно с истолкованием уравнения  $n + e = 4,9$ .

Если мы предположим, что молекулы — это атомы, т. е. просто материальные точки, которые не могут обладать энергией вращения или энергией внутреннего движения, то  $n$  будет равно 3, а  $e$  нулю, и отношение величин удельных теплот будет равно 1,66, что представляет собой слишком большую величину для всякого реального газа.

Однако, при помощи спектроскопа мы узнаем, что в молекулах могут совершаться колебания с постоянным периодом. Поэтому молекулы не могут быть просто материальными точками, а должны быть системами, способными изменять свою форму. Такая система должна зависеть не менее чем от шести переменных. Это даст для отношения величин удельной теплоты максимальную величину в 1,33, что слишком мало для воздуха, кислорода, азота, окиси углерода, закиси азота и хлористо-водородной кислоты.

Но спектроскоп говорит нам, что некоторые молекулы способны колебаться многими различными способами. Очевидно, эти молекулы должны быть системами чрезвычайно большой сложности, зависящими значительно более, чем от шести переменных. Каждая дополнительная переменная вводит дополнительную способность к внутреннему движению, не влияя на внешнее давление. Поэтому каждая дополнительная переменная увеличивает удельную теплоту безразлично, будет ли она вычислена при постоянном давлении или при постоянном объеме.

Тот же результат дает любая способность молекулы к накоплению потенциальной энергии. Но вычисленная нами удельная теплота уже слишком велика, если мы предположим, что молекула состоит только из двух атомов. Следовательно, каждая дополнительная степень сложности, которую мы приписываем молекуле, может лишь увеличить трудность согласования выведенной из наблюдения и вычисленной величин удельной теплоты.

Я изложил вам сейчас то, что считаю самым большим из встречающихся в молекулярной теории затруднений. Больцман предложил искать объяснения этому во взаимодействии между молекулами и окружающей их эфирной средой. Однако я боюсь, что если мы привлечем на помощь эту среду, мы только увеличим и так уже слишком большое значение, вычисленное нами для удельной теплоты.

Теорема Больцмана применима не только для определения распределения скоростей молекул, но и для определения распределения самих молекул в области пространства, в котором на них действуют внешние силы. Она говорит нам, что плотность распределения молекул в точке, где потенциальная энергия молекулы есть  $\psi$ ,

пропорциональна  $e^{-\frac{\psi}{k\theta}}$ , где  $\theta$  есть абсолютная температура, а  $k$  есть постоянная величина для всех газов.

Из этого следует, что если на несколько газов, находящихся в одном сосуде, действует внешняя сила, подобная силе тяготения, то распределение каждого газа такое же, как если бы в сосуде не было никакого другого газа. Этот результат согласуется с законом, принятым Дальтоном, согласно которому атмосферу можно рассматривать как бы состоящей из двух независимых атмосфер — атмосферы кислородной и атмосферы азотной; при подъеме плотность кислорода уменьшается быстрее, чем плотность азота. Так было бы, если бы атмосфера не испытывала никаких возмущений, но ветры перемешивают атмосферу и делают ее более однородной, чем в том случае, когда она остается в покое.

Другим следствием теории Больцмана является стремление к уравниванию температуры в вертикальном столбе находящегося в покое газа.

В случае атмосферы действие ветра заставляет температуру изменяться так, как изменялась бы температура массы воздуха, если бы она вертикально поднималась кверху, расширяясь и охлаждаясь по мере подъема.

Но помимо этих выводов, которые были мною получены при помощи менее элегантного метода и опубликованы в 1866 г., теорема Больцмана открывает, повидимому, путь и в чисто химическую область исследований. Действительно, если газ состоит из некоторого числа подобных систем, каждая из которых может принимать различные состояния, обладая различными количествами энергии, то теорема Больцмана говорит нам, что число систем, находящихся в каждом из этих состояний, пропорционально  $e^{-\frac{\psi}{k\theta}}$ , где  $\psi$  — энергия,  $\theta$  — абсолютная температура, а  $k$  — постоянная.

Легко увидеть, что этот результат следовало бы применить к теории о состояниях соединения, встречающихся в смеси различных веществ. Но так как я лишь на этой неделе попытался это сделать, то я не стану задерживать ваше внимание моими грубыми вычислениями.

Я ограничился в своих замечаниях узкой областью молекулярного исследования. Я ничего не сказал о молекулярной теории диффузии вещества, движения, энер-



гии, так как, хотя результаты этой теории, особенно в области диффузии вещества и взаимного проникновения жидкостей и газов, представляют большой интерес для многих химиков и хотя мы выводим из этих явлений чрезвычайно важные данные о молекулах, они принадлежат к той области нашего исследования, данные которой зависят от условий столкновения двух молекул и поэтому по необходимости весьма гипотетичны. Я предпочел наглядно показать, что части жидкости и газов движутся, и описать, каким образом распространяется это движение между молекулами различных масс.

Для того чтобы показать, что все молекулы одного и того же вещества обладают одинаковой массой, мы можем обратиться к введенному Грэхемом методу диализа, в котором два газа различной плотности разделяют, заставляя их просачиваться сквозь пористую перегородку.

Если бы в одном и том же газе были молекулы различных масс, то, повторив достаточное число раз процесс диализа, мы разделили бы газ на две части, причем в одной из них средняя масса молекулы была бы больше, чем в другой. Плотность и молекулярный вес этих двух частей газа были бы различны. Нужно заметить, что никто с достаточной тщательностью не производил этого опыта для всех химических веществ. Но происходящие в природе процессы постоянно осуществляют такого рода опыты, и если бы существовали почти одинаковые молекулы одного и того же вещества, незначительно отличающиеся по своей массе, то большие молекулы собрались бы вместе и образовали одно соединение, а меньшие образовали бы второе. Водород всегда обладает одинаковой плотностью, извлечем ли мы его из воды или из углеводорода, так что ни кислород, ни углерод не могут найти в водороде молекул больших или меньших средней величины [31].

Предположительная величина молекул была вычислена на основании сравнения объемов тел в жидком и твердом состояниях с их объемом в газообразном состоянии. Изучая молекулярные объемы, мы встречаемся с многими трудностями, но одновременно имеется достаточное число согласованных результатов для того, чтобы надеяться на успех исследования.

Теория о возможных колебаниях молекул не была еще как следует изучена при помощи метода постоянного

сравнения данных динамической теории с наглядными данными спектроскопа.

Вооруженный расчетами и спектроскопом, разумный исследователь, несомненно, обнаружит существенные факты о внутреннем строении молекулы.

Наблюдаемая нами прозрачность газов может показаться не согласной с результатами молекулярного исследования.

Слой газа в сто футов, модель молекулы которого состояла бы из шариков, разбросанных на расстояния, пропорциональные их диаметрам, пропускал бы очень незначительное количество света. Но вспоминая о малой величине молекулы сравнительно с длиной световой волны, мы можем применить некоторые теоретические исследования лорда Рэля о взаимодействии между волнами и малыми шарами, показывающие, что если бы на прозрачность атмосферы влияло только присутствие молекул, то атмосфера была бы значительно прозрачнее, чем мы могли это предположить.

В значительно более трудной области, относящейся к электрическим свойствам газов, имеются пока лишь попытки исследований. Никто еще не объяснил, почему плотные газы столь хорошие изоляторы и почему при разрежении или нагревании они допускают электрический разряд, в то время как абсолютный вакуум является наилучшим из всех изоляторов [32].

Правда, диффузия молекул происходит значительно быстрее в разреженных газах, потому что средняя длина свободного пробега молекулы обратно пропорциональна плотности. Но различие электрических свойств плотных и редких газов оказывается слишком значительным для объяснения его таким образом.

Находясь нужным отметить непреодоление до сих пор трудности этой молекулярной теории, я должен напомнить вам, однако, о тех многочисленных фактах, которые она удовлетворительно объясняет. Мы уже упоминали о так называемых газовых законах, выражающих соотношение между объемом, давлением и температурой, и о чрезвычайно важном законе Гей-Люссака об эквивалентных объемах. Объяснение их можно считать исчерпывающим.

Закон о молекулярной удельной теплоте менее точно проверен экспериментально, и его полное объяснение

должно основываться на более глубоком знании внутренней структуры молекулы, чем то, которое мы пока имеем.

Но самым существенным результатом этих исследований является более ясное представление о термических явлениях. Во-первых, температура среды измеряется средней кинетической энергией поступательного движения отдельной молекулы. В двух термически сообщающихся средах измеренная таким образом температура стремится уравниваться.

Во-вторых, мы научаемся отличать тот род движения, который мы называем теплотой, от других родов движения. Особенность движения, носящего название теплоты, заключается в том, что оно совершенно беспорядочно, т. е. что направление и величина скорости молекулы в данный момент не могут быть выражены в зависимости от начального положения молекулы и от времени.

С другой стороны, при видимом движении тела, движение центра массы всех молекул в любой видимой части тела есть наблюдаемое движение этой части, хотя молекулы могут также находиться в беспорядочном движении, обусловленном тем, что тело нагрето.

При передаче звука различные части тела также обладают движением, которое, однако, обычно слишком незначительно и слишком быстро меняется для того, чтобы его можно было непосредственно наблюдать. Но при движении, составляющем физическое явление звука, скорость каждой части среды в любой момент может быть выражена в зависимости от положения и истекшего времени. Таким образом движение среды при прохождении звуковой волны закономерно и его нужно отличать от того движения, которое мы называем теплотой.

Однако, если звуковая волна, вместо того чтобы продвигаться закономерным образом и оставлять за собой среду неподвижной, встречает на пути сопротивления, распыляющие ее движение на беспорядочные колебания, это беспорядочное молекулярное движение не может более уже распространяться с такой быстротой и в одном направлении, как звук, а остается в среде в форме теплоты до тех пор, пока эта теплота медленно не перейдет посредством теплопроводности к более холодным частям среды.

Хотя движение, которое мы называем светом, еще более незначительно и еще быстрее меняется, чем движение, которое мы называем звуком, оно подобно звуку;

совершенно правильно и потому не есть теплота. То, что называлось раньше лучистой теплотой, есть явление физически тождественное свету.

Когда излучение доходит до некоторой части среды, оно входит в нее, проходит ее насквозь и выходит с другой стороны. Пока среда передает излучение, она находится в некотором движении, но как только излучение прошло через нее, среда возвращается к своему прежнему состоянию, а движение полностью переходит в другую часть среды.

Движение, которое мы называем теплотой, не может само по себе переходить из одного тела в другое; если только первое тело не будет во время этого процесса теплее второго. Поэтому движение излучения, которое полностью выходит из одной части среды и входит в другую, не может собственно быть названо теплотой.

Мы можем применить молекулярную теорию газов для проверки той гипотезы о светоносном эфире, которая считает, что он состоит из атомов или молекул. Те, кто пытались описать строение светоносного эфира, предполагали иногда, что он состоит из атомов или молекул.

Применение к таким гипотезам молекулярной теории приводит к поразительным результатам.

Прежде всего молекулярный эфир был бы не чем иным, как газом. Мы можем, если хотим, предположить, что каждая из его молекул равна одной тысячной, одной миллионной части молекулы водорода и что они могут свободно проходить в промежутке между обычными молекулами. Но, как мы видим, само собой установилось бы равновесие между движением обычных молекул и движением молекул эфира. Другими словами, эфир и находящиеся в нем тела стремились бы к уравниванию температуры и эфир подчинялся бы в отношении давления и температуры обычным газовым законам.

Среди других свойств газов он обладал бы и свойством, установленным Дюлонгом и Пти и заключающемся в том, что теплоемкость единицы объема эфира должна была бы быть равна теплоемкости единицы объема любого обычного газа при том же давлении. Поэтому мы обязательно обнаружили бы его присутствие при наших опытах с удельной теплотой, так что мы можем утверждать, что эфир не обладает молекулярным строением [33].

## АТОМ

(Статья была написана для Encyclopædia Britannica)

Атом (*ατομος*) есть тело, которое нельзя рассечь пополам [19]. Атомистическая теория есть теория строения тел, утверждающая, что они составлены из атомов. Противоположная теория есть теория однородности и непрерывности тел. Она утверждает, по крайней мере для случая тел, не имеющих видимой структуры, таких, например, как вода, что как мы можем разделить каплю воды на две части, из которых каждая будет каплей воды, так мы имеем основание думать, что эти меньшие капли можно разделить опять. Далее, эта теория утверждает, что в природе вещей нет ничего такого, что могло бы помешать повторять этот процесс снова и снова, сколько угодно раз, до бесконечности. Это — учение о безграничной делимости тел, и оно стоит в прямом противоречии с теорией атомов.

Атомисты утверждают, что после определенного числа таких делений части становятся уже неделимыми, так как каждая из них будет атомом. Сторонники непрерывности материи утверждают, что самое малое тело, какое только можно себе представить, имеет части, и что все то, что имеет части, может быть разделено.

В древности Демокрит был основателем атомистической теории, между тем как Анаксагор излагал теорию непрерывности под именем учения о гомеомериях (*ὁμοιομέρεια*), или о подобии частей тела целому. Доводы атомистов и их ответы на возражения Анаксагора мы находим у Лукреция.

В новое время изучение природы пролило свет на некоторые свойства тел, зависящие, по видимому, от величины и движения их последних составных частей, и вопрос о существовании атомов снова сделался одним из важнейших среди других научных изысканий.

Мы должны начать с изложения противоположных учений об атомах и о непрерывности, и только после этого можем дать очерк состояния молекулярной физики в том виде, в каком она существует в настоящее время. В самые отдаленные времена древние философы, умозрепия которых дошли до нас, занимались рассмотрением идей числа и непрерывной величины, пространства и времени, материи и движения с самобытной силой мысли, которую, кажется, никогда не удалось превзойти. Однако их действительные познания и их научный опыт по необходимости были ограничены, потому что в те времена накопление человеческих знаний только что началось. Вероятно, первые точные представления о количестве были основаны на рассмотрении чисел. На практике конкретные количества измеряют и вычисляют при помощи чисел. Но число не непрерывно. Мы переходим от одного числа к следующему скачком. С другой стороны, величины, с которыми мы встречаемся в геометрии, по существу своему непрерывны. Попытка приложения численных методов к сравнению геометрических количеств повела к учению о несоизмеримых и к учению о бесконечной делимости пространства. Между тем те же самые соображения ко времени не прилагались, так что в эпоху Зенона Элейца время все еще рассматривали как состоящее из конечного числа «моментов», и вместе с тем признавалось, что пространство делимо беспредельно. В таком положении было дело, когда Зенон выставил знаменитые аргументы в опровержение возможности движения, образчиком которого может служить софизм об Ахиллесе и черепахе, и, повидимому, дело оставалось в таком положении, до той поры, когда Аристотель показал, что и время делимо беспредельно, совершенно в том же смысле, как и пространство. О медленности, с какой развиваются научные идеи, можно судить по тому факту, что Бэйль в этом положении Аристотеля не признавал никакой силы, и продолжал изумляться парадоксу Зенона (Словарь Бэйля, ст. «Зенон» [34]). Таким образом, истинный научный прогресс веками шел к признанию бесконечной делимости пространства и времени.

Легко было попытаться приложить подобные аргументы и к материи. Если материя протяженна и наполняет пространство, то та же самая умственная операция, посредством которой мы познаем делимость пространства,

может быть приложена, по крайней мере в воображении, и к материи, занимающей пространство. С этой точки зрения атомистическое учение можно рассматривать как наследие старого способа пути представления величины посредством чисел, и противоположное учение о бесконечной делимости материи может показаться на время более научным. С другой стороны, атомисты придерживаются строгого различия между материей и пространством. Атомы, говорят они, не заполняют вселенной; между ними находятся пустые пространства. Если бы было не так, повествует Лукреций, то не могло бы быть и движения, ибо атом, который уступает дорогу, должен же иметь какое-либо свободное место, где бы он мог двигаться.

«Не существуй пустота — невозможно бы было движение  
 Всяких вещей, потому что телам постоянно присуще  
 Возле себя все теснить и оказывать сопротивление;  
 Не в состоянии были б тела и вперед подвигаться,  
 Так как тела, к ним ближайšie, не уступали бы места».

„О природе вещей“, I, 335.

Противоположная школа, как это всегда бывает в истории, придерживается мнения, что пустоты нет, что всякая часть пространства наполнена материей, что вся вселенная заполнена и что всякое движение подобно движению рыбы в воде, которая расступается впереди рыбы, потому что рыба оставляет для нее место за собой.

«Так: говорят, что лоснящимся рыбам вода поддается  
 И уступает дорогу, которую вновь наполняет  
 Благой после того, как те рыбы оставили место».

I, 373

В новое время Декарт утверждает, что как сущность материи состоит в том, что она протяженна в длину, ширину и глубину, так сущность протяжения состоит в том, что оно заполняется материей, ибо протяжение не может быть протяжением ничего.

«Поэтому, если спросят, что случится, когда бог устранил тело, содержащееся в данном сосуде, и не допустит никакое другое тело проникнуть на покинутое место, то на такой вопрос должно ответить: в таком случае стороны сосуда сомкнутся. Ведь, когда между двумя телами ничего не пролегает, то они необходимо касаются друг друга, и явно нелепо, чтобы тела были отделены

друг от друга, т. е. между ними как бы имелось расстояние и, в то же время, это расстояние было бы «ничто»: поэтому всякое расстояние есть модус протяжения и не может существовать без протяженной субстанции».

„НАЧАЛА“, II, 18.

Отождествление протяжения и субстанции проходит через все творения Декарта и составляет одну из основ системы Спинозы. Сообразно этому учению, Декарт отрицал существование атомов как частей материи, которая по природе своей неделима. Однако, повидимому, он допускал, что божество могло сделать некоторые частицы материи неделимыми в том смысле, что никакое существо не могло бы их разделить. Но эти частицы все-таки делимы по своей природе, ибо божество не может умалить своего собственного могущества и, следовательно, должно обладать в себе силой к разделению их. С другой стороны, Лейбниц смотрел на свои монады как на последние элементы всего существующего.

Итак, есть два способа представлять себе строение тел, и у обоих были сторонники и в древнее и в новое время. Они соответствуют двум способам рассмотрения количества — арифметическому и геометрическому. Для атомиста верно оценить количество материи в теле — это сосчитать, сколько в нем атомов. Пустые промежутки между атомами считаются за ничто. Для тех, кто отождествляет материю с пространством, объем пространства, занимаемого телом, только и может служить мерой количества материи в нем.

Из различных форм атомистической теории теория Босковича может быть приведена как пример чистой монадологии. Согласно Босковичу, материя составлена из атомов. Каждый атом есть неделимая точка, имеющая положение в пространстве, способная к движению по непрерывному пути и обладающая известной массой, вследствие чего потребно известное количество силы, чтобы произвести данное изменение движения. Сверх того, атом наделен потенциальной силой, т. е. всякие два атома притягивают или отталкивают друг друга с силой, зависящей от их взаимного расстояния. Закон этой силы для всякого расстояния, большего, скажем, тысячной доли дюйма, есть притяжение, изменяющееся обратно пропорционально квадрату расстояния. Для меньших



расстояний сила эта есть притяжение на одном расстоянии и отталкивание на другом, сообразно некоторым еще не открытым законам. Сам Боскович, во избежание возможности, чтобы когда-либо два атома могли очутиться в одной и той же точке, утверждает, что последняя сила есть отталкивание, беспредельно возрастающее по мере того, как расстояние беспредельно уменьшается, так что два атома никогда не могут совпасть. Однако, это кажется ничем не оправдываемой уступкой обычному мнению, что два тела не могут одновременно занимать одного и того же места. Это мнение выведено из нашего опыта о поведении тел заметных размеров, но у нас нет опытных доказательств совершенной невозможности совпадения двух атомов. Когда, например, кислород и водород, соединяясь, образуют воду, у нас нет экспериментального доказательства того, что молекула кислорода не находится в одном и том же месте с двумя молекулами водорода. Есть люди, которые не могут освободиться от мнения, что всякая материя протяженна в длину, ширину и глубину. Это — предрассудок одного и того же рода с предыдущим, вытекающий из нашего опыта над телами, состоящими из безмерного множества атомов. Система атомов, согласно Босковичу, занимает определенное место в пространстве благодаря силам, действующим между атомами, из которых слагается система, и некоторыми другими атомами, находящимися возле нее. Никакая другая система атомов не может занимать той же самой области в пространстве в то же самое время, потому что, прежде чем это могло бы случиться, взаимодействие атомов произвело бы между обеими системами отталкивание, которого никакая сила, находящаяся в нашем распоряжении, не могла бы преодолеть. Так, толпа солдат, снабженных огнестрельным оружием, может занимать большое пространство, не допуская неприятельской армии, хотя бы пространство, занимаемое их телами, и было очень невелико. Так объяснял Боскович видимое протяжение тел, состоящих из атомов, из которых каждый лишен протяжения. Согласно теории Босковича, всякое действие между телами есть действие на расстоянии. Такой вещи, как действительное соприкосновение двух тел, в природе не существует. Когда на обыденном языке говорят, что два тела соприкасаются, то нужно разуметь, что они так близки, что отталкивание между

ближайшими парами атомов, принадлежащих обоим телам, весьма велико.

Следовательно, по теории Босковича, атом имеет непрерывное существование во времени и в пространстве. В каждое мгновение он находится в некоторой точке пространства, и не более как в одном месте в одно и то же время. Он переходит из одного места в другое по непрерывному пути. Он имеет определенную массу, которая неспособна ни к увеличению, ни к уменьшению. Атомы одарены способностью действовать друг на друга притягательно либо отталкивающе, причем величина силы зависит от расстояния между ними. С другой стороны, сам атом не имеет частей или размеров. По геометрической своей форме — это просто геометрическая точка. Протяженности в пространстве он не имеет. Он не имеет так называемого свойства непроницаемости, ибо два атома могут существовать в одном и том же месте. Это учение мы можем рассматривать, как одно из крайних мнений в ряду всех разнообразных взглядов на строение тел.

Противоположная крайность — мнение Анаксагора: теория, согласно которой тела, кажущиеся однородными и непрерывными, таковы и в действительности, — теория, в своей крайней форме, неспособная к развитию. Объяснить свойства какого-либо вещества на основании этой теории невозможно. Мы можем только принять наблюдаемые свойства такого вещества как конечный факт. Однако в научном прогрессе есть известный этап, где соответствующий этой теории метод оказал услугу. В гидростатике, например, мы определяем жидкость посредством одного из ее известных свойств и, исходя из этого определения, делаем систему выводов, которая и образует науку гидростатики. Этим путем гидростатика может быть построена на основе, взятой из опыта, без учета строения жидкости, т. е. независимо от того, молекулярное оно или непрерывное. Подобным образом, после более или менее остроумных попыток французских математиков построить теорию упруго-твердых тел, исходя из предположения, что они состоят из атомов, находящихся в равновесии под действием их взаимных сил, Стокс и другие показали, что все результаты этой гипотезы, по крайней мере, поскольку они согласны с фактами, можно вывести из постулата, что существуют упру-

тие тела, и из гипотезы, что мельчайшие части, на которые мы можем разделить их, приблизительно однородны. Таким путем принцип непрерывности, составляющий основание метода флюксий и всей современной математики, можно прилагать к анализу задач, связанных с материальными телами, предполагая — чтобы приложить к телам этот анализ, — что они однородны. Все, что нужно, чтобы сделать эти результаты приложимыми к случаю реальных тел, сводится к тому, чтобы мельчайшие части вещества, которые мы принимаем в расчет, были приблизительно одного рода. Так, если железнодорожному подрядчику нужно провести тоннель сквозь холм, состоящий из гравия, и если один кубический ярд гравия настолько схож с другим кубическим ядром гравия, что строитель может принять их одинаковыми, то, делая расчет работ, потребных для удаления гравия из тоннеля, он, не боясь ошибиться, может делать свои выкладки так, как если бы гравий был веществом непрерывным. Но если сквозь гравий придется прокладывать путь червяку, то для него далеко не все равно, толкнуться ли прямо в кусок гравия или направить свой путь по промежуткам между кусками гравия; для него, следовательно, гравий никоим образом не есть вещество однородное и непрерывное.

