

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 заключающимся 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.

Атом

Атом (*ἄτομος*) есть тело, которое нельзя расщепить пополам. 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 невидимыми, 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 гомемериях (*ὁμομερία*) 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, умозрения 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 Элейского время все еще рассматривали как состоящее из конечного числа «моментов», и вместе с тем признавалось, что пространство делимо беспрельдно. В таком положении было дело, когда Зенон выставил знаменитые аргументы в опровержение возможности движения, образчиком которого может служить софизм об Ахиллесе и черепахе, и, по-видимому, дело оставалось в таком положении, до той поры, когда Аристотель показал, что и время делимо беспрельдно, 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»). 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 ближайшие, не уступали бы места.

«О природе вещей» (I, 335—339)

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
Влагой после того, как те рыбы оставили место.

(I, 373—375)

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, по-видимому, 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 Бошковича может быть приведена как пример чистейшей монадологии. Согласно Бошковичу, 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 Бошкович, 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 Бошковичу, 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 Бошкович видимое протяжение тел, состоящих из атомов, из которых каждый лишен протяжения. Согласно теории Бошковича, 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 Бошковича, 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 отталкивательно, 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 упругие тела, и из гипотезы, что мельчайшие части, на которые мы можем разде-

лить 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 ярдом 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). 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**

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

Когда движение материальной системы таково, что среднее, во времени, значение количества $\Sigma(mx^2)$ 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 — 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 p/n^3 , а так как площадь грани куба теперь в n^2 раз больше, то полное давление на грань куба составляет $1/n$ 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

$$pV = \frac{1}{3} \sum (n \cdot v^2).$$

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 $2/3$ 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 θ — 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 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 Джоуля. 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 водой, которая постоянно перемещивалась. Замечали, какова температура. Затем сосуды приводили в сообщение, сжатый газ расширялся, занимая двойной объем, и работа расширения, вначале производившая сильное течение газа, вскоре прев-

расталась в теплоту, благодаря внутреннему трению в газе. Когда все приходило в спокойное состояние и к равномерной температуре, температуру снова замечали. В первом опыте Джоуля наблюдаемая температура оказалась такой же, как прежде. В дальнейших опытах, которые произведены были Джоулем 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, по-видимому, 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 вы-

ражается 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 находятся 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, уста-

* «Sitzungsberichte der K. K. Acad.», Wien, 8 Oct., 1869.

навливая 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 нее 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. Согласно этим выводам 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, откуда они вывели посящий 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, по гипотезе 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 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 прийти к заключению, что удельная теплота так называемого вакуума весьма значительна в сравнении с удельной теплотой количества воздуха, наполняющего то же самое пространство.

* См.: Gustav Hausmann. Die Atome und ihre Bewegungen, 1871.

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 анализа, таким пользовався, например, Грэхем, мы могли бы отделить молекулы, обладающие меньшей массой, от молекул с большей массой, так как они проходили бы через 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 образец 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, проходимом 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 количеством, 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. Она 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 отталкива-

тельной 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 Лошмидтом, диффузия движения — Оскаром Мейером и Клерком Максвеллом, а диффузия теплоты — Стефаном.

Эти тройного 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 десяти тысячной 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 сжатию кажется вероятным, что их молекулы находятся почти на таких одна от другой расстояниях, на 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 соответствие. 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 Лешмидтом 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. обпаровывали 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, по-видимому, установлен, есть то, что определение массы молекулы — законный объект научного исследования и что эта масса никоим образом не есть величина неизмеримо малая.

Лешмидт 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 $\frac{1}{400}$ 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 беско-

печные по числу признака, 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 недействительном 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 осязаемая 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 чрез 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 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 делятся, все-таки при анализе призмой мы найдем, что результирующее возмущение светонесущей среды содержит, кроме части, производимой правильными колебаниями, и другие движения,

* См.: F. Cotton. On Blood Relationship. «Proc. Roy. Soc.», June 13, 1882.

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. Стало быть, 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 светонесной среды, сообщаемое ей колеблющимися молекулами.

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 топы 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, непрерывно 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 вре-

пимает форму теплоты, но в целях иллюстрации предмета нет необходимости принимать в расчет эту причину затухания колебаний.

* Часть энергии движения, в случае колокольчика, рассеивается в веществе колокольчика вследствие вязкости металла и при-

мя 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 последо-

вательный 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 наоборот будет в случае, когда молекула удаляется от наблюдателя. Соответствующая колебанию яркая линия будет, таким образом, 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 двинутся 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 молекулы. 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 установленны 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 за тем 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. плотность 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 друг другу. Это — существенно необходимо. Существует ли в действительности субстанция с та-

кими 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 несовершенны 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 образованная 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

$$\alpha = \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y}, \quad \beta = \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z},$$

$$\gamma = \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \dots \dots \quad (1)$$

тогда α, β, γ суть компоненты скорости вращения жидкости в точке (x, y, z) . Ось вращения совпадает с направлением результирующей α, β и γ , а скорость вращения измеряется этой результирующей.