Таким же точно образом теория, что некоторое вещество, скажем, вода однородно и непрерывно, может быть хорошей рабочей теорией до известного пункта, но может оказаться несостоятельной, когда придется иметь дело с количествами, настолько малыми или настолько тонкими, что неоднородность их структуры рельефно выступает. Совместима ли эта неоднородность структуры или нет с однородностью и непрерывностью вещества — вопрос другого рода.

Крайняя форма учения о непрерывности выдвинута Декартом, который утверждает, что вся вселенная одинаково наполнена материей, что вся эта материя одного рода и что единственное существенное свойство ее — свойство протяженности. Все свойства, наблюдаемые нами в материи, он сводит к подвижности ее частей между другими и, таким образом, к возможности все изменения, которые мы можем наблюдать, выводить из движения ее частей (*Principia*, II, 23) [35]. Собственные попытки Декарта вывести различные свойства и действия

тел таким путем не имеют большой ценности. Потребовалось больше столетия для изобретения методов исследования условий движения систем тел, подобных тем, какие воображал себе Декарт. Но гидродинамическое открытие Гельмгольца, что вихрь в совершенной жидкости обладает некоторыми неразрушимыми свойствами, приложено было сэром В. Томсоном к созданию теории вихревых атомов в однородной, несжимаемой и лишенной трения жидкости, и к этой теории мы в свое время вернемся.

### ОЧЕРК СОВРЕМЕННОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И, В ЧАСТНОСТИ, МОЛЕКУЛЯРНОЙ ТЕОРИИ ГАЗОВ [36]

Мы начнем с допущения, что тела составлены из частей, что каждая из этих частей способна к движению, и что эти части действуют одна на другую способом, совместимым с принципом сохранения энергии. Эти допущения оправдываются фактами, что тела можно делить на малые части и что все тела, с которыми нам приходится иметь дело, суть консервативные системы, и что этого не было бы, если бы и их части не были также системами консервативными.

Мы можем допустить также, что эти малые части находятся в движении. Это — самое общее допущение, какое только можно сделать, ибо оно включает как частный случай теорию о том, что малые части находятся в покое. Явления диффузии газов и жидкостей одних в другие показывают, что возможно движение малейших частей тела, нами не замечаемое.

Мы не делаем никаких предположений относительно природы этих малых частей — все ли они одинаковой величины или нет. Мы даже не приписываем им ни протяжения, ни формы. Каждую из них нужно измерять ее массой, и каждые две из них, подобно видимым телам, имеют способность действовать одна на другую, поскольку они достаточно близки между собой, чтобы это могло проявляться. Свойства тела или среды определяются конфигурацией и движением их мельчайших частей.

Первым шагом в нашем исследовании будет определение количества движения, существующего в совокупности этих малых частей, независимо от видимого движе-

ния среды как целого. Для этой цели удобно воспользоваться одной общей теоремой динамики, данной Клаузиусом.

Когда движение материальной системы таково, что среднее, по времени, значение количества  $\sum (mv^2)$  остается постоянным, то говорят, что состояние системы есть состояние стационарного движения. Когда движение материальной системы таково, что сумма моментов инерции системы около трех перпендикулярных между собой осей, проходящих через центр ее массы, уклоняется от постоянного значения лишь на малые количества, то говорят, что система находится в состоянии стационарного движения.

Кинетическая энергия частицы есть половина произведения ее массы на квадрат ее скорости, а кинетическая энергия системы есть сумма кинетической энергии всех ее частей.

Когда между двумя точками действует сила притяжения или отталкивания, то половина произведения этой силы на расстояние между двумя точками называется *вириалом* силы. Вириал считается положительным в случае притяжения и отрицательным в случае отталкивания. Вириал системы есть сумма вириалов действующих в ней сил. Когда система находится под действием внешнего напряжения в форме давления стенок сосуда, в котором она заключена, тогда это напряжение внесет количество вириала, равное  $\frac{3}{2} pV$ , где  $p$  есть давление на единицу площади, а  $V$  — объем сосуда.

Теперь теорему Клаузиуса можно выразить так: в материальной системе, находящейся в состоянии стационарного движения, среднее, для известного промежутка времени, значение кинетической энергии равно среднему, для того же промежутка времени, значению вириала. В случае газа, заключенного в сосуде

$$\frac{1}{2} \sum (mv^2) = \frac{3}{2} pV + \frac{1}{2} \sum \sum (Rr),$$

где первая часть означает кинетическую энергию и есть полусумма произведений каждой массы на квадрат среднего значения ее скорости. В первом члене второй части  $p$  есть давление на единицу поверхности сосуда, объем которого равен  $V$ , а второй член этой части выражает

вириал, зависящий от внутренних действий между частями системы. Двойной символ суммирования берется потому, что нужно принимать в расчет каждую пару частиц, между которыми имеет место действие. Теперь мы должны показать, что в газах главная часть давления происходит от движения малых частей среды, а не от отталкивания между ними.

Во-первых, если бы давление газа обуславливалось отталкиванием его частей, то это отталкивание было бы обратно пропорционально расстоянию. В самом деле, рассмотрим кубический сосуд, наполненный газом под давлением  $p$ , и пусть куб расширяется, пока длина каждой стороны не увеличится в  $n$  раз. Согласно закону Бойля, теперь давление на единицу поверхности будет  $\frac{p}{n^3}$ , а так как площадь грани куба теперь в  $n^2$  раз больше, то полное давление на грань куба составляет  $\frac{1}{n}$  первоначальной его величины. Но так как все расширилось симметрично, то расстояние между соответственными частями воздуха теперь в  $n$  раз больше первоначального, а сила в  $n$  раз меньше. Следовательно, сила должна изменяться обратно пропорционально расстоянию.

Но Ньютон показал (Principia, кн. I, предл. 93), что этого закона допустить нельзя, так как при таком допущении действие отдаленных частей среды на частицу было бы больше действия соседних частей. В самом деле, мы пришли бы к заключению, что давление зависит не только от плотности воздуха, но и от формы и размеров сосуда его содержащего, а мы знаем, что это неверно.

Если, с другой стороны, мы допустим, что давление всецело обуславливается движением молекул газа, то интерпретация закона Бойля становится очень простой. Действительно, в этом случае

$$pV = \frac{1}{3} \sum (mv^2).$$

Первая часть есть произведение давления на объем, и по закону Бойля оно постоянно для того же самого количества газа при той же температуре. Вторая часть есть  $\frac{2}{3}$  кинетической энергии системы, и у нас имеются все основания к допущению, что в газах, когда температура

постоянна, кинетическая энергия единицы массы также постоянна. Если мы допустим, что кинетическая энергия единицы массы в данном газе пропорциональна абсолютной температуре, то это уравнение будет выражать закон Шарля и закон Бойля, и можно написать

$$pV = R\theta,$$

где  $\theta$  — температура, считаемая от абсолютного нуля, а  $R$  — постоянная. Тот факт, что это уравнение выражает с значительной точностью связь между объемом, давлением и температурой газа, когда он находится в крайне разреженном состоянии, и что если газ более и более сжимать, то отклонение от этого уравнения становится более и более очевидным, — показывает, что давление газа почти всецело зависит от движения его молекул, когда газ разрежен, и что только тогда, когда плотность газа значительно увеличится, эффект прямого действия между молекулами становится заметным.

Эффект прямого действия молекул друг на друга зависит от числа пар молекул, в данное мгновение достаточно близких друг к другу, чтобы они могли действовать одна на другую. Число таких пар пропорционально квадрату числа молекул в единице объема, т. е. квадрату плотности газа. Следовательно, пока среда настолько разрежена, что на столкновение двух молекул присутствие других не влияет, до тех пор отклонение от закона Бойля будет пропорционально квадрату плотности. Если действие между молекулами всецело отталкивательное, то давление будет больше того, какое указывает закон Бойля. Если оно всецело притягательное, то давление будет меньше того, какое дает закон Бойля. Из опытов Реньо и других оказывается, что давление отстает от закона Бойля, когда плотность газа увеличивается. В случае углекислоты и других легко сжимающихся газов отступление весьма велико. Однако во всех случаях, кроме водорода, давление меньше того, какое дает закон Бойля, и этим доказывается, что вириал всецело зависит от *притягательных* сил, действующих между молекулами.

Другое доказательство, свидетельствующее о природе действия между молекулами, дает опыт д-ра Джауля. Взяв два сосуда, он из одного удалил воздух выкачиванием, а другой наполнил газом под давлением 20 атмосфер; затем оба сосуда он помещал рядом в сосуд с во-

дой, которая постоянно перемешивалась. Замечали, какова температура. Затем сосуды приводили в сообщение, сжатый газ расширялся, занимая двойной объем, и работа расширения, вначале производившая сильное течение газа, вскоре превращалась в теплоту, благодаря внутреннему трению в газе. Когда все приходило в спокойное состояние и к равномерной температуре, температуру снова замечали. В первом опыте Джауля наблюдаемая температура оказалась такой же, как прежде. В дальнейших опытах, которые произведены были Джаулем и В. Томсоном по другому плану, чтобы термический эффект свободного расширения можно было измерить точнее, наблюдалось легкое охлаждение во всех испытанных газах, кроме водорода. Так как температура зависит от скорости движения молекул, то оказывается, что когда газ расширяется, не совершая внешней работы, скорость движения не испытывает значительного изменения, но что в большинстве случаев она слегка уменьшается. Но если молекулы во время удаления их друг от друга действуют одна на другую, то их скорость должна увеличиваться, либо уменьшаться, смотря по тому, будет ли сила отталкивательная или притягательная. Следовательно, из этих опытов со свободным расширением газов, повидимому, следует, что сила взаимодействия между молекулами невелика, но что она всецело притягательная.

Мы, оправдав, таким образом, гипотезу о том, что газ состоит из молекул, находящихся в движении, и что они действуют друг на друга только тогда, когда при встречах бывают весьма тесно сближены, но что во время интервалов между их соударениями, на которые тратится большая часть всего существования молекул, они описывают свободные пути и никакие молекулярные силы между ними не действуют, перейдем теперь к изучению движения такой системы.

Математическое исследование свойств такой системы молекул, находящихся в движении, есть основа молекулярной физики. Клаузиус впервые выразил соотношение между плотностью газа, длиной свободного пути его молекул и расстоянием, на котором они встречаются одна другую. Однако, он допускал, по крайней мере в более ранних своих изысканиях, что скорости всех молекул равны. Характер распределения скоростей впервые был



исследован автором этой статьи, показавшим, что в движущейся системе скорости молекул имеют все значения от нуля до бесконечности, но что число молекул, скорости которых лежат внутри данных пределов, можно выразить формулой, тождественной формуле, которой в теории погрешностей выражается число погрешностей наблюдения, лежащих внутри соответствующих пределов. Доказательство этой теории было превосходно разобрано Больцманом \*, устранившим ее слабые места, которому мы всецело обязаны методом, принимающим во внимание действие внешних сил.

Однако средняя кинетическая энергия молекулы имеет определенное значение, и его легко выразить посредством количеств, входящих в выражение для распределения скоростей. Самый важный результат этого исследования тот, что когда молекулы разного рода находятся в движении и действуют друг на друга, то средняя кинетическая энергия молекулы одинакова, какова бы ни была ее масса, так как молекулы, имеющие большую массу, обладают меньшими средними скоростями. Но при смешении газов их температуры делаются равными. Отсюда мы заключаем, что физическое условие, которым определяется, что температура обоих газов должна быть одинакова, состоит в том, что средние кинетические энергии движения отдельных молекул обоих газов равны. Этот результат имеет огромное значение в теории теплоты, хотя мы и не можем еще установить какой-нибудь подобный результат для тел в жидком или твердом состоянии.

Далее, мы знаем, что в случае, когда полное давление среды обуславливается движением ее молекул, давление на единицу площади численно равно  $\frac{2}{3}$  кинетической энергии единицы объема. Отсюда, если равные объемы двух газов находятся под одинаковым давлением, то кинетическая энергия в каждом одна и та же. Точно так же, если они находятся при одинаковой температуре, то средняя кинетическая энергия каждой молекулы в каждом газе одна и та же. Следовательно, если равные объемы двух газов находятся при одинаковых температурах и давлениях, то число молекул в каждом одно и то же, и, следовательно, массы обоих родов молекул нахо-

---

\* *Sitzungsberichte der K. K. Akad.*, Wien, 8 Oct., 1869.

дятся в таком же точно отношении, как плотности газов, которым они принадлежат.

В это положение химики верили со времен Гей-Люссака, который впервые установил, что веса химических эквивалентов различных веществ пропорциональны плотностям этих веществ в газообразном состоянии. Но определение слова молекула, как его понимал Гей-Люссак, устанавливая свой закон, никоим образом не тождественно с определением этого слова в кинетической теории газов. Химики убеждаются опытом, каковы отношения масс различных веществ в соединении. Отсюда они выводят химические эквиваленты различных веществ, взяв за единицу химический эквивалент какого-либо одного вещества, скажем, водорода. Свои доводы, на которые они опираются, они заимствуют исключительно из химических соединений. Таким образом, чтобы дать себе отчет в фактах, являемых соединениями, допускается, что причина, почему вещества соединяются в определенных отношениях, заключается в том, что молекулы веществ находятся в отношении своих химических эквивалентов и что то, что мы называем соединением, есть некоторое действие, имеющее место, когда молекула одного вещества соединяется с молекулой другого.

Этот способ рассуждения, если представить его в надлежащей форме и подкрепить надлежащими доказательствами, в высшей степени убедителен. Но это рассуждение чисто химическое; это — не динамическое рассуждение. Оно основано на химическом опыте, а не на законах движения.

Наше определение молекулы чисто динамическое. Молекула есть небольшая часть вещества, движущаяся, как нечто целое, так что ее части, если только у ней есть части, не отделяются одна от другой во время теплового движения газа. Выводы кинетической теории должны, следовательно, показать нам, каковы относительные массы молекул, рассматриваемых как движущиеся тела. Согласие этих выводов с дедукциями химиков из явлений соединения значительно усиливает свидетельства в пользу действительного существования и движения молекул газа.

Другое подтверждение теории молекул выводится из опытов Дюлонга и Пти над удельной теплотой газов, от-

куда они вывели носящий их имя закон, утверждающий, что удельные теплоемкости равных весов газов обратно пропорциональны их атомным весам или, другими словами, что теплоемкости химических эквивалентов различных газов равны. Мы видели, что температура определяется кинетической энергией движения каждой молекулы. Молекула обладает также определенным количеством энергии внутреннего движения, вращательного либо колебательного, но гипотеза Клаузиуса, что среднее значение внутренней энергии всегда находится в постоянной для каждого газа пропорции к энергии движения, кажется в высшей степени вероятной и согласной с опытом. Полная кинетическая энергия, следовательно, равна энергии движения, помноженной на некоторый множитель. Таким образом энергия, сообщенная газу нагреванием его, распределяется в известной пропорции между энергией поступательного движения и энергией внутреннего движения каждой молекулы. При данном повышении температуры энергия движения, скажем, миллиона молекул увеличится на одно и то же количество, каков бы ни был газ. Теплота, израсходованная на повышение температуры, измеряется увеличением всей кинетической энергии. Следовательно, отношение теплоемкостей равного числа молекул различных газов равно отношению множителей, на которые нужно помножить энергию движения, чтобы получить полную энергию. Так как этот множитель оказывается приблизительно одинаковым для всех газов той же самой атомности, то закон Дюлонга и Пти верен для всех таких газов.

Другой результат этого исследования имеет большое значение по отношению к некоторым теориям\*, допускающим существование эфиров или разреженных сред, состоящих из молекул, гораздо более мелких, нежели молекулы обыкновенных газов. Согласно с нашим выводом, такая среда — не что иное, как газ. Если допустить, что молекулы так малы, что они могут проникать в промежутки между молекулами твердых веществ, как, например, стекло, то так называемая пустота была бы наполнена этим разреженным газом при наблюдаемой

---

\* См. Gustaw Hansemann, Die Atome und ihre Bewegungen, 1871.

температуре и при любом давлении, каково бы оно ни было, эфирной среды в пространстве. Следовательно, удельная теплота среды в так называемой пустоте будет равна удельной теплоте того же объема некоторого другого газа при той же температуре и давлении. Но цель допущения этого молекулярного эфира в этих теориях та, чтобы он действовал на тела своим давлением, и с этой целью допускают, что это давление вообще весьма велико. Следовательно, согласно этим теориям, мы должны притти к заключению, что удельная теплота так называемого вакуума весьма значительна в сравнении с удельной теплотой количества воздуха, наполняющего то же самое пространство.

Теперь мы уже значительно ближе подошли к полной молекулярной теории газов. Мы знаем среднюю скорость молекул каждого газа в метрах в секунду, и знаем относительные массы молекул различных газов. Мы знаем также, что молекулы одного и того же газа все имеют одинаковую массу. Если бы это было не так, то посредством метода диализа, каким пользовался, например, Грэхем, мы могли бы отделить молекулы, обладающие меньшей массой, от молекул с большей массой, так как они проходили бы чрез пористые вещества с большей скоростью. Таким образом мы могли бы любой газ, скажем, водород, разделить на две части, различающиеся плотностями и другими физическими свойствами, различающиеся атомными весами, и вероятно, и другими химическими свойствами. Но так как до сих пор ни одному химику еще не удалось получить образчик водорода, отличающийся в этом отношении от других образчиков, то мы и заключаем, что все молекулы водорода имеют в значительной степени почти одинаковую массу, а не только, что их средняя масса есть статистическое постоянное, обладающее значительной устойчивостью.

Но до сих пор мы еще не рассматривали явлений, которые позволили бы нам сделать оценку действительной массы и размеров молекулы. Клаузиусу мы обязаны первыми определенными представлениями о свободном пути молекулы и о среднем расстоянии, пройденном молекулой от одной встречи до другой. Мы видели, что число столкновений молекулы в данное время пропорционально скорости, числу молекул в единице объема

и квадрату расстояния между центрами двух молекул, когда они, действуя одна на другую, сталкиваются. Отсюда следует, что если расстояние центров назвать диаметром молекулы, а объем шара, имеющего этот диаметр, объемом молекулы и сумму объемов всех молекул — молекулярным объемом газа, то диаметр молекулы будет выражаться некоторым кратным количества, получаемого уменьшением свободного пути в отношении молекулярного объема к полному объему газа. Численное значение этого кратного немного изменяется, сообразно тому, какую гипотезу мы принимаем относительно закона распределения скоростей. Оно зависит также от определения столкновения. Если рассматривать молекулы как упругие сферы, то мы знаем, что подразумевается под их встречами, но если они действуют друг на друга на расстоянии с притягательной или отталкивательной силой конечной величины, то расстояние между центрами во время встречи будет изменяться и уже не представит собой определенного количества. Тем не менее, вышеприведенное положение Клаузиуса — если мы знаем длину среднего пути и молекулярный объем газа — дает нам возможность сделать довольно точную оценку диаметра сферы напряженного действия молекулы, а следовательно и числа молекул в единице объема и действительной массы каждой молекулы. Чтобы закончить исследование, нам нужно, поэтому, определить средний путь и молекулярный объем. Первая численная оценка среднего пути молекулы газа была сделана автором этой статьи на основании данных, вытекающих из исследований внутреннего трения воздуха. Три явления зависят от длины свободного пути молекул газа. Очевидно, что чем больше свободный путь, тем быстрее молекула будет двигаться из одной части среды в другую, потому что направление ее движения не будет так часто изменяться встречами с другими молекулами. Если в различных частях среды будут находиться молекулы разного рода, то их движение из одной части среды в другую можно легко проследить, анализируя части среды, взятые из различных мест. Быстрота диффузии, найденная таким образом, дает один метод для оценки длины свободного пути молекулы. Этого рода диффузия происходит не только между молекулами различных газов, но и между молекулами одного и того же газа, только

в последнем случае результатов диффузии нельзя проследить анализом. Но диффундирующие молекулы несут с собой на протяжении свободных путей свое количество движения и энергию, которыми они обладают в данный момент. Диффузия количества движения стремится уравнивать видимое движение различных частей среды и составляет явление, называемое внутренним трением или вязкостью газа. Диффузия энергии стремится уравнивать температуру различных частей среды и составляет явление теплопроводности газов.

Эти три явления — диффузия материи, движения и теплоты в газах — были исследованы экспериментально, диффузия материи — Грэхемом и Лопшидтом, диффузия движения — Оскаром Мейером и Кларк-Максвеллом, а диффузия теплоты — Стефаном.

Эти троякого рода опыты дают результаты, которые при настоящем несовершенном состоянии теории и при крайней трудности самых опытов, особенно с теплопроводностью, можно сказать, еще довольно сносно согласуются друг с другом. При атмосферном давлении и при температуре таяния льда средний путь молекулы водорода составляет около одной десятитысячной миллиметра, или около  $\frac{1}{5}$  длины волны зеленого света. Средние пути молекул других газов короче.

Определение молекулярного объема газа пока еще весьма неточно. Самый лучший способ — это сжатие газа до жидкого состояния. Ввиду большого сопротивления жидкостей сжиманию кажется вероятным, что их молекулы находятся почти в таких одна от другой расстояниях, в каких две молекулы того же вещества в газообразной форме действуют друг на друга во время встречи. Если это так, то молекулярный объем газа несколько меньше объема жидкости, в которую он сгущается под давлением, или, другими словами, плотность молекул несколько больше плотности жидкости.

Нам известны относительные веса различных молекул с большой точностью, а зная средние пути, мы можем приблизительно вычислить их сравнительные диаметры. Отсюда можно вывести относительные плотности различного рода молекул. Вычисленные таким образом относительные плотности Лоренц Мейер сравнивал с наблюдаемыми плотностями жидкостей, в которые эти газы сгущаются, и нашел между ними замечательное соот-

ветствие. Однако, что касается соотношения между молекулами жидкости и молекулами ее пара, то на этот счет существует большое сомнение, так что пока не будет сделано большее число сравнений, до тех пор слишком полагаться на вычисленные плотности молекул нельзя. Другой и, может быть, более тонкий метод принят ван дер Ваальсом, который выводит молекулярный объем из отклонений давления от закона Бойля при сжатии газа.

Первое численное определение диаметра молекулы было сделано Лопшмидтом в 1865 г. на основании средних путей и молекулярного объема. Независимо от него и от других, Стони в 1868 г. и сэр В. Томсон в 1870 г. обнародовали результаты подобного же рода, причем числа Томсона получены были не только этим путем, но и из соображений, основанных на толщине мыльных пленок и на электрическом действии между цинком и медью.

Диаметр и масса молекул, полученные на основании этих методов, оказались вообще весьма малы, но никоим образом не бесконечно малы. -Около двух миллионов молекул водорода, положенных в ряд, заняли бы миллиметр, и около 200 миллионов миллионов миллионов их весили бы один миллиграмм. Числа эти нужно рассматривать как весьма грубые приближения; они, по мере усовершенствования науки, будут исправлены более разнообразными и точными опытами, но основной результат, который, повидимому, установлен, есть то, что определение массы молекулы есть законный объект научного исследования и что эта масса никоим образом не есть величина неизмеримо малая.

Лопшмидт иллюстрирует эти молекулярные измерения сравнением с малейшими величинами, видимыми посредством микроскопа. Ноберт, говорит он, может начертить 4000 линий на протяжении миллиметра. Промежутки между этими линиями видны в хороший микроскоп. Куб, сторона которого равна  $\frac{1}{4000}$  миллиметра, можно считать за наименьший видимый объект для современного наблюдателя. Такой куб будет содержать от 60 до 100 миллионов молекул кислорода или азота; а так как молекулы органической материи содержат в среднем около 50 более элементарных атомов, то можно допустить, что наименьшая органическая частица, видимая

под микроскопом, содержит около двух миллионов молекул органической материи. По крайней мере половина каждого живого организма состоит из воды, так что мельчайшее живое существо, видимое под микроскопом, не должно содержать более миллиона органических молекул. Можно предположить, что некоторый крайне простой организм составлен не более как из миллиона подобных молекул. Непостижимо, как мало молекул нужно для образования организма, снабженного целой системой специализированных органов.

Таким образом молекулярная физика ставит нас лицом к лицу с физиологическими теориями. Она не позволяет физиологу представить себе, каким образом структурные детали беспредельно малых размеров могут дать объяснение бесконечному разнообразию свойств и функций самых малых организмов.

Микроскопический зародыш, как мы знаем, способен развиться в животное с высокой организацией. Другой зародыш, также микроскопический, становится, когда разовьется, животным совершенно иного рода. Но эти бесконечные по числу признаки, которыми одно животное отличается от другого, обуславливаются ли, каждое, некоторым различием в структуре соответствующих зародышей? Если даже и допустить это как вещь возможную, то сторонники пангенезиса скажут нам, что мы должны допустить еще большее чудо. Ведь, согласно этой теории, микроскопический зародыш не есть лишь индивидуальное тело, он — представитель, содержащий члены, собранные со всех ветвей широко раскинувшегося родословного дерева, и числа этих членов вполне достаточно не только для того, чтобы передать наследственные особенности каждого органа тела и каждой привычки животного от рождения до смерти, но также и для того, чтобы дать возможность запасу скрытых задатков переходить в недейтельном состоянии от зародыша к зародышу до тех пор, пока, наконец, особенности предков, им представляемые, не возродятся вновь в каком-нибудь отдаленном потомке.

Некоторые представители этой теории наследственности пытались избежать трудности совмещения целого мира чудес в таком малом и в таком лишенном всякой видимой структуры теле, как зародыш, пустив в ход



фразу о бесструктурных зародышах \*. Но одна материальная система может отличаться от другой только конфигурацией и движением, которые она имеет в данный момент. Поэтому объяснять различия функций и развития зародыша без допущения различий структуры — то же, что допускать, что свойства зародыша не суть свойства чисто материальной системы.

Что касается природы и движения молекул, которыми мы до сих пор занимались, то доказательства были заимствованы из опытов над газами, причем мельчайшая ощутимая часть таких сред содержит миллионы миллионов молекул. Постоянство и однообразие свойств газовой среды есть прямой результат невообразимой беспорядочности теплового движения ее молекул. Всякая причина, которая могла бы внести правильность в тепловое движение и заставить молекулы совершать их движение упорядоченно и методически, могла бы задержать или даже обратить это стремление к диффузии материи, движения и энергии, — стремление, представляющее собой одно из самых неизменных явлений природы, которому Томсон дал название рассеяние энергии.

Так, например, когда звуковая волна проходит через массу воздуха, то ее движение имеет известный определенный характер и, предоставленное самому себе, все это движение распространяется на другие массы воздуха, причем звуковая волна идет дальше и дальше, оставляя воздух за собой в покое. С другой стороны, теплота никогда не исходит из горячего тела без того, чтобы не перейти к более холодному телу, так что энергия звуковой волны или всякая иная форма энергии, распространяющаяся так, что из одной части среды целиком вся переходит в другую, не может быть названа теплотой.

Теперь мы должны обратить наше внимание на класс молекулярных движений, настолько же замечательных своей правильностью, насколько тепловые движения замечательны своей неправильностью.

Посредством спектроскопа найдено, что свет, испускаемый раскаленными телами, бывает различен, смотря по состоянию их сгущения. Когда они находятся в состоянии крайнего разрежения, спектр их света состоит из

---

\* См. F. Galton, On Blood Relationship, *Proc. Roy. Soc.*, June 13, 1882.

ряда резко отграниченных светлых линий. Когда вещество становится плотнее, спектр стремится сделаться непрерывным либо так, что линии становятся шире и расплывчатее, либо так, что между ними появляются новые линии и полосы, пока спектр во всю длину не утратит всех своих характерных линий и не сделается тождествен со спектром твердых тел, нагретых до той же температуры.

Следовательно, колеблющиеся системы, служащие источником испускаемого света, должны колебаться различно в том и другом случаях. Когда спектр состоит из нескольких ярких линий, движение системы должно слагаться из соответствующего числа типов гармонического колебания. Чтобы могла появиться резко определенная яркая линия, колебательное движение, ее производящее, должно с совершенной правильностью сохраняться в течение нескольких сотен или тысяч колебаний. Если движение каждого из колеблющихся тел сохраняется лишь в продолжение малого числа колебаний, то как бы правильны ни были колебания каждого тела, пока они длятся, все-таки при анализе призмой мы найдем, что результирующее возмущение светоносной среды содержит, кроме части, производимой правильными колебаниями, и другие движения, зависящие от того, что каждое отдельное колеблющееся тело приходит в движение и прекращает свои колебания, и это обнаруживается в виде расплывчатого свечения, простирающегося на всю длину спектра. Следовательно, спектр ярких линий показывает, что колеблющиеся тела, придя в движение, некоторое время колеблются в соответствии с условиями их внутреннего строения, прежде чем их движение будет возмущено внешними силами.

Следовательно, как кажется, спектроскоп свидетельствует, что каждая молекула разреженного газа в течение большей части своего существования находится в таком удалении от всех остальных молекул, что, ничем не возмущаемая, совершает свои колебания правильным образом. К такому же заключению мы пришли и ранее, исходя из соображений другого рода.

Мы можем, следовательно, рассматривать яркие линии спектра газа как результат колебаний, совершаемых молекулами в то время, как они описывают свободные пути. Когда две молекулы после соударения отделяются

одна от другой, то каждая из них находится в состоянии колебания, происходящего от неодинакового действия на различные части этой молекулы во время соударения. Поэтому, хотя центр массы молекулы, описывающей свободный путь, движется с равномерной скоростью, части молекулы имеют колебательное движение по отношению к центру массы всей молекулы, и испускаемый свет и есть это возмущение светоносной среды, сообщаемое ей колеблющимися молекулами [19].

Колеблющуюся молекулу можно сравнить с колокольчиком. Если ударить в колокольчик, он придет в движение. Это движение складывается из гармонических колебаний с несколькими периодами, и каждое из них действует на воздух, производя тоны различной высоты. Когда колокольчик сообщает свое движение воздуху, эти колебания необходимо затухают, одни скорее, другие медленнее, так что звук содержит меньшее и меньшее число нот, и, наконец, будет слышаться только основной тон колокольчика \*. Если мы предположим, что у нас имеется множество колокольчиков, совершенно подобных друг другу, и что мы ударяем в них, сперва в один, потом в другой, без всякой правильности, но так, однако, что в среднем сколько колокольчиков приведем в движение в одну секунду, столько же и в другую, и притом еще так, что в среднем в каждый колокольчик вторично будем ударять не прежде, чем он перестанет звучать, то в результате мы услышим непрерывный звук, складывающийся из звуков, издаваемых колокольчиками во всех состояниях колебания, начиная от удара в колокольчик и кончая финальным звучанием затухающего основного тона.

Пусть теперь колокольчиков будет меньше, число же ударов в секунду пусть будет такое же, как и прежде. И пусть теперь каждый из колокольчиков будет получать удар раньше, чем он перестанет колебаться, так что в результирующем звуке будет слышаться меньше основного тона и больше начального звона. Пусть наконец, останется один колокольчик, который, беспре-

---

\* Часть энергии движения, в случае колокольчика, рассеивается в веществе колокольчика, вследствие вязкости металла, и принимает форму теплоты, но в целях иллюстрации предмета нет необходимости принимать в расчет эту причину затухания колебаний.

рывно получая несчетное число ударов, будет издавать звук, представляющий собой простой шум, в котором уже нельзя различить музыкального тона.

В случае газа мы имеем бесчисленное множество молекул, и каждая из них, приходя в колебание при встрече с другой молекулой, продолжает колебаться, когда описывает свой свободный путь. Молекула есть материальная система, части которой связаны некоторым определенным образом, и из того факта, что яркие линии испускаемого света всегда имеют одну и ту же длину волны, мы заключаем, что соответствующие этим линиям колебания всегда имеют один и тот же период, и, следовательно, сила, стремящаяся вернуть некоторую часть молекулы в ее положение равновесия в молекуле, должна быть пропорциональна ее смещению из этого положения.

Математическая теория движения такой системы показывает, что все движения можно разложить на следующие части, которые можно рассматривать как друг от друга независимые: во-первых, центр массы системы движется равномерно по прямой линии. Скорость этого движения может иметь какую угодно величину. Во-вторых, здесь может иметь место движение вращательное, причем угловой момент системы вокруг центра массы, во все время свободного пути, остается постоянным по величине и по направлению. Этот угловой момент может иметь какую угодно величину, а ось его может иметь какое угодно направление. В-третьих, остальное движение складывается из нескольких составляющих движений, каждое из которых есть гармоническое колебание данного типа. В колебаниях каждого типа период колебания определяется природой системы и для одной и той же системы остается неизменным. Итак, относительное количество движения в различных частях системы определено для каждого типа, но абсолютное количество движения и фаза колебания каждого типа определяются особыми обстоятельствами последнего столкновения и могут как угодно изменяться от одной встречи до другой.

Значения периода колебаний различного типа даются корнями некоторого уравнения, форма которого зависит от природы связей системы. В некоторых исключительно простых случаях, как, например, в случае однородной

нити, натянутой между двумя неподвижными точками, корни уравнения связаны простым арифметическим соотношением, и если внутреннее строение молекулы отличается подобной же простотой, то можно ожидать, что в спектре молекулы мы найдем ряд ярких линий, длины волны которых находятся в простых арифметических отношениях.

Но если предположить, что молекула устроена по некоторому другому типу, если, например, это будет упругий шар, если она состоит из конечного числа атомов, которые удерживаются на своих местах притягательными и отталкивательными силами, то корни уравнения уже не будут связаны между собой простыми соотношениями, но надлежащим изменением связей системы можно каждый из них заставить изменяться независимо от другого. Следовательно, мы не имеем никакого права ожидать какого-либо определенного численного соотношения между длинами волн ярких линий газа.

Итак, яркие линии спектра раскаленного газа обязаны своим происхождением гармоническим колебаниям молекул газа в то время, когда они проходят свои свободные пути. Единственный эффект движения центра массы молекулы — это изменение времени колебания света, получаемого неподвижным наблюдателем. Когда молекула летит по направлению к наблюдателю, то каждый последовательный импульс должен пройти более короткое расстояние, прежде чем достигнет глаза наблюдателя, и, следовательно, будет казаться, что импульсы быстрее следуют один за другим, чем если бы молекула оставалась в покое, и обратное будет в случае, когда молекула удаляется от наблюдателя. Соответствующая колебанию яркая линия будет, следовательно, смещена в спектре в направлении к синему концу, когда молекула приближается, и к красному концу, когда она удаляется от наблюдателя. Наблюдая смещения некоторых линий в спектре, д-р Гюггинс и другие измерили скорость приближения или удаления некоторых звезд по отношению к земле, а г. Локьер определил скорость движения вихрей на солнце. Лорд Рэлей указал на то, что согласно динамической теории газов молекулы движутся вперед и назад с такой большой скоростью, что как бы ни была узка и резко очерчена какая-либо из ярких линий, производимых отдельной молекулой, смещение этой

линии к синему концу при приближении молекулы и к красному при удалении молекулы, вызовет до некоторой степени расширение и расплывчатость спектральной линии, так что резкому отграничению линий газа положен известный предел. Расширение линий, вызываемое этой причиной, пропорционально скорости движения молекул. Оно будет наибольшее для молекул наименьшей массы, каковы молекулы водорода, и возрастает с температурой. Следовательно, измерение ширины линий водорода, например,  $C$  или  $F$  в спектре солнечных протуберанцев, может дать доказательства, что температура Солнца не превышает известной величины.

### О ТЕОРИИ ВИХРЕВЫХ АТОМОВ

Уравнения, служащие основанием математической теории движения жидкостей, были полностью установлены Лагранжем и великими математиками конца последнего столетия, но число решений случаев движения жидкостей, приведенных в законченную форму, все еще оставалось невелико, и почти все они относились к тому частному типу движения жидкости, который с тех пор получил наименование безвихревого типа. В самом деле, Лагранж показал, что идеальная жидкость, если ее движение в некоторое время есть движение безвихревое, будет продолжать всегда двигаться безвихревым образом, так что, если допустить, что жидкость была в некоторый момент в покое, то вычисление ее следующего затем движения может быть значительно упрощено.

На долю Гельмгольца выпало указать весьма замечательные свойства вихревого движения в однородной несжимаемой жидкости, лишенной всякой вязкости. Прежде всего мы должны определить физические свойства такой жидкости. Во-первых, это — материальная субстанция. Ее движение непрерывно в пространстве и во времени, и если мы будем следить за движением некоторой ее части, то оказывается, что масса этой части остается неизменной. Эти свойства она разделяет со всякой материальной субстанцией. Во-вторых, она несжимаема. Форма данной части жидкости может изменяться, но ее объем остается неизменным; другими словами, плотность жидкости во время движения остается неизменной. Кроме того, жидкость однородна, т. е. плот-

ность всех ее частей одинакова. Она также непрерывна, так что масса жидкости, содержащейся внутри некоторой замкнутой поверхности, всегда в *точности* пропорциональна объему, содержащемуся внутри этой поверхности. Это тождественно утверждению, что жидкость не состоит из молекул; в самом деле, если бы она была составлена из молекул, то масса изменялась бы скачками по мере непрерывного увеличения объема, потому что сначала одна, потом другая молекула включались бы внутрь замкнутой поверхности. Наконец, это — совершенная жидкость, или, другими словами, напряжение между какой-либо частью и смежной ей частью всегда нормально к отделяющей их поверхности, независимо от того, находится ли жидкость в покое или в движении.

Мы видели, что в молекулярной жидкости диффузия молекул производит диффузию движения различных частей жидкости, так что действие между смежными частями уже не нормально, но имеет место в направлении, стремящемся уменьшить их относительное движение. Следовательно, совершенная жидкость не может иметь молекулярного строения.

Все, что нужно для построения правильной математической теории материальной системы, состоит в том, чтобы ее свойства можно было ясно определить и чтобы они не противоречили другу другу. Это — существенно необходимо. Существует ли же в действительности субстанция с такими свойствами — это вопрос, который приходится рассматривать только тогда, когда мы захотим сделать практические приложения результатов математической теории. Свойства нашей совершенной жидкости ясно определены и согласуются друг с другом, и из математической теории мы можем вывести замечательные результаты, причем некоторые из них можно грубо иллюстрировать при помощи жидкостей, которые отнюдь не совершенны в смысле отсутствия вязкости, как, например, воздух и вода.

Движение жидкости называется безвихревым в том случае, когда оно таково, что если бы сферическая часть жидкости внезапно отвердела, то полученная таким образом твердая сфера не получила бы вращения вокруг некоторой оси. Когда движение жидкости вращательное, то ось и угловая скорость вращения некоторой малой

части жидкости суть ось и угловая скорость *малой* сферической части, внезапно отвердевшей.

Математическое выражение этих определений таково: Пусть  $u, v, w$  суть компоненты скорости жидкости в точке  $(x, y, z)$  и пусть

$$\alpha = \frac{dv}{dz} - \frac{dw}{dy}, \quad \beta = \frac{dw}{dx} - \frac{du}{dz}, \quad \gamma = \frac{du}{dy} - \frac{dv}{dx} \dots, \quad (1)$$

тогда  $\alpha, \beta, \gamma$  суть компоненты скорости вращения жидкости в точке  $(x, y, z)$ . Ось вращения совпадает с направлением результирующей  $\alpha, \beta$  и  $\gamma$ , а скорость вращения измеряется этой результирующей.

Линия, проведенная в жидкости так, чтобы в каждой точке линии

$$\frac{1}{\alpha} \frac{dx}{ds} = \frac{1}{\beta} \frac{dy}{ds} = \frac{1}{\gamma} \frac{dz}{ds} = \frac{1}{\omega} \dots, \quad (2)$$

где  $s$  — длина линии до точки  $x, y, z$  — называется линией вихря. Ее направление во всех точках совпадает с направлением оси вращения жидкости.

Теперь мы можем доказать теорему Гельмгольца, что точки жидкости, находящиеся в некоторый момент на одной и той же вихревой линии, будут лежать на той же линии во все время движения жидкости.

Уравнения движения жидкости имеют вид

$$\rho \frac{\delta u}{\delta t} + \frac{dp}{dx} + \rho \frac{dV}{dx} = 0 \dots, \quad (3)$$

где  $\rho$  — плотность, которую в случае нашей однородной несжимаемой жидкости мы можем принять равной единице; оператор  $\frac{\delta}{\delta t}$  [37] изображает быстроту изменения величины, которой он предшествует, в точке, движущейся вперед с жидкостью, так что

$$\frac{\delta u}{\delta t} = \frac{du}{dt} + u \frac{du}{dx} + v \frac{du}{dy} + w \frac{du}{dz} \dots, \quad (4)$$

$p$  — давление, а  $V$  — потенциал внешних сил. Есть еще два другие уравнения того же вида, соответствующих осям  $y$  и  $z$ . Дифференцируя по  $z$  уравнение, соответ-



ствующее оси  $y$ , и по  $y$  — уравнение, соответствующее оси  $z$ , и вычитая второе из первого, находим

$$\frac{d}{dz} \frac{\delta v}{\delta t} - \frac{d}{dy} \frac{\delta w}{\delta t} = 0 \dots \quad (5)$$

Выполняя дифференцирование и обращаясь к уравнениям (1) и к условию несжимаемости

$$\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} = 0, \quad (6)$$

находим

$$\frac{\delta \alpha}{\delta t} = \alpha \frac{du}{dx} + \beta \frac{du}{dy} + \gamma \frac{du}{dz}. \quad (7)$$

Пусть теперь вихревая линия проведена в жидкости так, чтобы она всегда начиналась в одной и той же частице жидкости. Компоненты скорости в данной точке суть  $u$ ,  $v$ ,  $w$ . Найдем компоненты скорости точки движущейся вихревой линии в расстоянии  $ds$  от данной точки, где

$$ds = \omega d\sigma. \quad (8)$$

Координаты этой точки суть

$$x + \alpha d\sigma, \quad y + \beta d\sigma, \quad z + \gamma d\sigma, \quad (9)$$

а компоненты ее скорости

$$u + \frac{\delta \alpha}{\delta t} d\sigma, \quad v + \frac{\delta \beta}{\delta t} d\sigma, \quad w + \frac{\delta \gamma}{\delta t} d\sigma. \quad (10)$$

Рассмотрим первую из этих слагающих. В силу уравнения (7) мы можем написать ее так:

$$u + \frac{du}{dx} \alpha d\sigma + \frac{du}{dy} \beta d\sigma + \frac{du}{dz} \gamma d\sigma \quad (11)$$

или

$$u + \frac{du}{dx} \frac{dx}{d\sigma} d\sigma + \frac{du}{dy} \frac{dy}{d\sigma} d\sigma + \frac{du}{dz} \frac{dz}{d\sigma} d\sigma \quad (12)$$

или

$$u + \frac{du}{d\sigma} d\sigma. \quad (13)$$

Но это есть выражение значения компоненты  $u$  скорости самой жидкости в данной точке, и то же можно доказать и относительно других компонент.

Итак, скорость второй точки вихревой линии тождественна скорости жидкости в данной точке. Другими словами, вихревая линия следует вместе с жидкостью, и всегда состоит из одного и того же ряда жидких частиц. Следовательно, вихревая линия не есть просто математический символ, но имеет физическое существование, непрерывное во времени и в пространстве.

Дифференцируя уравнения (1) по  $x$ ,  $y$  и  $z$  и складывая результаты, получаем уравнение

$$\frac{d\alpha}{dx} + \frac{d\beta}{dy} + \frac{d\gamma}{dz} = 0. \quad (14)$$

Это — уравнение одного вида с уравнением (6), выражающим условие течения жидкости, имеющей постоянную плотность. Следовательно, если вообразим себе жидкость, совершенно независимую от первоначальной жидкости, для которой компоненты скорости суть  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , то воображаемая жидкость будет течь без изменения ее плотности.

Представим себе теперь замкнутую кривую в пространстве, и пусть проведены вихревые линии из каждой ее точки в обе стороны. Эти вихревые линии образуют трубчатую поверхность, называемую вихревой трубкой или вихревой нитью. Так как воображаемая жидкость течет по вихревым линиям без изменения плотности, то количество, протекающее в единицу времени через какое угодно сечение одной и той же вихревой трубки, должно быть одинаково. Следовательно, для всякого сечения вихревой трубки произведение площади сечения на среднюю скорость вращения одно и то же. Это количество называется *напряжением* вихревой трубки.

Вихревая трубка не может начинаться или оканчиваться внутри жидкости; в самом деле, если бы это было, то воображаемая жидкость, компоненты скорости которой суть  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , происходила бы из ничего при начале трубки и обращалась бы в ничто при ее конце. Следовательно, если трубка имеет начало и конец, то они должны лежать на поверхности жидкой массы. Если жидкость беспредельна, то вихревая трубка должна быть бесконечна или же должна быть замкнутой.

Итак, относительно конечной вихревой трубки в бесконечной жидкой массе мы приходим к следующим заме-

Чательным теоремам: 1) Трубка замкнута, образуя замкнутое кольцо. Мы можем, следовательно, назвать ее вихревым *кольцом*. 2) Она всегда состоит из одних и тех же частей жидкости. Следовательно, ее объем не изменяется. 3) Напряжение ее всегда одно и то же. Следовательно, скорость вращения в некотором сечении изменяется обратно пропорционально площади этого сечения, а скорость некоторого сегмента изменяется прямо пропорционально длине сегмента. 4) Если какая-либо часть жидкости не находилась первоначально в состоянии вращательного движения, то она никогда не может притти в такое состояние; если же часть жидкости находится в состоянии вращения, то это вращение никогда не может прекратиться. 5) Вихревая трубка никогда не может пройти через другую вихревую трубку или через какой-либо из своих собственных витков. Следовательно, если две вихревые трубки сцепляются одна с другой, то их никогда нельзя разъединить и, если вихревая трубка образует узел, то он никогда не может быть развязан. 6) Движение в некоторый момент каждой части жидкости, заключающей вихревые кольца, можно точным образом представить себе, вообразив, что некоторый электрический ток занимает место каждого вихревого кольца, причем сила тока пропорциональна напряжению кольца. Магнитная сила в некоторой точке пространства будет, следовательно, представлять, по направлению и величине, скорость жидкости в соответствующей точке жидкости.

Эти свойства вихревых колец подали сэру В. Томсону \* мысль о возможности построить, основываясь на них, новую форму атомистической теории. Условия, которым должен удовлетворять атом, суть постоянство величины, способность к внутреннему движению или к колебанию и достаточное число возможных признаков, которые позволяли бы объяснять различие между атомами разного рода.

Мельчайшее твердое тело, которое воображал Лукреций и принял Ньютон, было изобретено с явной целью объяснить постоянство свойств тел. Но это предположение отказывается служить, если мы захотим дать себе

---

\* On Vortex Atoms («О вихревых атомах»), *Proc. Roy. Soc. of Edinburg*, 18 Febr. 1867.

отчет в колебаниях молекулы, которые обнаруживает спектроскоп. В самом деле, мы можем предположить, что атом — тело упругое, но это значило бы наградить его тем самым свойством, для объяснения которого, как свойства сложных тел, и было первоначально допущено атомистическое строение тел. Обладающие массой, центры сил, которые воображал себе Боскович, можно было бы рекомендовать скорее математику, который не колеблясь приписал бы им свойства притяжения и отталкивания, согласно некоторому закону расстояния, какой заблагорассудилось бы ему допустить. Такие силовые центры, без сомнения, по природе своей неделимы, но взятые в отдельности, они также неспособны к колебанию. Чтобы получить колебания, мы должны вообразить молекулы, состоящие из нескольких таких центров, но вместе с этим опять вводится возможность полного разделения этих центров. Кроме того, было бы мало научным приемом, вводя атомы как раз для того, чтобы одвободиться от сил, действующих на заметных расстояниях, сделать единственной функцией атомов действие на весьма малых расстояниях.

С другой стороны, вихревое кольцо Гельмгольца, которое Томсон представляет себе как истинную форму атома, в большей мере удовлетворяет этому условию, нежели какой-либо из атомов, какие воображали доселе. Во-первых, оно количественно неизменно в отношении его объема и напряжения — двух независимых количеств. Оно неизменно и качественно — в отношении степени сложности его внутреннего строения: будет ли это замкнутый «узел» или «соединение в цепь» с другими вихревыми кольцами. Вместе с тем оно способно к бесконечным изменениям формы и может совершать колебания различных периодов подобно молекуле. И число существенно различных сцеплений вихревых колец может быть весьма велико, причем нет надобности в допущении весьма высокой степени сложности какого-либо из них.

Но высшее, с философской точки зрения, достоинство этой теории состоит в том, что ее успех в объяснении явлений не зависит от искусства, с каким ее авторы, будто бы, «спасают внешние приличия», вводя то одну гипотетическую силу, то другую. Раз вихревой атом пришел в движение, все его свойства абсолютно устана-

вливаются и определяются законами движения основной жидкости, которые вполне выражаются основными уравнениями. Ученик Лукреция может рассекать и разрезать свои твердые атомы в чаянии, что этим он содействует их соединению для образования миров; последователь Босковича может придумывать новые законы силы, сталкиваясь с требованиями каждого нового явления; но тот, кто дерзнет вступить на путь, открытый Гельмгольцем и Томсоном, не обладает этими средствами. Его основная жидкость не обладает иными свойствами, кроме инерции, неизменной плотности и совершенной подвижности, а способ, каким можно следить за движением этой жидкости, есть чистый математический анализ. Трудности этого метода невероятны, зато слава победы над ними — в своем роде единственная.

Кажется, не может быть сомнения, что столкновение между двумя вихревыми атомами, по общему своему характеру, будет подобно уже описанному столкновению. В самом деле, встреча двух колец дыма в воздухе дает весьма ясное доказательство упругости вихревых колец.

Но одно из первых, если не самое первое, требование полной теории материи есть объяснение, во-первых, массы и, во-вторых, тяготения. Объяснить массу — это может показаться предприятием абсурдным. Мы вообще предполагаем, что сущность материи — быть носительницей количества движения и энергии, и даже Томсон, в определении своей основной жидкости, приписывает ей обладание массой. Однако, согласно Томсону, хотя основная жидкость и есть единственная истинная материя, но то, что мы называем материей, не есть сама основная жидкость, а способ движения этой основной жидкости. Вихревое кольцо и есть этот способ движения, и оно являет нам пример постоянства и непрерывности существования, которые мы привыкли приписывать самой материи. Основная жидкость, эта единственная истинная материя, совершенно недоступна нашим чувствам, если она не наделена способом движения, превращающим известные ее участки в вихревые кольца и, таким образом, делающим ее молекулярной.

Следовательно, в теории Томсона, масса тел требует объяснения. Нам нужно объяснить инерцию чего-то, что есть лишь способ движения, инерция же есть свойство материи, а не способа движения. Хотя вихревое кольцо

во всякое данное мгновение обладает определенной энергией и количеством движения, но показать, что тела, построенные из вихревых колец, обладают таким количеством движения и энергией, какие мы в них находим, при настоящем состоянии теории — задача весьма трудная.

От теории, находящейся еще в периоде младенчества, трудно требовать объяснения тяготения. Со времен Ньютона учение о тяготении было принято и развивалось, пока мало-помалу не приобрело характера скорее исходного факта, нежели факта, подлежащего объяснению.

Кажется сомнительным, рассматривал ли Лукреций тяготение как существенное свойство материи, что, по видимому, он утверждает в следующих замечательных строках:

«Если б клубок шерстяной вещество заключал в себе то же,  
Как и свинцовый комок, то и вес был бы равный в обоих,  
Так как свойственно каждому телу надавливать книзу».

„О ПРИРОДЕ ВЕЩЕЙ“, I, 359.

Таково истинное мнение Лукреция, и если падение атомов книзу происходит, по его мнению, вследствие их собственной тяжести, то кажется весьма сомнительным, приписывал ли он вес видимых тел ударам атомов. Последнее мнение принадлежит женеvcу Лесажу, который изложил его в своем *Lucrèce Newtonien* и в своем *Traité de Physique Mécanique*, опубликованном Пьером Прево в Женеве в 1818 г. \*. Теория Лесажа состоит в том, что тяготение тел друг к другу обуславливается ударами потоков атомов, летящих в пространстве по всем направлениям. Эти атомы он называет внемировыми корпускулами, так как представляет себе, что они прилетают со всех сторон из пространств, лежащих за пределами той части системы мира, которая нам сколько-нибудь известна. Он представляет себе их настолько малыми, что соударение их с другими внемировыми корпускулами есть событие, случающееся крайне редко. Ударяясь о молекулы обычной материи, они и вызывают стремление тел идти навстречу друг другу. Тело, находящееся в свободном пространстве и предоставленное ударам этих

\* См. также *Constitution de la Matière, etc., par le P. Leroy, Paris, 1869.*

корпускул, получает толчки во всех направлениях, но так как, вообще, в него попадает столько же ударов с одной стороны, сколько и с другой, то оно не может приобрести, таким образом, ощутимой скорости. Но если имеются два тела в пространстве, то каждое будет служить другому экраном, заграждающим некоторую часть тела, куда удары корпускул попадать не будут, так что поверхности тел, обращенные друг к другу, будут испытывать меньшее число ударов, между тем как число корпускул, ударяющих в других направлениях, остается то же самое.

Таким образом, каждое тело будет испытывать побуждение двигаться по направлению к другому действием избытка ударов, падающих на более отдаленные друг от друга стороны тел. Если принять во внимание удары только тех корпускул, которые прибыли из бесконечного пространства, и оставить без внимания те, которые уже ударяли в мировые тела, то легко вычислить результат действия их на оба тела, полагая, что размеры тел малы сравнительно с расстоянием между ними.

Сила притяжения будет прямо пропорциональна произведению площадей сечения тел, нормальных к расстоянию, и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Но притяжение тяготения изменяется прямо пропорционально произведению *масс* тел, между которыми оно действует, и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними. Если, поэтому, можно вообразить, что строение тел таково, что эффективные площади тел пропорциональны их массам, то оба закона будут совпадать. Итак, в этом, повидимому, и заключается путь, ведущий к объяснению закона тяготения, и если можно будет показать, что он и в других отношениях совместим с фактами, то он может явиться широкой дорогой в самые таинственные области науки.

Сам Лесаж показывает, что, для того чтобы эффективная поверхность тела, благодаря которой оно действует на потоки внемировых корпускул подобно экрану, была пропорциональна массе тела, будет ли оно велико или мало, мы должны допустить, что размеры твердых атомов тела чрезвычайно малы в сравнении с расстояниями между ними, так что только весьма малая доля корпускул задерживается даже самыми плотными и са-

мыми большими телами. Мы можем представить себе, что потоки корпускул, летящих во всех направлениях, подобны свету, испускаемому равномерно освещенным небом. Можно представить себе, что материальное тело состоит из скопищ атомов, находящихся на значительных друг от друга расстояниях, вроде роя насекомых, летающих в воздухе. Наблюдателю, смотрящему на него с некоторого расстояния, этот рой будет казаться легким потемнением неба на некотором участке. Это затемнение и представляет собой действие материального тела, задерживающего полет корпускул. Если часть света, задерживаемого роем, весьма мала, то два таких роя задержат почти то же самое количество света, будут ли они на одной прямой с глазом, или нет; но если один из них задерживает заметную часть света, то другому уже не придется задержать столько же, и эффект двух роев на одной линии с глазом будет меньше суммы двух эффектов в отдельности.

Но мы знаем, что действие притяжения луны солнцем и землей не различается заметно, рассматривать ли луну во время затмения или когда затмения нет. Отсюда следует, что число корпускул, задерживаемых телами, имеющими размеры и массы земли и даже солнца, весьма невелико в сравнении с числом корпускул, прямо проходящих сквозь землю или сквозь солнце, не встречая ни одной молекулы. Для потоков корпускул земля и солнце являются просто системами рассеянных в пространстве атомов и представляют скорее отверстия, нежели преграды их прямолинейному полету.

Такова остроумная доктрина Лесажа, посредством которой он стремится объяснить всемирное тяготение. Попытаемся сделать подсчет этой непрерывной бомбардировки внемировых телец, со всех сторон летящих на нас.

Мы видели, что солнце задерживает лишь весьма малую долю корпускул, в него входящих. Земля, которая еще меньше, задержит еще меньшую долю их. Часть, задерживаемая малым телом, например, фунтовым ядром, будет неизмеримо меньше, ибо толщина этого тела чрезвычайно мала сравнительно с землею.

Вес ядра, или его стремление к земле, согласно этой теории, производится избытком ударов корпускул, идущих сверху, над ударами, идущими снизу и производимыми корпускулами, прошедшими сквозь землю. Каждое



из этих количеств представляет чрезвычайно малую долю количества движения всего числа корпускул, проходящих сквозь ядро в секунду, а их разность есть малая доля каждого, и, однако, она эквивалентна весу фунта. Скорость корпускул должна быть громадна сравнительно со скоростью какого-угодно из небесных тел, иначе, как легко можно показать, они действовали бы как сопротивляющаяся среда, противодействующая движению планет. Но энергия движущейся системы равна половине произведения ее количества движения на скорость. Следовательно, энергия корпускул, своими ударами в шар в течение секунды побуждающих его двигаться к земле, должна выражаться числом футо-фунтов, равным числу футов, которое корпускула проходит в секунду, т. е. не менее тысяч миллионов. Но это лишь малая доля энергии всех ударов, получаемых атомами шара от бесчисленных потоков корпускул, падающих на него со всех сторон.

Следовательно, скорость затраты энергии корпускул на поддержание в одном фунте свойства тяготения, по меньшей мере, выражается миллионами миллионов футо-фунтов в секунду.

Что же делается с этим громадным количеством энергии? Если бы корпускулы, ударяясь об атомы, отлетали со скоростью, равной той, какой они до того обладали, они уносили бы с собой свою энергию обратно во внемировые пространства. Но если это имеет место, то корпускулы, отскакивающие от тела в некотором данном направлении, будут и по числу и по скорости в точности эквивалентны тем, которые в этом направлении не пойдут, будучи отклонены телом, и можно показать, что так будет, каков бы ни был вид тела и сколько бы тел ни находилось в поле. Итак, отталкивающиеся корпускулы вполне компенсируют собой корпускулы, отклоняемые телом, и избытка ударов на некоторое другое тело в том или ином направлении не будет.

Следовательно, объяснение тяготения теряет почву, если корпускулы подобны совершенно упругим шарам и отскакивают со скоростью разъединения, равной скорости при сближении. С другой стороны, если они отскакивают с меньшей скоростью, то действие притяжения между обоими телами, несомненно, будет иметь место, только теперь нужно будет определить, что де-

лается с энергией, которую молекулы принесли с собой, но не унесли обратно.

Если бы некоторая ощутимая доля этой энергии сообщалась телу в форме теплоты, то количество теплоты, таким образом порожденной, в несколько секунд нагрело бы тело, а подобно этому и всю материальную вселенную до белого каления.

Сэр В. Томсон высказал мнение, что корпускулы могут иметь такое строение, что уносят с собой свою энергию, если предположить, что часть их кинетической энергии во время соударения превращается из энергии поступательного движения в энергию вращения или колебания. Но тогда корпускулы должны уже быть не просто точками, а материальными системами. Томсон считает их вихревыми атомами, при соударении приходящими в состояние колебания и уходящими с меньшей поступательной скоростью, но в состоянии сильного колебания. Он предполагает также, что вихревая корпускула может снова вернуть свою скорость и потерять часть колебательного движения при встрече с родственными себе корпускулами в бесконечном пространстве.

Мы посвятили этой теории больше места, нежели, по видимому, она заслуживает, потому что она остроумна и потому что это — единственная теория о причине тяготения, которая была настолько подробно развита, что было возможно обсуждать аргументы за и против нее. По видимому, она не может объяснить нам, почему температура тел остается умеренной, между тем как их атомы выдерживают подобную бомбардировку. Температура тел должна стремиться приблизиться к' такому значению, при котором средняя кинетическая энергия молекулы тела равнялась бы средней кинетической энергии внемировой корпускулы.

Положим теперь, что существует плоская поверхность, задерживающая *все* корпускулы. Давление на эту плоскость будет  $p = NMu^2$ , где  $M$  есть масса корпускулы,  $N$  — число корпускул в единице объема и  $u$  — скорость корпускулы, нормальная к плоскости. Мы знаем, что наибольшее давление, существующее во вселенной, должно быть гораздо меньше этого давления  $p$ , которое испытывало бы тело, задерживающее все корпускулы. Таким образом мы можем быть уверены, что  $N$ , число корпускул, находящихся в некоторый момент времени

в единице объема, невелико сравнительно со значением  $N$  для молекул обыкновенных тел. Следовательно,  $Mu^2$  должно быть громадно по сравнению с соответствующим количеством для обыкновенных тел, а отсюда следует, что удар корпускул должен нагревать все тела до чрезвычайно высокой температуры. Итак, согласно этой теории, обитаемая вселенная, на которую мы привыкли смотреть как на сцену, где замечательным образом подтверждается закон сохранения энергии, как основной принцип всей природы, в действительности, что касается рабочего порядка в ней, поддерживается исключительно гигантскими затратами на нее внешней силы, которая неизбежно должна была бы истощаться, если бы средства не доставлялись извне из бесконечного пространства, и которая, если соображения наиболее выдающихся математиков могут в каком-либо отношении оказаться несостоятельными, может в любое мгновение разнести на атомы всю вселенную.

Но оставим эти умозрения о природе молекул и о причине тяготения и рассмотрим материальный мир как здание, составленное из молекул. Каждая молекула, насколько мы знаем, относится к одному из определенного числа видов. Список химических элементов можно считать перечнем известных видов, которые были изучены в лабораториях. Некоторые из них были открыты посредством спектроскопа, и еще многие могут быть открыты тем же путем. Спектроскоп был также применен к анализу света солнца, более ярких звезд и некоторых туманностей и комет и показал, что свет, испускаемый этими телами, в некоторых случаях подобен свету, излучаемому земными молекулами, а в других — свету, из которого молекулы поглотили некоторые лучи. Таким путем удалось проследить множество совпадений между системами линий, относящихся к известным земным веществам, и соответствующими линиями в спектрах небесных тел.

Значение свидетельств, доставляемых такими совпадениями, можно оценить, рассматривая степень точности, с какой такие совпадения могут быть наблюдаемы. Промежуток между двумя линиями, составляющими фраунгоферову линию  $D$ , достигает  $\frac{5}{100}$  промежутка между  $B$  и  $G$  на шкале Кирхгоффа. Разницу между положениями двух линий, простирающуюся до  $\frac{1}{10}$  этого промежутка,

т. е. до  $5/1000$  длины яркой части спектра, можно легко заметить в спектроскопы умеренной силы. Разрешающую способность спектроскопа можно определить, сосчитав, сколько раз наименьший измеримый промежуток содержится в длине видимого спектра. Обозначим ее буквой  $p$ . В предположенном нами случае  $p$  равно приблизительно 5000.

Если солнечный спектр содержит  $n$  линий известной степени напряжения, то вероятность, что какая-либо линия спектра газа совпадает с одной из этих линий, равна

$$1 - \left(1 - \frac{1}{p}\right)^n = \frac{n}{p} \left(1 - \frac{n-1}{2} \cdot \frac{1}{2} + \dots\right),$$

и если  $p$  по сравнению с  $n$  велико, это выражение приблизительно даст  $\frac{n}{p}$ . Если в спектре газа  $r$  линий, то вероятность, что каждая из них будет совпадать с одной из линий солнечного спектра, будет приблизительно  $\frac{n^r}{p^r}$ .

Следовательно, в случае газа, спектр которого содержит несколько линий, мы должны сравнить результаты двух гипотез. Если на солнце существует большое количество этого газа, то у нас имеются сильнейшие основания ожидать, что все эти  $r$  линий будут найдены в солнечном спектре. Если его нет, то вероятность, что  $r$  линий из  $n$  наблюдаемых линий совпадут с линиями газа, чрезвычайно мала. Если, следовательно, мы найдем в солнечном спектре все  $r$  линий на свойственных им местах, то у нас будут самые веские основания к допущению, что этот газ на солнце существует. Вероятность, что газ на солнце существует, весьма увеличивается, если линии своей относительной интенсивностью и шириной соответствуют в обоих спектрах.

Отсутствие одной или нескольких линий газа в солнечном спектре вообще ослабляет эту вероятность, но количество, выводимое из вероятности, зависит от того, что нам известно об изменении относительной интенсивности линий, если температуру и давление газа изменять.

Наблюдаемые совпадения линий нескольких земных веществ с несколькими системами линий в спектрах небесных тел увеличивают свидетельства в пользу учения, что земные вещества существуют в небесных те-

лах, между тем как открытие в спектрах небесных тел особых линий, не совпадающих ни с одной линией спектров земных тел, не может слишком пошатнуть общего аргумента, а скорее только укажет, или что в составе небесного тела существует вещество, еще не открытое химиками на земле, или что температура небесного тела такова, что вещество, не разложимое нашими средствами, там распалось на компоненты, не известные нам в изолированном состоянии.

Таким образом, мы пришли к представлению, что в далеко отстоящих частях видимой вселенной существуют молекулы разного рода, причем различные периоды колебания молекул каждого рода или тождественны, или так близки к тождеству, что наши спектроскопы не обнаруживают никакой разницы в них. Отсюда мы можем заключить, что эти молекулы подобны друг другу и во всех других отношениях, как, например, в отношении массы. Но для нашей настоящей цели достаточно заметить, что молекула одного и того же рода, например, молекула водорода, имеет один и тот же ряд периодов колебаний, возьмем ли мы водород из воды, из каменного угля, или из метеоритного железа, и что свет с тем же рядом периодов колебаний долетает до нас от солнца, от Сириуса и от Арктура.

Такого же рода рассуждения как и те, что привели нас к убеждению о существовании водорода на солнце и на звездах, приводят нас к убеждению и в том, что молекулы водорода во всех этих телах имеют общее происхождение. В самом деле, материальная система, способная к колебаниям, может иметь какой угодно ряд периодов колебаний. Следовательно, вероятность, что две материальные системы, совершенно друг от друга независимые, будут иметь один и тот же ряд периодов колебания, при высокой точности современных спектроскопических измерений так мала, что мы вынуждены допустить, что обе эти системы не независимы друг от друга. Если бы вместо двух таких систем у нас было бесчисленное множество с тем же рядом периодов, то аргумент усилился бы чрезвычайно.

## ПРИТЯЖЕНИЕ

(Из Encyclopaedia Britannica)

Ежедневное наблюдение показывает, что различные части материальной системы влияют одна на движение другой. В некоторых случаях нам не удастся открыть никакой материальной связи, которая простиралась бы от одного тела к другому. Эти случаи мы называем действием на расстоянии, в отличие от тех случаев, где мы можем проследить существование между телами непрерывной материальной связи. Взаимное действие между телами называется напряжением. Когда взаимное действие стремится сблизить тела или помешать им отделиться друг от друга, оно называется натяжением или притяжением. Когда оно стремится отделить одно тело от другого или помешать их сближению, оно называется давлением или отталкиванием. Названия «натяжение» и «давление» употребляются, когда действие видимо совершается чрез некоторую среду. Названия «притяжение» и «отталкивание» применяются в случаях действия на расстоянии. Конфигурацию материальной системы всегда можно определить посредством взаимных расстояний частей системы. Всякое изменение конфигурации должно изменить одно или несколько из этих расстояний. Таким образом сила, производящая подобное изменение или ему противодействующая, может быть разложена на притяжение или отталкивание между теми частями системы, расстояние между которыми изменилось.

Существует множество гипотез о причине таких сил, причем предполагается, что одна из них — давление между соприкасающимися телами — гораздо более понятна, нежели всякого рода иные напряжения. Поэтому сделано было немало попыток сведения случаев кажущегося притяжения и отталкивания на расстоянии к случаю давления. Одно время предполагалось, что

возможность притяжения на расстоянии опровергается утверждением, что тело не может действовать там, где его нет, и что, следовательно, всякое действие между различными частями материи должно происходить посредством прямого прикосновения. На это возражали, что у нас нет никаких свидетельств, чтобы между двумя телами всегда имело место действительное соприкосновение, и что на деле, когда тела давят друг на друга и, повидимому, соприкасаются, мы можем иногда, действительно, измерить отделяющее их расстояние, как, например в случае, когда один кусок стекла лежит на другом, и когда нужно приложить значительное давление, чтобы поверхности их сблизить настолько, чтобы появилось черное пятно в ньютоновых кольцах, указывающее на то, что расстояние достигает почти одной десяти тысячной миллиметра. Если, желая освободиться от идеи действия на расстоянии, мы вообразим себе материальную среду, через которую действие передается, то все, что мы при этом делаем, есть не более как замена одного действия на большом расстоянии целым рядом действий на меньших расстояниях между частями среды, так что даже и таким путем мы не можем освободиться от действия на расстоянии.

В последнее время изучение взаимного действия между частями материальной системы было значительно упрощено введением понятия энергии системы. Энергия системы измеряется количеством работы, которую она может совершить, преодолевая внешние сопротивления. Эта энергия зависит от конфигурации в данный момент и от движения системы, а не от того способа, каким система приобрела данную конфигурацию и движение. Если мы вполне знаем, каким образом энергия системы зависит от ее конфигурации и движения, то этого достаточно для определения всех сил, действующих между частями системы. Например, если система состоит из двух тел и если энергия зависит от расстояния между ними, то если при увеличении расстояния энергия увеличивается, то между телами должно существовать притяжение, а если при увеличении расстояния энергия уменьшается, то между ними должно быть отталкивание. В случае двух тяготеющих масс  $m$  и  $m'$ , находящихся на расстоянии  $r$ , часть энергии, зависящая от  $r$ , есть

—  $\frac{mm'}{r}$ . Следовательно, тот факт, что между обоими телами существует притяжение, мы можем выразить, сказав, что энергия системы, состоящей из двух тел, увеличивается, когда их расстояние увеличивается. Следовательно, вопрос, почему два тела притягивают друг друга, можно выразить другим способом. Почему энергия системы увеличивается, когда расстояние увеличивается?

Но мы должны помнить, что научное или научно плодотворное значение усилий, которые были сделаны, чтобы ответить на эти старые вопросы, должно измерять не надеждой получить окончательное решение, а тем, что они побуждают людей к тщательному изучению природы. Всякая постановка научных вопросов предполагает наличие научных познаний, и вопросы, которые занимают человеческий ум при современном состоянии науки, весьма вероятно, могут оказаться такими, что несколько большее развитие науки покажет нам, что ответ вообще невозможен. Научное значение вопроса, как действуют тела друг на друга на расстоянии, нужно искать в стимуле, который этим вопросом был сообщен исследованиям о свойствах промежуточной среды.

Ньютон, в своих Principia, из наблюдаемых движений небесных тел выводит факт, что они притягивают друг друга по определенному закону. Он дает его как результат строго динамических умозаключений и при посредстве их показывает, каким образом не только более простые явления, но и все кажущиеся неправильности небесных движений могут быть предвычислены как следствия единого принципа. В своих Principia он ограничивается доказательством и развитием этого великого шага в науке о взаимодействии тел. Он ничего не говорит о том, почему именно тела тяготеют друг к другу. Но его ум на этом не успокаивается. Мы знаем, что он не верил в непосредственное действие тел на расстоянии.

«Непонятно, каким образом неодушевленная косная материя, без посредства чего-либо, что нематериально, могла бы действовать на другую материю без взаимного прикосновения, как это должно бы было иметь место, если бы тяготение в смысле Эпикура было присуще материи и с ней нераздельно... Что тяготение должно быть врожденным, присущим и необходимым свойством материи, так что одно тело может взаимодействовать



с другим на расстоянии, чрез пустоту, без участия чего-то постороннего, при посредстве чего и через что их действие и сила могут быть передаваемы от одного к другому — это мне кажется столь большим абсурдом, что я не представляю себе, чтобы кто-либо, владеющий способностью компетентно мыслить в области вопросов философского характера, мог к этому притти». (*Письмо к Бенгли*). И мы знаем также, что он думал найти механизм тяготения в свойствах эфирной среды, наполняющей всю вселенную.

«Из его писем к Бойлю явствует, что таково было его давнишнее мнение, и если он не обнаружил его раньше, то это произошло только вследствие того, что, как он нашел, ему не удавалось из опыта и наблюдений дать удовлетворительных сведений об этой среде и о том, каким образом она действует, производя основные явления природы» \*.

В самом деле, в своих *Optical Queris* он показывает, что если давление этой среды меньше вблизи плотных тел, нежели на больших от них расстояниях, то эти плотные тела будут притягиваться друг к другу, и что если уменьшение давления обратно пропорционально расстоянию от плотного тела, то закон будет законом тяготения. Ближайший шаг, как он указывает, должен объяснить это неравенство давления в среде; и так как ему не удавалось сделать этого, то задачу объяснения причины тяготения он завещал следующим поколениям. Что касается тяготения, то в решении этой задачи со времен Ньютона не сделано почти никаких успехов. Фарадей показал, что передача электрической и магнитной силы сопровождается явлениями, происходящими в каждой части промежуточной среды. Он проследил ход силовых линий в среде; и он приписал им стремление укорачиваться и отделяться от соседних с ними линий, вводя, таким образом, идею о напряжении в среде в иной форме, нежели предполагал Ньютон; ибо, в то время как ньютоновское напряжение было гидростатическим давлением по всем направлениям, фарадеевское напряжение есть натяжение вдоль силовых линий, соединенное с давлением во всех направлениях, нормальных к ним. Показав, что плоскость поляризации светового луча, про-

---

\* Сообщение Маклорена об открытиях сэра Исаака Ньютона.

ходящего чрез прозрачную среду в направлении магнитной силы, испытывает вращение, Фарадей не только доказал действие магнетизма на свет, но, воспользовавшись светом для обнаружения состояния намагничивания среды, он, по его собственному выражению, «осветил линии магнитной силы».

Впоследствии Томсон, основываясь на этом явлении, чисто динамическим рассуждением доказал, что передача магнитной силы сопровождается вращательным движением малых участков среды. В то же время он показал, каким образом центробежная сила, производимая этим движением, может объяснить магнитное притяжение.

Подобного рода теория с большими подробностями разработана в «Трактате об электричестве и магнетизме» Кларка Максвелла. Там показано, что если допустить, что среда находится в состоянии напряжения, состоящего из натяжений вдоль силовых линий и из давлений во всех направлениях, перпендикулярных к силовым линиям, причем натяжение и давление равны по числовой величине и пропорциональны квадрату силы поля в данной точке, то это дает полный отчет о наблюдаемых электростатических и электромагнитных действиях.

Ближайший шаг состоит в том, чтобы объяснить это состояние напряжения в среде. В случае электромагнитной силы мы воспользовались способом рассуждения Томсона, примененным им для объяснения указанного выше открытия Фарадея. Мы допускаем, что малые участки среды вращаются вокруг осей, параллельных силовым линиям. Центробежная сила, вызываемая этим вращением, производит избыток давления, перпендикулярного к силовым линиям. Объяснение электростатического напряжения менее удовлетворительно, но не может быть сомнения в том, что теперь открыт путь, посредством которого мы можем приписать воздействию среды все силы, которые, подобно электрическим и магнитным силам, изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния и являются силами притягательными между телами разноименными и отталкивательными между телами одноименными.

Сила тяготения также обратно пропорциональна квадрату расстояния, но она отличается от электрического и магнитного взаимодействий тем, что тела, между ко-

торыми она действует, нельзя разделить на два противоположные рода, один — положительный, другой — отрицательный. В отношении тяготения они все одного рода, и сила, с которой они действуют друг на друга, всегда притягательная. Чтобы объяснить такую силу посредством напряжения в промежуточной среде способом, принятым для электрического и магнитного взаимодействий, мы должны допустить существование напряжения противоположного рода, по сравнению с тем, о чем шла речь выше. Мы должны предположить существование давления в направлении силовых линий, соединенного с натяжением во всех направлениях, лежащих под прямым углом к силовым линиям. Такое состояние напряжения объяснило бы наблюдателю эффект тяготения. Однако, до сих пор нам не удалось придумать никакой физической причины для такого состояния напряжения. Легко вычислить, какое напряжение потребовалось бы, чтобы объяснить действительные действия тяжести на поверхности земли. Потребовалось бы давление в 37 000 тонн на кв. дюйм в вертикальном направлении, соединенное с натяжением такой же численной величины во всех горизонтальных направлениях. Следовательно, состояние напряжения, существующее, как мы должны предположить, в невидимой среде, в 3000 раз больше напряжения, какое может выдержать самая прочная сталь.

Другая теория механизма тяготения, теория Лесажа, объясняющая его ударами «внемировых корпускул», была уже разобрана выше, в статье «Атом» (стр. 127).

Сэр Вилльям Томсон \* показал, что если предположить, что все пространство наполнено однообразной несжимаемой жидкостью, если, далее, предположить, что либо материальные тела всегда производят и испускают эту жидкость с постоянной скоростью, причем жидкость течет в бесконечность, либо что материальные тела всегда поглощают и уничтожают жидкость, причем недостающее количество пополняется притоком из бесконечного пространства, то в том и в другом случаях имело бы место притяжение между всякими двумя телами, обратно пропорциональное квадрату расстояния. Напротив, если бы одно из тел испускало жидкости,

---

\* *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 7 Febr., 1870.

а другое поглощало, то тела отталкивали бы друг друга.

Здесь, следовательно, мы имеем многообещающую гидродинамическую иллюстрацию действия на расстоянии, так как она позволяет показать нам, как тела одного и того же рода могут притягивать друга друга. Но эта концепция жидкости, постоянно вытекающей из тела без всякого пополнения откуда-либо извне, или втекающей без всякого пути для выхода ее из тела, так противоречит всему нашему опыту, что гипотезу, существенной частью которой она является, нельзя назвать *объяснением* явления тяготения.

Д-р Роберт Гук, человек, одаренный необычайной изобретательностью, пытался в 1671 г. приписать причину тяготения волнам, распространяющимся в некоторой среде. Он нашел, что тела, плавающие на воде, приводимые в движение волнами, притягивались к центру возмущения\*. Однако, кажется, он не исследовал этого наблюдения в такой мере, чтобы вполне определить действие волн на погруженное тело.

Проф. Чэллис исследовал математическую теорию действия волн сгущения и разрежения в упругой жидкости на погруженные в нее тела. Но трудности исследования были так велики, что он не мог прийти ни к каким числовым результатам. Однако, он приходит к заключению, что действием таких волн было бы притяжение тела к центру возмущения либо отталкивание его от этого центра, смотря по тому, будет ли длина волны весьма велика или она будет весьма мала сравнительно с размерами тела. Иллюстрации на практике действия таких волн были даны Гюйо, Шелльбахом, Гютри и Томсоном\*\*.

Приводят в колебание камертон и подносят к свободно подвешенному легкому телу. Тело тотчас же притягивается к камертону. Если привесить самый камертон, то он видимо притягивается ко всякому соседнему телу.

Сэр В. Томсон показал, что это действие во всех случаях можно объяснить общим принципом, что в движущейся жидкости среднее давление имеет наименьшую величину там, где средняя энергия движения всего

---

\* Posthumous Works, edited by R. Waller, pp. XIV and 184.

\*\* *Philosophical Magazine*, June, 1871.

больше. Но волновое движение больше всего вблизи камертона, следовательно, давление здесь всего меньше; и так как давления на привешенное тело с противоположных сторон не равны, то оно и движется оттуда, где давление наибольшее, в сторону наименьшего давления, т. е. к камертону. Ему удалось также воспроизвести отталкивание в случае малого тела, которое легче окружающей среды.

Замечательно, что из трех гипотез, приводящих некоторым образом к физическому объяснению тяготения, каждая вводит постоянную затрату работы. Что так именно обстоит дело в случае лессажевской гипотезы внемировых корпускул, мы показали в статье «Атом». Гипотеза испускания или поглощения жидкости требует не только постоянной затраты работы на испускание жидкости под давлением, но и действительного сотворения и разрушения вещества. Гипотеза волн требует некоторого агента в отдаленных частях вселенной, способного производить волны.

Согласно подобным гипотезам, мы должны смотреть на процессы природы не как на иллюстрации великого принципа сохранения энергии, но как на примеры, в которых путем соответствующим образом подобранных мощных агентов, не подчиненных этому принципу, поддерживается кажущееся сохранение энергии. Отсюда мы вынуждены заключить, что объяснения причины тяготения нельзя найти ни в одной из этих гипотез.

## ГЕРМАН ЛЮДВИГ ФЕРДИНАНД ГЕЛЬМГОЛЬЦ

(Из *Nature*, vol. XV, 8/III 1877 г.)

Вклад, сделанный Гельмгольцом в математику, физику, физиологию, психологию и эстетику, хорошо известен всем, занимающимся этими различными предметами. Большинство тех, кто достиг известности в любой из этих областей, добился этого, посвящая все свое внимание исключительно этой науке, так что лишь в очень немногих случаях люди, работающие в различных областях науки, могут быть друг другу полезны, внося в одну из них навыки, полученные при изучении другой.

Следовательно, обычно рост человеческих знаний происходит путем накопления их вокруг ряда отдельных центров. Однако, рано или поздно, должно прийти время, когда два или более раздела науки не смогут более оставаться независимыми друг от друга и должны будут слиться в одно согласованное целое. Но, хотя люди науки и могут быть глубоко убеждены в необходимости такого слияния, сама эта операция чрезвычайно затруднительна. Действительно, хотя явления природы все согласуются друг с другом, мы должны иметь дело не только с ними, но и с гипотезами, изобретенными для их систематизации; но отсюда не следует, что, поскольку ряд исследователей работал, систематизируя одну группу явлений, созданные ими гипотезы будут согласны с гипотезами, которыми другие исследователи объясняют другую группу явлений. Каждая из наук может быть достаточно согласованной внутри себя, но, прежде чем соединять их воедино, нужно очистить каждую от следов цемента, служившего для предварительного соединения ее частей.

Поэтому операция слияния двух наук в одну обычно включает критику установленных методов и разрушение



**ГЕРМАН ГЕЛЬМГОЛЬЦ**

Зак 1393. — Максвелл. Речи и статьи.

многих считавшихся истинными теорий, которые долго еще сохраняли бы свою научную репутацию.

Большинство тех физических наук, которые имеют дело с объектами неживой природы, либо уже подверглись этому слиянию, либо как раз находятся в состоянии подготовки к нему, и принимаемый ими вид в конце концов есть вид одной из отраслей динамики.

Многие работники биологических наук были убеждены, что для изучения их предмета необходимо основательное знание динамики. Но та манера, с которой некоторые из них кроили и урезывали факты для того, чтобы ввести явления в рамки своей динамики, вела к дискредитации всех попыток применения методов динамики к биологии.

Мы собираемся сделать несколько замечаний об одной из областей научной работы Гельмгольца, являвшегося замечательнейшим примером ученого, у которого широкое знакомство с наукой соединялось с глубиной и основательностью знаний, с основательностью, требовавшей овладения многими науками и этим самым оставившей свой след на каждой из них.

Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц родился 31 августа 1821 г. в Потсдаме, где его отец, Фердинанд Гельмгольц был учителем гимназии. Мать его, Каролина Пэн, происходила из семьи английских эмигрантов. Ограниченные средства отца не позволили ему учиться ничему другому, кроме медицины. Поэтому он стал военным врачом и оставался им до конца 1848 г., когда был принят ассистентом в Берлинский анатомический музей и преподавателем анатомии в Академию художеств. В следующем году он переехал в качестве профессора физиологии в Кенигсберг, в Пруссию. В 1856 г. он стал профессором анатомии и физиологии Боннского университета, в 1859 году профессором физиологии Гейдельбергского университета и в 1871 г. — профессором физики Берлинского университета.

Свою знаменитую работу «О сохранении энергии» он опубликовал в бытность военным врачом.

Наука о динамике уже так давно основана, что вряд ли можно предположить о возможности дополнения ее основных принципов. Но в приложениях чистой динамики к реальным телам остается еще очень много сделать. Великой задачей ученых нашего века является распространение наших знаний о движении вещества от



тех случаев, в которых мы можем видеть и измерять движение, к тем, в которых наши чувства не могут его обнаружить. Для этой цели мы должны воспользоваться принципами динамики, применяемыми в тех случаях, когда нельзя непосредственно наблюдать истинную природу движения, и мы должны также найти такие методы наблюдения, при помощи которых можно измерять действия, указывающие на природу невидимого движения. Здесь нет нужды ссылаться на работы различных ученых, содействовавших, каждый в своем направлении, опытами, расчетами или рассуждениями, утверждению принципа сохранения энергии. Но несомненно этим исследованиям был сообщен сильный толчок опубликованной в 1847 году работой Гельмгольца *Ueber die Erhaltung der Kraft* («О сохранении силы»), заглавие которой мы теперь должны (и с точки зрения науки, правильно) переводить «Сохранение энергии», хотя в переводе, появившемся в *Scientific Memoirs* Тэйлора, слово *Kraft* переведено словом «сила», согласно обычному словоупотреблению того времени.

В этой работе Гельмгольц показал, что если бы силы, действующие между материальными телами, были эквивалентны силам притяжения или отталкивания, которые действуют между частицами этих тел и интенсивность которых зависит только от расстояния, то расположение и движение любой материальной системы подчинялось бы определенному уравнению, словесное выражение которого и есть принцип сохранения энергии.

Вопрос о том, приложимо ли это уравнение к реальным материальным системам, может установить только опыт, но поиски того, что называли «вечным движением», производились, и всегда безуспешно, уже со столь давних времен, что мы можем обратиться теперь к объединенному опыту большого числа изобретательнейших людей, из которых каждый, найдя какое-нибудь нарушение этого принципа, использовал бы его наилучшим образом.

Кроме того, если бы этот принцип был в какой-либо мере неправилен, то обычные в природе процессы, происходящие непрерывно и во всех возможных комбинациях, навверное, давали бы время от времени заметные и поразительные явления, возникающие благодаря накоплению действия какого-нибудь небольшого отклонения от принципа сохранения энергии.

Однако, научное значение принципа сохранения энергии зависит не только от точности установления факта, и даже не от замечательных заключений, которые из него можно вывести, но от плодотворности методов, основанных на этом принципе.

Заключается ли наш труд в создании науки путем связывания воедино уже известных фактов или в поисках объяснения непонятных явлений путем постановки ряда опытов — принцип сохранения энергии остается нашим надежным руководителем. Он дает нам схему, при помощи которой мы можем представить факты любой физической науки, как примеры превращения энергии из одной формы в другую. Он так же говорит нам, что при изучении любого нового явления нашим первым вопросом должно быть: каким образом объяснить это явление с точки зрения превращения энергии? Какова первоначальная форма энергии? Каков ее конечный вид? И каковы условия ее превращения?

Для того чтобы полностью оценить все научное значение небольшой работы Гельмгольца по этому вопросу, нужно было бы спросить тех, кому мы обязаны величайшими открытиями в области термодинамики и в других областях современной физики, сколько раз они перечитывали эту работу и как часто во время изысканий веские утверждения Гельмгольца воздействовали на их ум, подобно непреодолимой движущей силе.

Теперь мы переходим к его исследованиям глаза и зрения, изложенным в книге «Физиологическая оптика». Каждый современный окулист признает, что офтальмоскоп, изобретенный в своем первоначальном виде Гельмгольцем, позволил заменить, при диагнозе заболеваний внутренних частей глаза, предположения наблюдениями и дал возможность производить операции глаза с большей уверенностью.

Хотя офтальмоскоп и является необходимым орудием окулиста, знание оптических принципов имеет еще большее значение. Все сведения по оптике черпались окулистом раньше из учебников, единственной практической целью которых, казалось, являлось объяснение конструкции зрительной трубы. Они были наполнены весьма не изящными математическими вычислениями, и большая часть результатов была совершенно неприложима к глазу.

Уже давно настаивали на важности для физиолога и врача основательного знакомства с физическими принципами, но до тех пор пока эти физические принципы не представлены в форме, позволяющей непосредственное применение их к сложному строению живого тела, они им очень мало полезны. Но Гельмгольц, Дондерс и Листинг, применив к глазу гауссову теорию об основных точках инструмента, сделали возможным получение при помощи немногих непосредственных наблюдений достаточных сведений о природе оптических явлений в глазу.

Но, пожалуй, наибольшей услугой, оказанной науке этим замечательным трудом, является метод применения изучения глаза и зрения для того, чтобы иллюстрировать условия ощущения и произвольного движения. Ни в одной области исследования нет такой необходимости в объединенной и сосредоточенной помощи всех наук, как в исследовании ощущений. Чисто субъективная школа физиологов утверждала, что для анализа ощущений не требуется никаких аппаратов, кроме тех, которые каждый человек носит внутри себя, так как, поскольку ощущения не могут возникать нигде, кроме нашего сознания. Единственным возможным методом изучения ощущений должно быть непосредственное рассмотрение совокупности наших восприятий. Другие могут изучать условия, при которых импульс распространяется вдоль нерва, и могут предполагать, что, поступая таким образом, они изучают ощущения. Но хотя такая процедура опускает самую сущность явления и рассматривает явление осознания ощущений так, как будто бы оно было электрическим током, однако подсказываемый ею метод дает большие результаты, чем когда-либо давал метод самонаблюдения.

Наилучшие результаты получаются тогда, когда мы пользуемся всеми средствами физики, как, например, в том случае, когда, варьируя природу и интенсивность внешних раздражений, мы наблюдаем затем осознание изменений получаемых ощущений. Именно этим способом Иоганнес Мюллер установил тот замечательный принцип, что разница в ощущениях, доставляемых различными чувствами, зависит не от возбуждающих их действий, но от различий устройства нервов, воспринимающих эти возбуждения. Следовательно, ощущение, зависящее от определенного нерва, может изменять свою интенсив-

ность, но не свой характер, и поэтому анализ осознанных нами бесконечно различных комплексов ощущений должен состоять в установлении числа и природы тех простых ощущений, которые, становясь каждое в своей мере осознанным, образуют действительное состояние чувствования в каждое мгновение.

Если после этого анализа самого ощущения мы обнаружили бы анатомически, что нервный аппарат объединен в естественные группы, соответствующие по числу элементам ощущения, это было бы веским подтверждением правильности нашего анализа, а если бы мы могли изобрести средства возбуждения или торможения каждого отдельного нерва нашего собственного тела, мы могли бы даже сделать это исследование исчерпывающим с точки зрения физиологии.

Два замечательных труда Гельмгольца — «Физиологическая оптика» и «Восприятие звука» — представляют собой великолепные примеры этого метода анализа в приложении к двум родам ощущений, доставляющих наибольшее количество сырого материала для мышления.

В первой из этих работ исследуется восприятие цвета и показано, что оно зависит от трех изменяющихся величин или элементарных ощущений. В другом исследовании, в котором применяются чрезвычайно тонкие методы, речь идет о движении глаз. Каждый глаз имеет шесть мышц, комбинированным действием которых его угловое положение может изменяться по любой из своих трех осей, а именно в горизонтальном и вертикальном направлениях относительно оптической оси и вращаясь вокруг этой оси. Между этими мышцами или их нервами нет материальной связи, которая заставляла бы вызывать движением одной из них движение какой-нибудь другой, так что все три движения одного из глаз механически независимы от трех движений второго глаза. Однако хорошо известно, что движение оси одного глаза всегда сопровождается соответственным движением оси другого. Это происходит даже тогда, когда мы закрываем один глаз пальцем; мы чувствуем, как роговая оболочка закрытого глаза движется под нашими пальцами, когда мы поднимаем или опускаем открытый глаз, смотрим налево или направо: действительно, совершенно невозможно произвести движение одним глазом без того, чтобы соответственно не двигался второй.

Однако, хотя движение глаза вверх и вниз происходит благодаря действию соответственных мышц обоих глаз, движение вправо и влево происходит иначе и вызывается действием внутренней мышцы одного глаза и внешней мышцы второго. И все же соединенное движение их настолько правильно, что мы можем совершенно свободно поворачивать наши глаза, соблюдая все время условие пересечения их оптических осей в какой-нибудь точке предмета, за движением которого мы следим. Кроме того, оказывается, что движение каждого глаза вокруг своей оптической оси замечательным образом связано с движением самой оси.

Метод, которым Гельмгольц разбирает эти явления и иллюстрирует условия управления движениями наших тел, достоин внимания всех тех, которые полагают, что они обладают неограниченной возможностью двигать заданным образом любой, способный к этому роду движения, орган нашего тела.

В своей второй замечательной работе «Восприятие звука как физиологическая основа теории музыки» он еще более ясным образом иллюстрирует условия, при которых наши чувства приобретают навык.

«При пользовании нашими органами чувств упражнения и опыт играют, однако, гораздо большую роль, чем мы это обычно склонны предполагать, и так как мы только что заметили, что наши ощущения важны нам главным образом лишь постольку, поскольку мы в состоянии, благодаря их помощи, правильно судить об окружающем нас внешнем мире, то наша способность к наблюдению этих ощущений простирается обычно лишь настолько, насколько этого требует указанная цель. Мы, конечно, слишком склонны думать, что должны сразу осознать все, что мы ощущаем и что заключается в наших ощущениях. Это естественное мнение основывается, однако, лишь на том, что мы в действительности всегда быстро и без труда осознали то в наших ощущениях, что интересно нам для нашей практической цели — правильного восприятия внешнего мира, так как в течение всей нашей жизни, ежедневно и ежечасно упражняясь в употреблении наших чувств именно для этой цели, мы приобрели для этого большой опыт». (Helmholtz, *Tonempfindungen*, стр. 102, 3-е изд. 1870 г.).

Недостаток места не позволяет нам рассмотреть ту ра-

боту о вихревом движении, в которой он устанавливает принципы чистой гидродинамики, ускользнувшие от проницательности всех предшествовавших ему математиков, включая сюда и самого Лагранжа, и те работы по электродинамике, в которых он приводит в удобопонятную и систематическую форму сложные и запутанные исследования нескольких независимо работавших теоретиков для того, чтобы сравнить их друг с другом и с опытом.

Мы не должны останавливаться на отдельных статьях, из которых каждая может считаться работой специалиста, хотя очень немногие специалисты, если вообще таковые есть, могли бы так талантливо изложить разбираемые в них вопросы. Мы предпочитаем рассматривать Гельмгольца как автора двух замечательных книг о зрении и слухе, и поскольку мы уже теперь не находимся больше под властью той непреодолимой силы, которая вела нас сквозь дебри математики, анатомии и музыки, мы можем попытаться наблюдать издалека всю фигуру этого гиганта мысли, который как бы сидит на некоторой высокой скале и наблюдает за волнами, большими и малыми, движущимися каждая своим собственным путем, вниз, на поверхности моря.

«Я должен признаться, — говорит он, — что когда бы я ни рассматривал внимательно эту картину, она всегда пробуждает во мне особый род умственного наслаждения, потому что здесь открыто физическому зрению то, что в случае волн невидимого атмосферного океана может стать понятным лишь глазу понимающего, и лишь при помощи длинного ряда сложных рассуждений». (*Topenpfündungen*, стр. 42).

Гельмголец живет сейчас в Берлине, руководя в своей прекрасной лаборатории работой талантливых ученых.

Будем надеяться, что в своем настоящем положении он снова сделает широкий обзор волн и ряби нашего интеллектуального прогресса и время от времени будет сообщать нам свое мнение о значении всего этого.

## СТРОЕНИЕ ТЕЛ

(Из Encyclopaedia Britannica)

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 осязаемые 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, помещенное 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 иди, 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 стухнет 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 состояния. После этого д-р Эндрыус \*\* 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, в  $0^{\circ}\text{C}$  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 поверхностью от газообразной углекислоты, занимающей верхнюю часть сосуда.

Но мы можем превратить газообразную углекислоту при  $0^{\circ}\text{C}$  в жидкую углекислоту при  $0^{\circ}\text{C}$ , и без резкого изменения, повышая сначала температуру газа до  $30^{\circ},92\text{C}$ , что является *критической* температурой, затем

---

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

\*\* *Philosophical Transactions*, 1869, стр. 575.



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, повидимому, очень резко переходят из совершенно жидкого состояния в совершенно твердое. В некоторых случаях расплавленное вещество, повидимому, 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 для 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 них 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, 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 беспрердельно 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 оседаю-

щими 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 оказать сопротивление очень малой силе, как, 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 уменьшается; 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. Е. Майером (*Pogg. Ann., Bd., 131, 108*) и Максвеллом (*Phil. Trans, 1866, стр. 249*), а теория этого явления была предложена доктором 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 начинает 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 предварительно 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  $\theta(t)$ , но и через те деформа-

---

\* 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.

ции, которым тело было подвергнуто в течение всего предыдущего времени.

Его уравнение имеет следующий вид:

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

где  $\omega$  — интервал времени, отсчитанный назад от настоящего момента времени  $t$  до момента времени  $t - \omega$ , когда существовала деформация  $\theta_{t-\omega}$ , а  $\Psi(\omega)$  есть 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

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

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, как, 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 некоторые 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, 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

(Из Encyclopaedia Britannica)

Эфир (*αἰθήρ*, вероятно, от *αἶθω* — горю, хотя Платон, в своем *Кратиле* (410, в), производит название от его непрерывного движения — *ὅτι ἀεὶ θεῖ περὶ τὸν ἀέρα ρέων αἰθεῖρ δίκαιος ἄν καλοῖτο*), 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 наполнено тремя или четырьмя эфирами. Только когда мы вспомним о весьма распространенном и нездоровом влиянии, какое вначале оказывали на науку эти гипотезы эфиров, мы будем в состоянии оценить ту боязнь эфиров, которая замечается у людей здравомыслящих в течение XVIII столетия и которая, вероятно, как род наследственного предрассудка, унаследована была и покойным Джоном Стюартом Миллем.

Ученики Ньютона держались того мнения, что в факте взаимного тяготения небесных тел, согласно ньютонову закону, мы имеем полный количественный отчет об их движениях; и они стремились следовать далее по пути, проложенному Ньютоном, изучая и измеряя притяжения и отталкивания наэлектризованных и намагниченных тел и силы сцепления внутри тел, не пытаясь давать отчета в том, что это за силы.

Однако, сам Ньютон пытался объяснить тяготение разностями давления в эфире (см. статью «Притяжение»); но он не опубликовывал своей теории, «так как ему не удалось на основании опытов и наблюдений дать удовлетворительные объяснения касательно этой среды и касательно того, как она действует, производя главные явления природы».

С другой стороны, все вводившие эфиры для объяснения явлений, не могли указать, какова природа движения этих сред, и не могли доказать, что среды, ими придуманные, производят те эффекты, для объяснения которых они и были придуманы. Только один эфир пережил остальные, это — эфир, придуманный Гюйгенсом для объяснения распространения света. Доказательства в пользу существования светоносного эфира получили прочную опору, когда были открыты новые явления света и других излучений; и свойства этой среды, выведенные на основании явлений света, оказались совершенно такими же, какие требуются для объяснения электромагнитных явлений. !

*Функции эфира в отношении распространения излучений.* Полное доказательство в пользу волновой теории света будет дано в статье «Свет»; здесь же мы дадим краткое резюме этого доказательства, поскольку оно касается существования эфира.

Что самый свет не есть вещество, доказывается явлением интерференции. Луч света от некоторого источника разделяют известными оптическими способами на две части и эти части, после того как ими пройдены неравные пути, заставляют снова соединиться на экране. Если одну половину луча загородить, то другая упадет на экран и осветит его, но если обе части упадут на экран, то в некоторых частях экрана покажутся темные места, доказывая этим, что из двух частей луча одна уничтожила действие другой.

Но ведь нельзя же предположить, чтобы два тела, положенные рядом, могли уничтожить друг друга; следовательно, свет не может быть веществом. Мы доказали только то, что одна часть света может быть совершенно противоположна другой части, совершенно так же, как  $+a$  совершенно противоположно  $-a$ , чем бы  $a$  ни было. Между физическими величинами есть такие, которые способны изменять свой знак, и есть такие, которые не могут изменять знака. Так, перемещение в одну сторону совершенно противоположно равному перемещению в обратную сторону. Такие величины служат мерами не вещества, а всегда процессов, имеющих место в веществе. Отсюда мы заключаем, что свет не вещество, а процесс, происходящий в веществе, причем процесс, происходящий в первой части света, всегда противоположен процессу, происходящему в тот же момент во второй части, так что когда две эти части будут соединены вместе, никакого действия не будет. Чтобы определить природу того процесса, который имеет место в луче, мы изменяем длину пути одной или обеих частей луча и находим, что свет гаснет всякий раз, как разность длины путей равна нечетному числу некоторых малых расстояний, называемых длиной полуволны. Во всех остальных случаях будет большая или меньшая степень света; а когда пути равны или когда их разность составляет целое число волн, то экран кажется освещенным вчетверо ярче, чем когда на него падает только одна часть луча. В обыкновенной форме опыта эти различные случаи имеют место одновременно в различных точках экрана, так что мы видим на экране ряд полос, состоящий из темных линий, равноотстоящих одна от другой, с светлыми полосами между ними, с определенной градацией изменения яркости.

Если рассматривать, что происходит в различных точках на оси светового луча в один и тот же момент, то найдем, что если расстояние между точками равно целому числу волн, то в этих точках в один и тот же момент совершается одинаковый процесс, если же расстояние равно нечетному числу полуволн, то процесс, имеющий место в одной точке, совершенно противоположен процессу, происходящему в другой точке.

Известно, что свет распространяется с определенной скоростью (согласно Корню, в пустоте со скоростью

$3,004 \cdot 10^{10}$  сантиметров в секунду). Если, следовательно, предположить, что некоторая движущаяся точка идет вдоль луча с этой скоростью, то мы найдем, что в каждой точке луча, когда наша движущаяся точка туда приходит, совершается один и тот же процесс. Если же на оси луча представить себе неподвижную точку, то в ней будет совершаться быстрая смена противоположных процессов, причем промежуток времени между двумя одинаковыми процессами равен времени, необходимому свету на прохождение расстояния в одну длину волны.

Эти явления можно резюмировать в форме математического выражения

$$u = A \cos (nt - px + a),$$

которым определяется  $u$  — фаза процесса в точке луча, отстоящей от неподвижной точки на расстоянии  $x$ , в момент  $t$ .

Что же касается природы процесса, то ее мы не определяли. Это может быть перемещение, либо вращение, либо электрическое возмущение, либо какая угодно физическая величина, способная принимать и положительные и отрицательные значения. Какова бы ни была природа процесса, но если он может быть выражен уравнением этой формы, то процесс, происходящий в нашей неподвижной точке, называется *колебанием*; постоянная  $A$  называется *амплитудой*; время  $\frac{2\pi}{n}$  называется *периодом*; а  $nt - px + a$  есть *фаза*.

Конфигурация в данный момент называется *волной*, а расстояние  $\frac{2\pi}{p}$  *длиной волны*. Скорость распространения есть  $\frac{n}{p}$ . Если рассматривать различные части среды, когда в них последовательно происходит тот же самый процесс, то словом «волнообразный» мы обозначаем этот характер процесса без всякого ограничения его физической природы.

Дальнейшие сведения о физической природе процесса мы черпаем из того факта, что если два луча поляризованы и если плоскость поляризации одного из них поворачивать вокруг оси луча, то, когда обе плоскости поляризации будут параллельны, появятся вышеописанные явления интерференции. Если поворачивать плос-

кость далее, то темные и светлые полосы сделаются уже не так отчетливы, и если плоскости поляризации будут образовывать прямой угол, то освещение экрана делается равномерным, и никаких следов интерференции заметно не будет.

Следовательно, физический процесс, представляемый распространением света, должен быть не только величиной, обладающей направлением, должен быть не только вектором, способным менять свое направление на противоположное, но этот вектор должен стоять к лучу под прямым углом и находиться либо в плоскости поляризации, либо в плоскости, ей перпендикулярной. Френель предполагал, что это есть перемещение среды, перпендикулярное к плоскости поляризации. Маккуллаг и Нейман предполагали, что это — перемещение в самой плоскости поляризации. Сравнение этих двух теорий нужно отложить до рассмотрения явлений в плотных средах.

Но этот процесс может быть и электромагнитным, и так как в этом случае электрическое смещение и магнитное возмущение друг другу перпендикулярны, то можно предположить, что любое из них совершается в плоскости поляризации.

Все, что было сказано относительно излучений, действующих на наш глаз и называемых нами светом, приложимо также и к тем излучениям, которые не производят на наш глаз никакого светового впечатления, так как наблюдались явления интерференции и измерены были длины волн и в случае излучения, о которых мы узнаем только по их тепловым или по их химическим действиям.

*Упругость, твердость и плотность эфира.* Определив таким образом геометрический характер процесса, мы должны теперь обратить внимание на среду, в которой он имеет место. Какова бы ни была эта среда, мы будем называть ее эфиром.

Во-первых, она способна передавать энергию. Передаваемое ею излучение не только способно действовать на наши чувства, что уже само по себе служит доказательством производимой работы, но и нагревать тела, его поглощающие; а измеряя теплоту, сообщаемую таким телам, можно вычислять энергию излучения.

Во-вторых, эта энергия передается от тела излучаю-

щего телу поглощающему не мгновенно, но некоторое время существует в среде.

Примем ли мы волновую теорию в форме, приданной ей Френелем или Маккуллагом, половина этой энергии существует в форме потенциальной энергии, зависящей от нарушения равновесного состояния элементарных участков среды, а половина — в форме кинетической энергии, производимой движением среды. Следовательно, мы должны предположить, что эфир обладает упругостью, подобной упругости твердого тела, а также, что он имеет конечную плотность. Если взять цифру Пулье, что прямой солнечный свет, падая в течение минуты на квадратный сантиметр, сообщает 1,7633 единиц теплоты, то эта теплота эквивалентна  $1,234 \cdot 10^6$  эргам в секунду. Разделив это число на  $3,004 \cdot 10^{10}$ , т. е. на скорость света в сантиметрах в секунду, мы найдем, что энергия в кубическом сантиметре составляет  $4,1 \cdot 10^{-5}$  эрга. Вблизи Солнца энергия в кубическом сантиметре приблизительно в 46 000 больше, т. е. равна 1,886 эрга. Если, следуя сэру В. Томсону, допустить, что амплитуда не больше одной сотой длины волны, то будет

$$Ap = \frac{2\pi}{100}, \text{ или около } \frac{1}{16}; \text{ так что}$$

Энергия в куб. сантиметре . . . . . =  $\frac{1}{2} \rho V^2 A^2 p^2 = 1,886$  эргам<sup>2</sup>.

Наибольшее тангенциальное на-

пряжение на кв. сантиметр . . . . . =  $\rho V^2 Ap = 30,176$  динам.

Коэффициент упругости эфира . . . . . =  $\rho V^2 = 842,8$

Плотность эфира . . . . . =  $\rho = 9,36 \cdot 10^{-19}$

Коэффициент упругости стали составляет около  $8 \cdot 10^{11}$ , а стекла  $2,4 \cdot 10^{11}$ .

Если бы температура атмосферы всюду была  $0^\circ \text{C}$  и если бы она находилась в равновесии вокруг земли, предполагаемой находящейся в покое, то ее плотность в бесконечном удалении от земли была бы  $3 \cdot 10^{-346}$ , что почти в  $1,8 \cdot 10^{327}$  раз меньше указанной плотности эфира. Следовательно, в межпланетном пространстве плотность эфира весьма велика в сравнении с плот-

\* [Числа этого столбца неверно выведены из данных. Их нужно заменить числами: 1,886; 60,352; 965,632 и  $1,07 \cdot 10^{-18}$ ].

ностью разреженной атмосферы межпланетного пространства, но вся масса эфира внутри сферы, радиус которой равен расстоянию до самой отдаленной планеты, весьма мала сравнительно с массой самих планет\*.

*Эфир отличен от обыкновенной материи.* Когда свет движется через воздух, то очевидно, что среда, по которой свет распространяется, не есть самый воздух, потому что, во-первых, воздух не может передавать поперечных колебаний, а продольные колебания, им передаваемые, распространяются почти в миллион раз медленнее света. Твердые прозрачные тела, как стекло и кристаллы, без сомнения, способны передавать поперечные колебания, но скорость передачи ими этих колебаний все-таки в сотни тысяч раз меньше скорости, с которой свет передается через эти тела. Следовательно, мы вынуждены принять, что среда, по которой свет распространяется, есть нечто отличное от прозрачной среды нам известной, хотя она и проникает во все прозрачные тела, а, вероятно, также и в тела непрозрачные.

Однако, скорость света различна в различных прозрачных средах, и, следовательно, мы должны предположить, что эти среды принимают некоторое участие в процессе, и что их частицы колеблются, как и частицы эфира. Однако, энергия колебания частиц обыкновенного вещества должна быть значительно меньше энергии эфира, ибо иначе количество падающего света, отражающегося при переходе луча из пустоты в стекло или из стекла в пустоту, было бы гораздо больше, чем это бывает на самом деле.

*Относительное движение эфира.* Итак, эфир внутри плотных тел мы должны рассматривать как нечто такое, что слабо связано с плотными телами, и теперь нам нужно исследовать, несут ли с собой эти твердые тела, когда они движутся по великому океану эфира, содержащийся в них эфир или эфир проходит сквозь них подобно тому, как морская вода проходит сквозь ячейки сети, которая тянется за лодкой. Если бы можно было определить скорость света, наблюдая время, употребляемое им на прохождение от одного

---

\* См. сэр В. Томсон, *Trans. R. S. Edin.*, vol. XXI, стр. 60.



пункта до другого на поверхности земли, то, сравнивая наблюдаемые скорости движения в противоположных направлениях, мы могли бы определить скорость эфира по отношению к этим земным пунктам. Но все методы, которые можно применить к нахождению скорости света из земных опытов, зависят от измерения времени, необходимого для двойного перехода от одного пункта до другого и обратно, и увеличение этого времени вследствие относительной скорости эфира, равное скорости земли на ее орбите, составило бы всего около одной стомиллионной доли всего времени перехода и было бы, следовательно, совершенно незаметно.

Теория движения эфира едва ли достаточно развита, чтобы позволить нам составить строго математическую теорию абберации света, принимая в соображение движение эфира. Тем не менее проф. Стокс показал, что, согласно весьма вероятной гипотезе относительно движения эфира, на величину абберации это движение не должно заметным образом влиять.

Единственный возможный способ прямого определения относительной скорости эфира по отношению к солнечной системе заключается в сравнении значений скорости света, выведенных из наблюдений затмений спутников Юпитера, когда Юпитер виден с земли приблизительно в противоположных точках эклиптики.

Араго предложил сравнивать отклонения луча света, посылаемого звездой, по выходе его из ахроматической призмы, причем направление луча в призме образовывало бы различные углы с направлением движения земли по ее орбите. Если бы эфир передвигался в призме быстро, то можно было бы ожидать, что отклонение неодинаково, в зависимости от того, было ли направление света таково же как и направление движения эфира, или эти направления были противоположны.

Автор\* расположил опыт более удобным образом, взяв обыкновенный спектроскоп, в котором щель коллиматора была заменена плоским зеркалом. Перекрещивающиеся нити наблюдательной трубы были освещены

---

\* *Phil. Trans.*, CLVIII (1868), p. 532. [Сообщено проф. Максвеллом д-ру Гюггину и включено им в мемуар о спектрах некоторых звезд и туманностей].

щены. Свет от некоторой точки нити проходил сквозь объектив, а затем сквозь призмы в виде пучка параллельных лучей, оттуда падал на объектив коллиматора, сходил в фокусе зеркала, которое отражало его, снова проходил через объектив и образовывал пучок, прошедший сквозь каждую призму параллельно своему первоначальному направлению, так что объектив наблюдательной трубы сводил его в фокус, совпадавший с той точкой перекрещенных нитей, из которой вначале он вышел. Так как изображение совпадало с предметом, то его нельзя было видеть прямо, но, отклоняя пучок путем отражения части его от плоской стеклянной поверхности, было найдено, что можно было отчетливо различать изображение тончайшей паутины, хотя свет, дававший изображение, дважды прошел сквозь три призмы под углом  $60^\circ$ . Сперва прибор поставлен был так, чтобы направление света при первом прохождении сквозь вторую призму совпадало с направлением движения земли по ее орбите. Затем прибор поворачивали так, чтобы направление света было противоположно направлению движения земли. Если эта причина увеличивала либо уменьшала отклонение луча призмой на первом пути, то это отклонение было бы уменьшено либо увеличено на обратном пути и изображение появилось бы по одну сторону от предмета. Если прибор повернуть кругом, оно появилось бы по другую сторону. Опыт производили в разные времена года, но получались только отрицательные результаты. Однако, из этого опыта еще нельзя сделать решительного заключения, что эфир близ земной поверхности увлекается вместе с землей по ее орбите, ибо Стокс \* показал, что, согласно гипотезе Френеля, относительная скорость эфира внутри призмы относилась бы к скорости эфира вне ее обратно пропорционально квадрату показателя преломления и что в этом случае отклонение не изменялось бы заметным образом вследствие движения призмы в эфире.

Однако Физо \*\*, наблюдая изменение плоскости поляризации света, пропускаемого наклонно сквозь ряд стеклянных пластинок, получил, как он думает, дока-

---

\* *Phil. Magaz.*, 1846, p. 53.

\*\* *Ann. de Chimie et de Physique*, Feb., 1860.

зательство разницы в результате соответственно различию направления луча в пространстве, а Ангстрем пришел к подобным же результатам путем диффракции. Автору неизвестно, подвергались ли эти весьма трудные опыты повторной проверке.

В другом опыте Физо, заслуживающем, повидимому, большого доверия, он наблюдал, что распространение света в текущей воде совершается с большей скоростью в направлении движения воды, нежели в противоположном направлении, но что изменение скорости меньше того, которое имело бы место вследствие действительной скорости воды, и что явление не наблюдается, если воду заменить воздухом. Этот опыт, повидимому, скорее подтверждает френелеву теорию эфира; но весь вопрос о состоянии светонесущей среды возле земли и об ее отношении к обыкновенной материи еще далеко не решен опытом.

*Функции эфира в явлениях электромагнетизма.* Фарадей высказывал догадку, что та же самая среда, которая участвует в распространении света, могла бы также быть агентом и в электромагнитных явлениях. «Что касается меня, — говорит он, — то, рассматривая отношение пустоты к магнитной силе и общий характер магнитных явлений вне магнита, я скорее склонен думать, что распространение силы есть действие вне магнита, нежели что эти действия суть простые притяжения и отталкивания на расстоянии. Подобное действие может быть функцией эфира; ибо нет ничего невероятного в том, что если существует эфир, то он имеет и иные функции, кроме простой передачи излучений» \*. Последующие изыскания только подтвердили эту догадку.

Электрическая энергия бывает двоякого рода, электростатическая и электрокинетическая. У нас имеются основания к допущению, что первая зависит от свойства среды, в силу которого электрическое смещение вызывает электродвижущую силу в противоположном направлении, причем электродвижущая сила для единицы смещения обратно пропорциональна диэлектрической постоянной среды.

С другой стороны, электрокинетическая энергия есть

---

\* Experimental Researches, 3075.

просто энергия движения, вызываемого в среде электрическими токами и магнитами, причем это движение не ограничивается несущими ток проволоками или магнитами, но существует всюду, где только можно найти магнитную силу.

*Электромагнитная теория света.* Итак, свойства электромагнитной среды, насколько можно судить, подобны свойствам светонесущей среды, но лучший способ для их сравнения между собой состоит в определении скорости, с которой электромагнитное возмущение распространяется в среде. Если бы она равнялась скорости света, то у нас были бы веские основания к допущению, что обе среды, занимая, как и есть на деле, то же самое пространство, в действительности тождественны. Данные, на которых можно основывать вычисления, доставляются опытами, которые были сделаны с целью сравнения электромагнитной системы единиц с электростатической. Скорость распространения электромагнитного возмущения в воздухе, как она вычислена на основании различных данных, не больше отличается от скорости света в воздухе, как она определена различными наблюдателями, чем множество вычисленных значений этих количеств разнятся одно от другого.

Если скорость распространения электромагнитного возмущения равна скорости света в других прозрачных средах, то в немагнитных средах диэлектрическая постоянная должна быть равна квадрату показателя преломления.

Больцман\* нашел, что это хорошо оправдывается для газов, им исследованных. Жидкости и твердые тела обнаруживают значительные отклонения от этого соотношения, но мы едва ли можем надеяться даже на приблизительную проверку, если будем сравнивать результаты наших медленно протекающих электрических опытов со световыми колебаниями, совершающимися миллиарды раз в секунду.

Волновая теория в форме, рассматривающей явления света как движение упруго-твердого тела, до сих пор борется с разного рода трудностями\*\*.

---

\* *Wiener Sitzb.*, 23, April, 1874.

\*\* См. Стокс, Report on Double Refraction, *British Ass. Report*, 1862, p. 253.

Первая и самая важная из них та, что теория указывает возможность колебаний нормальных к поверхности волны. Единственное средство объяснить себе тот факт, что оптические явления, которые могли бы возникнуть благодаря этим волнам, не могут иметь места, это — допустить, что эфир несжимаем.

Вторая трудность, это — трудность ответить на вопрос, почему явления отражения лучше объясняются гипотезой, что колебания перпендикулярны к плоскости поляризации, между тем как явления двойного преломления требуют от нас допущения, что колебания совершаются в этой плоскости?

Третья трудность заключается в том, что для объяснения того факта, что в двупреломляющих кристаллах скорость лучей во всякой главной плоскости, поляризованных в этой плоскости, одинакова, мы должны допустить некоторые в высшей степени искусственные соотношения между коэффициентами упругости.

Электромагнитная теория света удовлетворяет всем этим требованиям единственной гипотезой\* а именно, что электрическое смещение перпендикулярно к плоскости поляризации. Никаких нормальных смещений существовать не может, и допускается, что в двупреломляющих кристаллах диэлектрическая постоянная для каждой главной оси равна квадрату показателя преломления луча, перпендикулярного к этой оси и поляризованного в плоскости, перпендикулярной к этой оси. Больцман\*\* нашел, что эти соотношения приблизительно верны в случае кристаллизованной серы — тела, имеющего неравные оси. Диэлектрические постоянные для этих осей соответственно равны:

4,773	3,970	3,811
-------	-------	-------

а квадраты показателей преломления:

4,576	3,886	3,591
-------	-------	-------

*Физическое строение эфира.* Каково строение эфира? Молекулярное оно или эфир непрерывен?

---

\* Over de theorie der terugkaatsing en breking van het licht. Akademisch Proefschrift door H. A. Lorentz, Arnhem, K. van der Zande, 1875.

\*\* Über die Verschiedenheit der Dielectricitätsconstante des kristallisirten Schwefels nach verschiedenen Richtungen, von Ludwig Boltzmann, Wiener Sitzb., 8 Oct., 1874.

Мы знаем, что эфир передает поперечные колебания на весьма большие расстояния без чувствительной потери энергии путем рассеяния. Молекулярная среда, движущаяся при условии, что группа соседних друг другу молекул остается группой соседних друг другу молекул и во все время движения, способна передавать колебания без большого рассеяния энергии, но если движение таково, что группы молекул не просто слегка изменяются в конфигурации, но совершенно разбиваются, так что составляющие их молекулы переходят в новые типы группировок, то при переходе от одного типа группировок к другому энергия правильных колебаний рассеивается в энергию хаотических движений, которую мы называем теплотой.

Следовательно, нельзя допустить, что строение эфира подобно строению газа, в котором молекулы находятся всегда в состоянии хаотического движения, ибо в такой среде поперечное колебание на протяжении одной длины волны ослабляется до величины менее чем одна пятисотая начальной амплитуды. Если эфир имеет молекулярное строение, то группировка молекул должна сохранять один и тот же тип и конфигурация групп должна только слегка изменяться во время движения.

Тольвер Престон\* предположил, что эфир подобен газу, молекулы которого чрезвычайно редко сталкиваются друг с другом, так что их средний свободный пробег гораздо больше всяких планетных расстояний. Он не исследовал свойств такой среды сколько-нибудь обстоятельно, но легко видеть, что мы можем составить теорию, по которой молекулы *никогда* не сталкивались бы одна с другой при их поступательном движении, но летали бы во всех направлениях со скоростью света; и если, далее, мы предположим, что колеблющиеся тела имеют способность сообщать этим молекулам некоторые векторные свойства (как, например, вращение около осей), которые не мешали бы их поступательному движению, — свойства, которые молекулы носили бы с собой, и если изменение среднего значения этого вектора для всех молекул внутри элемента объема было бы процессом, который мы называем светом, тогда

---

\* *Phil. Mag.*, Sept. and Nov. 1877.

уравнения, выражающие это среднее, будут точно такой же формы, как и уравнения, выражающие смещение в обыкновенной теории.

Часто утверждают, что тот простой факт, что среда упруга или сжимаема, есть доказательство того, что она не непрерывна, но составлена из отдельных частиц, разделенных пустыми промежутками. Но нет ничего несовместимого с опытом в предположении, что упругость или сжимаемость суть свойства каждой части, как бы мала она ни была, и можно представить, что вся среда разделена на такие части, а в таком случае среда была бы строго непрерывна. Среда, однородная и непрерывная в отношении ее плотности, может быть, однако, сделана разнородной ее движением, как, например, в гипотезе сэра В. Томсона о вихревых молекулах в совершенной жидкости (см. статью «Атом»).

Эфир, если это — среда электромагнитных явлений, по всей вероятности, молекулярен, по крайней мере в этом смысле.

Сэр В. Томсон \* показал, что влияние магнетизма на свет, открытое Фарадеем, зависит от направления движения движущихся частиц, и что оно указывает на вращательное движение в среде, когда она намагничена. См. также Максвелла *Treatise an Electricity and Magnetism*, § 806 и след.

Затем, очевидно, что это вращение не может быть вращением среды как целого около некоторой оси, так как магнитное поле может иметь некоторую ширину, и нет никаких доказательств существования движения, скорость которого возрастает с расстоянием от одной постоянной линии в поле. Если существует здесь вращательное движение, то оно должно быть вращением весьма малых участков среды, каждого около его собственной оси, так что среда должна распадаться на множество молекулярных вихрей.

У нас пока нет данных, из которых можно было бы определить размеры или число этих молекулярных вихрей. Но мы знаем, что магнитная сила в некоторой области вокруг магнита сохраняется, пока сталь удерживает свой магнетизм, и так как у нас нет оснований к допущению, что магнит может потерять весь свой

---

\* *Proceedings of the Royal Society*, June, 1856.

магнетизм просто с течением времени, то мы заключаем, что молекулярные вихри не требуют постоянной затраты работы на поддержание своего движения и что, следовательно, это движение не необходимо ведет за собой рассеяние энергии.

Пока еще не создано такой теории строения эфира, которая объясняла бы систему молекулярных вихрей, сохраняющихся неограниченное время без постоянного рассеяния своей энергии в то хаотическое движение среды, которое в обыкновенных средах называют теплотой.

С какими бы трудностями в наших попытках выработать состоятельное представление о строении эфира ни приходилось нам сталкиваться, но несомненно, что межпланетное и межзвездное пространства не суть пространства пустые, но заняты материальной субстанцией или телом, самым обширным и, нужно думать, самым однородным, какое только нам известно.

Приспособлен ли этот широко разлившийся однородный океан изотропной материи к тому, чтобы не только быть средой физического взаимодействия между удаленными телами и выполнять другие физические функции, о которых, может быть, пока мы не имеем никакого понятия, но и к тому, чтобы, как внушает нам автор «Невидимой Вселенной» [38], образовать собой материальный организм существ, у которых функции жизни и мысли так же высоки или даже выше, нежели наши, это — вопрос, лежащий далеко за пределами умозрений физики.



## ФАРАДЕЙ

(Из Encyclopaedia Britannica)

Михаил Фарадей, химик, исследователь электричества и физик, родился в Ньюингтоне в Сэррее 22 сентября 1791 г. и умер в Гэмптон-Корте 25 августа 1867 г. Его родители переехали из Йоркшира в Лондон, где отец его работал кузнецом. Сам Фарадей поступил в ученики к переплетчику г. Рибо. Письма, написанные им в то время своему другу Венъямину Абботу, дают нам яркое представление о его жизненных целях и о его методе самовоспитания в тот период, когда ум его начинал обращаться к экспериментальному изучению природы. В 1812 г. м-р Дэнс, один из клиентов его хозяина, повел его на четыре лекции сэра Гэмфри Дэви. Фарадей записал эти лекции, а затем обработал их в более пространной форме. Поощряемый Дэнсом, он написал сэру Г. Дэви письмо, посылая эти записки. «Ответ пришел немедленно, был любезен и благоприятен». Фарадей продолжал работать в качестве подмастерья у переплетчика до 1 марта 1813 г., когда он был зачислен, по рекомендации сэра Г. Дэви, ассистентом в лабораторию Британского королевского института. Он был назначен директором лаборатории 7 февраля 1825 г., а в 1833 г. получил пожизненную фуллертоновскую профессию по химии в Институте, без обязательства чтения лекций. Таким образом, он оставался в Институте в течение 54 лет. Он сопровождал сэра Г. Дэви в путешествии по Франции, Италии, Швейцарии, Тиролю, в Женеву и т. д., с 13 октября 1813 г. по 23 апреля 1815 г.

В своей первой химической работе Фарадей следует по пути, открытому Дэви, у которого он работал ассистентом. Он специально изучал хлор и открыл два новых хлористых соединения углерода. Он произвел

также первые, ориентировочные опыты с диффузией газов, явлением, на которое впервые указал Дальтон и физическое значение которого было более полно освещено Грэхемом и Лошмидтом. Ему удалось произвести сжижение нескольких газов. Он исследовал сплавы стали и получил целый ряд новых сортов стекла для оптических целей. Кусок одного из этих тяжелых стекол приобрел впоследствии историческое значение как вещество, в котором Фарадей открыл вращение плоскости поляризации света, при помещении стекла в магнитное поле, а также — как первое вещество, которое оттолкнули полюсы магнита. Он пытался также, довольно успешно, сделать предметом специального изучения и популярного изложения общие методы химии, независимо от получаемых результатов.

Но химические работы Фарадея, как значительны они ни были сами по себе, скоро совершенно затмились его открытиями в области электричества. Первым опытом, который он отметил в записках, было составление им вольтова столба из семи кружков листового цинка, из семи полупенсовиков и шести кусочков бумаги, смоченных соленой водой. При помощи этого столба он разложил серноокислый магний (первое письмо к Абботту 12 июля 1812 г.). С тех пор, какие бы другие вопросы ни привлекали время от времени его внимание, он всегда выбирал среди электрических явлений те проблемы, на которые он обращал всю силу своего мышления и которыми он постоянно занимался, даже тогда, когда год за годом его попытки разрешить их терпели неудачу.

Его первым значительным открытием было получение непрерывного вращения друг вокруг друга магнитов и проводов, по которым идет электрический ток. Следствия, которые можно вывести из великого открытия Эрстеда (21 июля 1820 г.), все еще весьма смутно понимали даже самые передовые люди науки. Правда, д-р Волластон питал надежды, что ему удастся заставить провод, по которому идет электрический ток, вращаться вокруг собственной оси, и приходил в 1821 году вместе с Дэви в лабораторию Королевского института, чтобы произвести этот опыт. Фарадей при этом не присутствовал, но, придя потом, слышал разговор о предполагаемом вращении провода.

В июле, августе и сентябре того же года Фарадей написал для журнала *Annals of Philosophy*, по просьбе г-на Филлипса, издателя этого журнала, исторический очерк об электромагнетизме и повторил почти все опыты, описанные им. Это привело его в начале сентября к открытию метода получения непрерывного вращения провода вокруг магнита и магнита вокруг провода. Ему не удалось заставить провод или магнит вращаться вокруг собственной оси. Этот первый успех Фарадея в исследованиях по электромагнетизму послужил поводом чрезвычайно тяжелых, хотя и необоснованных нападков на него. Мы не будем заниматься этим вопросом, отсылая читателя к книге Бенс Джонса «Life of Faraday».

Мы можем, однако, заметить, что хотя самый факт существования тангенциальной силы между электрическим током и полюсом магнита был уже высказан Эрстедтом и ясно понимался Ампером, Волластоном и другими, но осуществление непрерывного вращения друг вокруг друга провода и магнита было научной задачей, требовавшей не мало остроумия для своего первоначального разрешения. Действительно, с одной стороны, электрический ток всегда образует замкнутую цепь, а с другой стороны, оба полюса магнита имеют равные, но противоположные свойства и неразрывно связаны, так что каждому стремлению одного из полюсов двигаться вокруг линии тока в одном направлении противостоит равная тенденция другого полюса вращаться в противоположном направлении, и, таким образом, один полюс не может ни заставить второй полюс двигаться вокруг проволоки, ни оторваться от него. Вращение не может быть осуществлено, если мы не примем в той или иной форме остроумного решения Фарадея, заставившего ток разделиться в некоторой точке своего пути на два канала, по одному соответственно каждой половине магнита, таким образом, чтобы во время вращения магнита ток переходил из канала, находящегося сверху, в канал, находящийся снизу, так, чтобы середина магнита могла проходить сквозь линию тока, не прерывая ее, подобно тому как Кир провел свою армию посуху через Кинд, отведя реку в канал, прорытый для этого в тылу.

Мы должны теперь перейти к открытию, увенчав-

шему его исследования, к открытию индукции электрических токов.

В декабре 1824 г. он пытался получить электрический ток при помощи магнита и трижды делал тщательные, но безуспешные попытки получить ток в одном проводе при помощи тока в другом проводе или при помощи магнита. Он продолжал упорствовать и 29 августа 1831 г. получил первое доказательство того, что электрический ток может индуцировать ток в другой цепи. 23 сентября он пишет своему другу Р. Филлипсу: «Я теперь занимаюсь опять электромагнетизмом и думаю, что попал на удачную вещь, но не могу еще утверждать это. Очень может быть, что после всех моих трудов я в конце концов вытащу водоросли вместо рыбы». Это был его первый удачный опыт. Еще через девять дней опытов он достиг результатов, описанных в его первой серии «Опытных исследований» (Experimental Researches) и доложенных в Королевском Обществе 24 ноября 1831 г.

Напряженным усилием своего мышления он меньше чем в три месяца развил новую идею из первоначального состояния ее до полной зрелости. Все величие и оригинальность фарадеевского достижения могут быть оценены путем рассмотрения последующей истории этого открытия. Как и следовало ожидать, оно немедленно сделалось предметом исследований со стороны всего научного мира. Но некоторые из наиболее опытных физиков оказались неспособными избежать ошибок в формулировке изучаемого явления, полагая при этом, что они применяют более научный язык, чем язык Фарадея. До настоящего времени математики, отбросившие фарадеевский метод формулирования его закона, как несоответствующий точности их науки, никогда не могли изобрести никакой другой существенно отличной формулы, которая бы полно изображала явление, не вводя гипотезы о взаимном действии вещей, не имеющих физического существования, как, например, элементы токов, вытекающих из ничего, затем текущих по проводу и, наконец, снова погружающихся в ничто.

После почти полувековой работы этого рода мы можем сказать, что хотя практические применения открытия Фарадея возросли и возрастают по количеству и

по значению с каждым годом, не было найдено ни одного исключения из формулировки этих законов, данной Фарадеем, не прибавлен ни один новый закон, и его первоначальная формулировка и по сей день остается единственной, утверждающей не более того, что может быть проверено опытом, и единственной, при помощи которой теория этого явления может быть выражена строго и численно точно, оставаясь в то же время в рамках элементарных методов изложения.

В течение первого периода своих открытий Фарадей установил, кроме открытия индуктивного действия электрических токов, тождественность электризации, производимой разными способами; затем, закон об определенном электролитическом действии тока и факт, которому он придавал огромное значение, — что каждая единица положительной электризации определенным образом связана с единицей отрицательной электризации, так что невозможно получить то, что Фарадей называл «абсолютным электрическим зарядом» одного рода, не связанным с равным зарядом противоположного рода.

Он открыл также различие в свойстве разного рода веществ принимать участие в электрической индукции — факт, лишь в последние годы признанный учеными на континенте. Впрочем, из неопубликованных до последнего времени бумаг Генри Кавендиша видно, что он не только открыл еще до 1773 г., что стекло, воск, шеллак и камедь имеют более высокую удельную индуктивную емкость, чем воздух, но и действительно определил численное соотношение этих постоянных. Это, конечно, было неизвестно как Фарадею, так и всем остальным физикам его времени.

Первый период открытий Фарадея в области электричества продолжался 10 лет. В 1841 г. он нашел, что ему необходим отдых, и лишь в 1845 году он вступил во второй период замечательных исследований, в течение которого он открыл действие магнетизма на поляризованный свет и явление диамагнетизма.

Фарадей давно уже думал о возможности использования луча поляризованного света как средства исследования состояния прозрачных тел, находящихся под действием электрических и магнитных сил. Д-р Бенс Джонс (*Life of Faraday*, vol. I, стр. 362) приводит сле-

дующую заметку из лабораторного дневника Фарадея от 10 сентября 1822 г.:

«Поляризовал отражением луч лампы и пытался определить, оказывает ли на него какое-нибудь деполляризирующее действие вода, помещенная между обоими полюсами вольтового столба в стеклянном сосуде; однажды пользовался волластоновским сосудом; разлагаемыми жидкостями являлись чистая вода, слабый раствор сернокислого натрия и крепкая серная кислота. Ни одна из них не оказала никакого влияния на поляризованный свет ни в том случае, когда она была включена в электрическую цепь, ни в том случае, когда она не была включена, так что таким способом нельзя было установить никакого специального расположения частиц».

Одиннадцать лет спустя мы находим в его записной книжке другие записи от 2 мая 1833 г. («Life» Венса Jones, vol. II, стр. 29). Он пытался исследовать не только действие постоянного тока, но и действие прерывания его.

«Поэтому я не думаю, чтобы разлагающиеся растворы или вещества оказывали в результате разложения или перегруппировок какое бы то ни было действие на поляризованный луч. Я испытаю теперь неразлагающиеся тела — как твердую селитру, азотнокислое серебро, буру, стекло и др. — в твердом состоянии, чтобы посмотреть, создается ли какое-нибудь внутреннее состояние, которое разрушается при разложении, т. е. существует ли, когда их нельзя разложить, какое-либо состояние электрического напряжения. Мое стекло с бурой хорошо и обычное электричество лучше вольтаического».

6 мая он производит дальнейшие опыты и заключает: «Следовательно я не вижу никаких причин для того, чтобы предполагать, что можно сделать явной какую-либо структуру или напряжение в разлагающихся или в неразлагающихся телах, находящихся в состоянии непроводимости или же проводимости».

Подобные упомянутым выше опыты были недавно произведены в Глазго д-ром Кэрром, полагающим, что он получил явное свидетельство действия на луч поляризованного света, когда электрическая сила перпендикулярна к лучу и наклонена под углом в  $45^\circ$  к пло-

скости поляризации. Однако, многие физики не были в состоянии получить результатов Кэрра.

Наконец, в 1845 г. Фарадей взялся за старую проблему, но на этот раз с полным успехом. Прежде чем описать полученные им результаты, мы упомянем о том, что в 1862 г. он избрал вопрос о связи между светом и магнетизмом предметом своей последней экспериментальной работы. Он пытался, но безуспешно, открыть какое-либо изменение в спектральных линиях пламени, подвергнутого действию мощного магнита.

Эта длинная серия исследований является примером его настойчивости. Его энергия проявилась в том пути, которому он следовал при своем открытии и в конце которого он все же добился успеха. Впервые явление вращения плоскости поляризации света под действием магнетизма было получено им 13 сентября 1845 г.; прозрачным веществом служило изобретенное им же тяжелое стекло.

30 августа 1845 г. он начал работать над проблемой прохождения поляризованного света сквозь электролиты. Через три дня он работал с обычным электричеством, пробуя стекло, тяжелое оптическое стекло, кварц, исландский шпат — все безрезультатно, так же как и при предыдущих попытках. 13 сентября он работал над линиями магнитных сил. Исследовались воздух, флинт, стекло, горный хрусталь, известковый шпат — но все безрезультатно.

«Производились опыты с тяжелым стеклом. Оно не дало никаких результатов ни когда одинаковые магнитные полюсы или противоположные полюсы находились по разные стороны (относительно направления поляризованного луча), ни когда оба одинаковых полюса находились по одну сторону как при постоянном, так и при прерывистом токе. Но когда противоположные полюсы находились с одной стороны, то имелось воздействие на поляризованный луч, и таким образом было доказано, что магнитная сила и свет находятся в каком-то соотношении. Весьма вероятно, что этот факт окажется чрезвычайно плодотворным и весьма важным в деле исследования условий проявления сил природы».

Он немедленно продолжает исследовать другие вещества, но «без результатов» и заканчивает, говоря:

«с меня хватит на сегодня». 18 сентября он «великолепно поработал весь день». В течение сентября он работал четыре дня, в октябре — шесть, а 6 ноября он послал в Королевское общество 19-ю серию своих «Experimental Researches», в которых полностью излагаются все условия получения явлений. Отрицательное вращение в ферромагнитной среде — единственный важный факт, который оставалось открыть. (Впоследствии открыт в 1856 г. Верде.)

Его работа этого года еще не была закончена. 3 ноября был получен новый подковообразный магнит, и Фарадей немедленно начинает экспериментировать над действием магнита на поляризованный луч, проходящий через газы, но безрезультатно. На следующий день он повторяет опыт, не давший никакого результата 6 октября. Стержень из тяжелого стекла был подвешен на шелковой нити между полюсами нового магнита. «Когда это было сделано и стержень пришел в состояние покоя, я обнаружил, что мог воздействовать на него магнитными силами и придавать ему некоторое положение». К 6 декабря он послал Королевскому обществу 20-ю, а 24 декабря 21-ю серию своих «Researches», в которых полностью описывались свойства диамагнитных тел. Таким образом два великих открытия были разработаны, как и одно его более раннее открытие, в течение приблизительно трех месяцев.

Открытие магнитного вращения плоскости поляризации света, хотя и не вело к столь же важным практическим применениям, как некоторые из более ранних открытий Фарадея, имело для науки величайшую ценность, так как давало полное динамическое доказательство того, что, где бы ни существовали магнитные силы, там есть материя, малые частицы которой вращаются вокруг осей, параллельных направлению этой силы.

Мы привели несколько примеров сосредоточенных усилий Фарадея для отождествления, казалось бы, различных сил природы, его дальновидности при выборе предмета исследования, его настойчивости в преследовании поставленной перед собой цели, энергии, с которой он разрабатывал результаты своих исследований, и точности и полноты окончательных формулировок законов явлений.



Особенности исследовательского духа Фарадея легко обнаружить, читая его произведения. Но в его натуре была и другая сторона, которой он придавал не меньшее значение и которая проявлялась в его отношении к друзьям, к семье и к церкви, к которой он принадлежал.

Его письма, его беседы, всегда были полны содержанием, могущим вызвать живой интерес, и никогда не содержали ничего порождающего недоброжелательство. В тех редких случаях, когда ему приходилось, выходя из области науки, вступать на поприще полемики, он ограничивался установлением фактов, предоставляя им говорить самим за себя. Он был совершенно свободен от гордыни и самовосхваления. В период расцвета его творческих сил, он всегда с благодарностью принимал всякую поправку и пользовался всяким даже самым скромным указанием, которое позволяло ему внести улучшение в какую-либо деталь его работы. Когда, к концу жизни, его память и умственная мощь стали ослабевать, он незаметно и без жалобы отказался от всей той части своей работы, которую не мог более вести с той эффективностью, которую считал необходимой. Когда же он не мог более заниматься наукой, то удовлетворился спокойной жизнью, посвященной дружеским и семейным привязанностям, которые он лелеял не менее усердно, чем научные свои труды.

## ПРИМЕЧАНИЯ РЕДАКТОРА

1. Британская ассоциация прогресса науки — научное общество, поставившее себе целью поддержание и развитие наук, ежегодно созывающее съезд в одном из городов Англии. Работа съезда, после вступительной речи председателя на объединенном заседании, происходит по секциям.

2. Секция А — математическая и физическая секция Британской ассоциации.

3. Тетралогия — драматическое произведение, состоящее из четырех частей.

4. Вопрос о классификации физических величин Максвелл рассматривает подробно в статье «О математической классификации физических величин».

5. Конт в своей классификации наук отводил астрономии второе, после математики, место, ограничивая пределы исследования астрономии только законами движения небесных тел, выведенными из законов механики. Физико-химические явления, происходящие в небесных телах, Конт совсем исключал из пределов астрономии. Астрофизику, т. е. физико-химическое изучение звезд и небесных тел, он считал невозможной.

6. См. статью «Молекулы».

7. Максвелл имеет в виду вихревую теорию атома, созданную В. Томсоном. Основы этой теории подробно изложены Максвеллом в статье «Атом».

8а. Задача о брахистохроне есть одна из первых задач, на которых развивалось вариационное исчисление. Задача о брахистохроне была предложена Иваном Бернулли в 1696 г. Это — задача о нахождении кривой, соединяющей две произвольно выбранные точки  $A$  и  $B$  и обладающей тем свойством, что тело, движущееся только под действием тяжести, приходит, двигаясь по ней, из точки  $A$  в точку  $B$  в кратчайшее время. Принцип Ферма одинаково справедлив, будем ли мы принимать корпускулярную или волновую природу света. В случае волновой теории света пути минимального времени луча будут ортогональными траекториями волновых поверхностей. Гамильтон, исходя из оптической аналогии, установил принцип наименьшего действия для механических движений.

Аналогия между волновой оптикой и механикой сыграла значительную роль в развитии идей волновой механики (см. Шредингер, «Основная идея волновой механики» в кн. Гейзенбер, Шредин-

гер, Дирак, «Современная квантовая механика». Три нобелевских доклада, ГТТИ, 1934 г.).

86. Ясно, конечно, что здесь речь идет о Германии XIX века, а не о современной Германии, отброшенной фашистским режимом назад, к эпохе средневековья.

9. Канцлер — глава университета. Вначале играл большую роль в его жизни, в настоящее время это более или менее декоративная должность.

10. Естественными причинами Максвелл называет такие причины, в основе которых лежит действие физических законов. Тяготение, например, есть естественная причина падения тел. Классическая физика принимала тождественность и неизменность молекул как факт и не могла этого объяснить на основании каких-либо общих законов. Максвелл считает, что объяснение этих свойств молекул может быть дано в том случае, если будет создана особая теория строения материи, рассматривающая сами молекулы как форму движения некоторой среды. Подобная теория вихревого атома Томсона рассматривается подробно Максвеллом в статье «Атом».

Не исключена, впрочем, возможность того, что в этом месте своей лекции Максвелл отдал дань религиозным настроениям своей эпохи подобно тому, как он делал это более определенно в целом ряде других случаев.

11. Термин *Vis a tergo* был в сущности равнозначен с понятием близкодействия, так как «толчок сзади» рассматривался как передача действия путем непосредственного соприкосновения.

12. См. ниже статью «Эфир».

13. Лейбниц (1646—1716) и Гюйгенс (1629—1697) выступили с резкими возражениями против теории тяготения, данной Ньютоном (1642—1727). Еще Декарт (1596—1650) возражал против тяготения как одного из свойств материи, так как такого рода свойство, не объясняемое движением среды, он считал схоластическим «скрытым качеством» (*qualitas occulta*). Предисловие Котса к «Началам» Ньютона содержит ряд полемических выпадов против Декарта и Лейбница: «Но может быть тяготение следует признать скрытой причиной и исключить из философии потому, что причина самого тяготения неизвестна и никем не найдена. Кто рассуждает таким образом, должен озаботиться, чтобы не впасть в такое противоречие, которое рушит основания всей философии. Причины идут неразрывной цепью от сложнейших к простейшим и когда достигают до причины самой простой, то далее идти некуда. Поэтому простейшей причине нельзя дать механического объяснения, ибо если бы таковое существовало, то эта причина не была бы простейшей. Поэтому, если простейшие причины называть сокровенными и исключать, то придется исключать и непосредственно от них зависящие, затем и происходящие от этих последних, пока философия окажется свободной и очищенной от всяких причин вообще». И далее «Некоторым вся эта небесная физика еще менее нравится, ибо она противоречит Декартовым догматам и едва ли может быть с ними согласована. Пусть они

остаются при своем мнении, но пусть они будут справедливы и предоставят другим такую же свободу, какую они желают, чтобы была предоставлена им. Пусть же нам будет предоставлено право придерживаться ньютоновой философии, которую мы считаем более правильной, и признавать истинными причины, подтверждаемые явлениями, а не такие, которые выдумываются и ничем не подтверждаются».

«Истинной философии подобает выводить природу вещей из причин действительно существующих и изыскивать те законы, которыми великий творец установил прекраснейший порядок сего мира, а не те, которыми он мог бы это сделать, если бы этого пожелал». (Предисловие Котса к «Началам» Ньютона. Ньютон, Математические начала, изд. Николаевской Морской Академии, 1914 г., вып. IV, стр. 12, 13.)

Лейбниц пытался дать свою теорию тяготения и движения небесных тел в своем сочинении. «Tentamen de motuum coelestium causis» в Acta Eruditorum, февраль, 1689 г.

В письме к Гюйгенсу от октября 1690 г. Лейбниц следующим образом характеризует теорию тяготения Ньютона. «Внимательно ознакомившись с книгой г-на Ньютона, которую я впервые видел в Риме, я в должной мере оценил многое из того прекрасного материала, который она содержит. Тем не менее я не понимаю, как Ньютон представляет себе тяжесть или притяжение. Повидимому, в его представлении оно является только неким нематериальным и необъяснимым свойством, тогда как Вы объясняете его очень разумительно законами механики». И далее «Тем не менее, я не решился, вместе с Ньютоном, отбросить воздействие окружающего эфира, и даже теперь я не вполне убежден, что он является излишним. Хотя теория Ньютона и удовлетворяет нас, пока мы рассматриваем только одну планету или одного спутника, но с помощью одного только движения, соединенного с тяжестью, она не может объяснить, почему все планеты одной и той же системы движутся приблизительно по одному и тому же пути и в одном и том же направлении». (Письмо Лейбница Гюйгенсу. Huygens, Oeuvres, ed. de la Haye, vol. IX, стр. 523.) Гюйгенс посвятил проблеме тяготения специальную работу «О тяжести». Однако ни Лейбниц, ни Гюйгенс не смогли получить результаты, достаточно согласующиеся с опытом; в этом отношении теория Ньютона оставалась единственно надежной теорией, дающей точные и согласные с опытом результаты.

14. Роберт Бойль, умерший в 1692 г., назначил в своем завещании сумму в 50 ф. стерлингов на организацию лекций, которые ежегодно должны были читаться в одной из церквей Англии. В этих лекциях-проповедях должны были излагаться доводы в пользу неопровержимости христианства и должно было опровергаться неверие. Первым лектором был избран Бентли, капеллан епископа ворчестерского. Основной темой своих лекций Бентли избрал «Опровержение атеизма».

Соглашаясь с Локком в том, что понятие о божестве не является врожденным, Бентли ищет доказательства существования божества в проявлениях человеческой мысли, в организации живой природы и в строении вселенной. Выведению доказательства существования божества из устройства вселенной Бентли решил посвятить седь-

мую и восьмую лекции, причем основной материал для доказательства он решил заимствовать из рассмотрения физических принципов строения мира, как они даны в «Началах» Ньютона. Чтобы подготовиться к выполнению этой задачи, он обратился к самому Ньютону, от которого получил ряд указаний и список книг, необходимых для ознакомления с вопросом. Своим авторитетом Ньютон немало способствовал укреплению религиозных заблуждений.

15. В отличие от Котса и других своих последователей, сам Ньютон весьма осторожно относился к проблеме действия на расстоянии. Он неоднократно возвращался к вопросу об эфире. Третья книга «Начал» заканчивается следующим известным местом из «Общего поучения»: «Теперь следовало бы кое-что добавить о некотором тончайшем эфире, проникающем все сплошные тела и в них содержащемся, коего силой и действиями частицы тел при весьма малых расстояниях взаимно притягиваются, а при соприкосновении сцепляются, наэлектризованные тела действуют на большие расстояния, как отталкивая, так и притягивая близкие малые тела, свет испускается, отражается, преломляется, уклоняется и нагревает тела, возбуждается всякое чувствование, заставляющее члены животных двигаться по желанию, передаваясь именно колебаниям этого эфира от внешних органов чувств мозгу и от мозга мускулам. Но это не может быть изложено вкратце, к тому же нет и достаточного запаса опытов, коими законы действия этого эфира были бы точно определены и показаны». (Ньютон, Математические начала натуральной философии, Известия Николаевской Морской Академии, вып. V, стр. 592.) В письме к Бойлю от 26 февраля 1673/74 г. Ньютон подробно излагает свою точку зрения на эфир и на возможность объяснения тяготения действием эфира. Приводим отрывок из этого чрезвычайно интересного письма:

«Поскольку вы хотите получить от меня лишь качественное объяснение, я изложу некоторые мои соображения в виде нижеследующих предположений.

1) Во-первых, я полагаю, что все пространство заполнено эфирным веществом, способным к сжатию и расширению, большой упругости и, одним словом, во всех отношениях весьма похожим на воздух, но значительно более тонким.

2) Я предполагаю, что этот эфир проникает все обычные тела, но, однако, таким образом, что в порах их он более разрежен, чем вне их, и тем более разрежен, чем меньше их поры. И я (вместе с другими) предполагаю, что это является причиной, почему падающий на эти тела свет отклоняется по направлению к перпендикуляру, почему две хорошо отполированные поверхности слипаются в сосуде, из которого выкачан воздух, почему ртуть иногда поднимается до верха стеклянной трубки, даже на высоту больше 30 дюймов, — и одной из главных причин, почему сцепляются части всех тел: это и причина фильтрации и подъема воды в узких стеклянных трубках выше поверхности воды, в которую они погружены, так как я предполагал, что эфир может быть более разреженным не только в ничтожных порах, но даже и в весьма больших отверстиях этих трубок. И тот же принцип может заставить растворители жадно насыщать поры растворяемых ими тел, поскольку окружающий эфир, так же как атмосфера, сжимает их.

3) Я предполагаю, что более разреженный эфир внутри тел и более плотный вне их не могут быть ограничены математической поверхностью, но постепенно перерастают друг в друга, причем внешний эфир начинает становиться более разреженным, а внутренний — более плотным, на некотором небольшом расстоянии от поверхности тела, и проходит все промежуточные стадии плотности в промежуточном пространстве. И это может быть причиной, по которой свет в опытах Гримальди, проходя мимо острия ножа или другого непрозрачного тела, отклоняется в сторону так, как если бы он был преломлен, и при этом преломлении возникает несколько цветов...

4) Когда два движущихся навстречу друг другу тела сближаются, я предполагаю, что находящийся между ними эфир становится более разреженным, чем он был раньше, а пространство, на котором он постепенно становится более разреженным, распространяется на большее расстояние между поверхностями тел. И это происходит потому, что эфир не может так же свободно двигаться вверх и вниз в узком пространстве между телами, как это было до того, как они сблизились...

5) Однако из четвертого предположения следует, что, когда два приближающихся друг к другу тела сближаются настолько, чтобы заставить разрежаться находящийся между ними эфир, они начнут противиться дальнейшему сближению и стремиться отдалиться друг от друга, каковы бы сопротивление и стремление будут расти по мере сближения потому, что этим они заставляют промежуточный эфир разрежаться все более и более. Но наконец, когда они настолько сблизятся, что избыток давления внешнего эфира, окружающего тела, над давлением разреженного эфира, находящегося между ними, сделается так велик, что превозможет сопротивление этих тел сближению, тогда этот избыток давления заставит их с силой двигаться навстречу друг к другу и заставит их сцепляться друг с другом с такой силой, как это было сказано во втором предположении...» (Письмо Ньютона Бойлю. *Newtoni Opera*. Ed. Horsley, 1782 г., т. IV, стр. 385.)

16. Формула Ампера (1775—1836) выражает силу взаимодействия двух элементов тока. Если обозначить через  $i, i_1$  отношение интенсивности данных токов к некоторому току, принятому за единицу, через  $ds, ds_1$  — длины элементов тока, через  $r$  — их расстояние друг от друга, через  $\vartheta, \vartheta_1$  — углы, которые образуют элементы с  $r$ , а через  $\varepsilon$  — угол между элементами, то электродинамическое взаимодействие токов согласно амперовой формуле выразится так:

$$F = - \frac{i i_1 ds ds_1}{r^2} \left( \cos \varepsilon - \frac{3}{2} \cos \vartheta \cos \vartheta_1 \right).$$

Эта формула напоминает закон тяготения, но отличается от него тем, что в нее входят выражения углов между элементами токов и расстоянием между ними. Из своей формулы Ампер сделал важные следствия для электродинамического истолкования магнетизма.

С современной точки зрения выводы Ампера не могут счи-

таться в полной мере удовлетворительными, так как они основываются на представлении об элементе тока, то есть о незамкнутом токе. После появления теории Максвелла, согласно которой могут быть только замкнутые токи, это представление утратило смысл чего-то реально существующего.

17. В журнале *Nature* с VIII тома стала печататься серия портретов выдающихся ученых. Портрет сопровождался статьей об этом ученом. Настоящая статья Максвелла является первой в ряде этих статей.

18. Дюма, Жан Батист, французский химик (1800—1884).

19. Необходимо иметь в виду, что в то время, когда Максвелл писал свои статьи, посвященные молекулярному и атомному строению тел, сведения из этой области были еще в зачаточном состоянии и представление о неразрушимости атома еще не было поколеблено. Теперь мы с достоверностью знаем, что все тела действительно состоят из молекул, а молекулы — из атомов, что атом имеет сложное строение и может претерпевать изменения в связи с отделением от него некоторых составных частей. Современный физический эксперимент позволяет изучать даже отдельные составные части атома (электрон, протон и т. д.). Таким образом, некоторые соображения Максвелла, которые содержатся в ряде статей настоящего сборника, необходимо рассматривать отчасти как характеристику эпохи, уже пережитой наукой. В частности, в отношении механизма испускания света атомами представления Максвелла были еще далеки от того, что установлено физической наукой в настоящее время. Во всяком случае, однако, представление об атоме, как о последней ступени деления вещества данного рода, в основном остается в полной силе и теперь.

20. Словарь Джонсона — выдержавший много изданий толковый словарь английского языка.

21. В связи с развитием и усовершенствованием огнестрельного оружия скорость пули в современных условиях превосходит скорость движения молекул более тяжелых газов при 0° С.

22. Секция F — секция статистики и экономики Британской ассоциации.

23. Карнакский храм — один из замечательных памятников древней египетской архитектуры. Царский локоть — мера длины, положенная в основу архитектурных расчетов этого здания.

24. О естественных причинах тождественности молекул см. прим. 10.

25. Сравнение Гершеля молекул с фабричными изделиями вызвало любопытную полемику в *Nature*. Максвелл касается также этого вопроса в своей переписке с епископом глостерским.

26. В этих гносеологических экскурсах Максвелла находит свое отражение характерный для большинства английских ученых агностицизм. Агностицизм подвергнут исчерпывающей критике Лениным в «Материализме и эмпириокритицизме» и Энгельсом в «Диалектике природы».

27. Энгельс дает в «Диалектике природы» следующую характеристику Грова: «Гров — отнюдь не профессиональный естествоиспытатель, а английский адвокат — доказал, при помощи простой обработки накопившегося физического материала, что все так называемые физические силы — механическая сила, теплота, свет, электричество, магнетизм и даже так называемая химическая сила — переходят при известных условиях друг в друга без какой бы то ни было потери силы, и таким образом доказал, задним числом, без помощи физических методов теорему Декарта, что количество имеющегося в мире движения неизменно. Благодаря этому различные физические силы — эти, так сказать, неизменные «виды» физики — превратились в различно дифференцированные и переходящие по определенным законам друг в друга формы движения». (Маркс и Энгельс, Собр. соч., т. XIV, стр. 482.)

28. Статья написана в 1874 г.

29. *Vis acceleratrix* — ускорительная сила, термин введенный Ньютоном в 1 книге «Начал», определение VII. Согласно определению Ньютона величина ускорительной силы измеряется скоростью, производимой силой в течение заданного времени. По современной терминологии *vis acceleratrix* соответствует напряжению поля в данной точке. *Vis motrix* — движущая сила, есть то, что мы теперь называем механической силой — также введена Ньютоном (кн. 1, определение VIII). *Vis viva* — живая сила, кинетическая энергия — термин Лейбница. *Vis mortua* — мертвая сила, сила давления — термин Лейбница.

30. Подразумевается царствовавшая тогда королева Виктория.

31. Открытие изотопов, конечно, противоречит соображениям Максвелла о постоянстве массы молекулы данного вещества. Однако нельзя не признать большой осторожности Максвелла, когда он делает оговорку, что «никто с достаточной тщательностью не производил» еще опытов для проверки постоянства молекулярного веса всех химических веществ.

32. Теперь мы уже знаем механизм проводимости газов, если и не исчерпывающим образом, то во всяком случае достаточно подробно.

33. Это — весьма важное принципиальное утверждение Максвелла относительно природы эфира.

34. Доказательство того, что быстро бегущий Ахиллес не в состоянии догнать черепаху было выставлено Зеноном, философом элейской школы (V век до нашей эры), в числе прочих четырех апорий (затруднений), которыми Зенон показывал те логические затруднения, которые заключаются в понятии движения. Согласно Аристотелю, затруднения Зенона возникают потому, что не принимается во внимание, что пространство и время бесконечно делимы в возможности, но не бесконечно разделены в действительности. Поэтому Зенон в сущности доказывает не то, что Ахиллес не может догнать черепаху, а то, что для этого требуется определенный, конечный промежуток времени. Бэль, французский философ школы Декарта, находившийся под влиянием скептицизма Монтэня, назы-



вает в своем «Словаре» ответ Аристотеля «жалким». Такая оценка Бэйля объясняется тем, что Бэйль не понял сущности аргументации Аристотеля, основывающейся на различении потенциальной делимости величин до бесконечности от их действительной разделенности на бесконечное количество частей.

35. «Следовательно, во всем мире существует одна и та же материя: она познается только через свою протяженность. Все свойства, ясно воспринимаемые в материи, сводятся единственно к тому, что она дробима и подвижна в своих частях и, стало быть, повинна во всех тех возбуждениях, которые, согласно нашему восприятию, могут следовать из движения ее частей. Дробление материи, производимое только мысленно, ничего не изменяет; всякое изменение материи или различие всех ее форм зависит от движения. Это было уже отмечено философами: говорили, что основа природы — движение и покой. И под природой здесь разумели то, благодаря чему все телесные вещи становятся такими, какими мы их воспринимаем» (Декарт, Сочинения, перевод Сретенского, 1914 г., т. I, стр. 497.)

36. Написано в 1875 г.

37. Максвелл употребляет символ  $\frac{\delta}{\delta t}$  для обозначения полной производной.

38. Авторы книги «Невидимая Вселенная» — Б. Стюарт и П. Дж. Тэт.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие редактора</i> . . . . .	5
Доклад математической и физической секции Британской Ассоциации. О соотношении между физикой и математикой (перевод Глазенапа и Арнольд) . . . . .	9
Вводная лекция по экспериментальной физике (перевод Арнольд)	27
О математической классификации физических величин (перевод Арнольд) . . . . .	44
О действии на расстоянии (перевод Маракужева) . . . . .	55
Фарадей (перевод Арнольд и Кольченко) . . . . .	71
Молекулы (перевод Маракужева) . . . . .	78
О «Соотношении физических сил» Грова (перевод Глазенапа) .	97
О динамическом доказательстве молекулярного строения тел (перевод Арнольд) . . . . .	104
Атом (перевод Маракужева) . . . . .	127
Притяжение (перевод Маракужева) . . . . .	168
Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц (перевод Арнольд) . .	176
Строение тел (перевод Арнольд) . . . . .	184
Эфир (перевод Маракужева) . . . . .	195
Фарадей (перевод Арнольд) . . . . .	210
<i>Примечания редактора</i> . . . . .	219

Редакторы *Г. Н. Кольченко и В. М. Турбин*

Техн. редактор *О. Зальшикина*

ТКК № 23 1/VII 1939 г.

Сдано в набор 17/II 1939 г.

Подписано к печати 20/I 1940 г.

Изд. № 46

Индекс Т-14-5-4

Тираж 8000

Типографских знаков в 1 п/л 32604

Печ. л. 14<sup>1</sup>/<sub>4</sub>

Формат бумаги 84×106/32

Главлит № А-14989

Учетн.-авт. л. 11,8

Учетн. № 4596

Бумага Камской ф-ки

Заказ № 1393

---

4 я типография ОГИЗа треста „Полиграфкнига“. имени Евгении Соколовой,  
Ленинград, просп. Красных Командиров, 29.

### ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка сверху	Напечатано	Следует	По чьей. вине
53	20, 21, 30	$\Delta$	$\nabla$	тип.
54	8	же	не	ред.
156	1	второй	другой	перев.
192	16	$t-\omega$	$\theta_{t-\omega}$	тин.
222	20	колебаниям	колебаниями	перев.

Зак. 1893. Максвелл. Речи и статьи

ДЖЕМС КЛАРК МАКСВЕЛЛ

РЕЧИ  
И  
СТАТЬИ

МАКСВЕЛЛ • РЕЧИ И СТАТЬИ



1891 APR 30K  
1891 APR 30K