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

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

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

$$\frac{\delta u}{\delta t} = \frac{du}{dt} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \dots, \quad (4)$$

где p — давление, а V — потенциал внешних сил. Есть еще два других уравнения того же вида, соответствующих осям y и z . Дифференцируя по z уравнение, соответствующее 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

$$\frac{\delta x}{\delta t} = \alpha \frac{\partial u}{\partial x} + \beta \frac{\partial u}{\partial y} + \gamma \frac{\partial u}{\partial z}. \quad (7)$$

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

$$ds = \omega d\zeta. \quad (8)$$

Координаты этой точки суть

$$x + \alpha d\zeta, \quad y + \beta d\zeta, \quad z + \gamma d\zeta, \quad (9)$$

а компоненты ее скорости

$$u + \frac{\delta x}{\delta t} d\zeta, \quad v + \frac{\delta \beta}{\delta t} d\zeta, \quad w + \frac{\delta \gamma}{\delta t} d\zeta. \quad (10)$$

Рассмотрим первую из этих слагающих. В силу уравнения (7) мы можем написать ее так:

$$u + \frac{\partial u}{\partial x} \alpha d\zeta + \frac{\partial u}{\partial y} \beta d\zeta + \frac{\partial u}{\partial z} \gamma d\zeta, \quad (11)$$

или

$$u + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{dx}{d\zeta} d\zeta + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{dy}{d\zeta} d\zeta + \frac{\partial u}{\partial z} \frac{dz}{d\zeta} d\zeta, \quad (12)$$

или

$$u + \frac{du}{d\zeta} d\zeta. \quad (13)$$

Но это есть выражение значения компонента 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 α , β , γ , 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 сече-

ние 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 α , β , γ , происходила бы из ничего при начале трубки и обращалась бы в ничто при ее конце. Стало быть, если трубка имеет начало и конец, то они должны лежать на поверхности жидкой массы. Если жидкость беспределельна, то вихревая трубка должна быть бескопечна или же должна быть замкнутой.

Итак, относительно конечной вихревой трубки в бесконечной жидкой массе мы приходим к следующим замечательным 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 прийти 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 вихревое кольцо, 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 сэр 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 объяснить 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 отчет в колебаниях молекулы, которые обнаруживает спектроскоп. В самом деле, мы можем предположить, что атом — это 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 Бошкович, 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 освободиться 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.

* «On Vortex Atoms» (О вихревых атомах). «Proc. Roy. Soc. of Edinburgh», 18 Febr., 1867.

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 устанавливаются и определяются законами движения основной жидкости, которые вполне выражаются основными уравнениями. Учение Лукреция может рассекать и разрезать свои твердые атомы в чайники, что этим он содействует их соединению для образования миров; последователь Бошковича 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 носителем 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 разделена 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—361)

Такое 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 женевицу Лесажу, который изложил его в своем «*Lucrèce Newtonien*» и в «*Traité de Physique Mécanique*», опубликованном Пьером Прево в Женева в 1818 г.* Теория Лесажа состоит в том, что тяготение тел друг к другу обуславливается ударами потоков атомов, летящих в пространстве по всем направле-

* См. также «*Constitution de la Matière*», etc., par le P. Leroy, P., 1869.

ниям. 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 на встречу друг другу. Тело, находящееся в свободном пространстве и предоставленное ударам этих 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 ударили 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, по-видимому, 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 самыми 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 собой 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 собой 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 внемировое пространство. 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 делается с энергией, которую корпускулы 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. Видимо, 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 — масса корпускулы, N — число корпускул в единице объема и u — скорость кор-

пускулы, 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. Про-

межутки между двумя линиями, составляющими фраунгоферову линию D , достигает $5/100$ промежутка между B и G на шкале Кирхгофа. Разницу между положениями двух линий, простирающуюся до $1/10$ 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 n/p . Если в спектре газа r линий, то вероятность, что каждая из них будет совпадать с одной из линий солнечного спектра, будет приблизительно 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 небес-

ных тел увеличивают свидетельства в пользу учения, что земные вещества существуют в небесных телах, 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, неразложимое нашими средствами, там распалось на компоненты, неизвестные 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.

Итак, допустив, что существует родство между любыми двумя молекулами водорода, мы рассмотрим, в чем оно может заключаться.

Можно представить себе взаимодействие двух тел, стремящихся к уподоблению одного другому. Так, двое маят-

никовых часов, соединенных деревянным стержнем, будут идти синхронно, хотя, в случае отсоединения, их ход отличен. Но если молекулы могли бы даже изменять свои свойства, подобно часам, то между Сириусом и Арктуром нет никакой физической связи соответствующего рода.

Большое число предметов, отличных друг от друга, можно разложить в сорта так, что в каждом сорте будут более или менее однородные. При изготовлении дробы ей дают скатываться с наклонной плоскости. Крупные дробинки приобретают большую скорость и падают дальше, чем мелкие. Так сортируются шарики по величине; в один сорт попадают шарики почти одинакового размера, а те, которые сверх допустимой величины, отклоняются от сферической формы и отбрасываются.

Если первоначально молекулы были бы так же разнообразны, как и дробинки и затем рассортированы, то нам пришлось бы объяснить исчезновение всех тех молекул, которые не подходят под один из весьма ограниченного числа известных нам сортов; а освободиться от некоторого числа неразрушимых тел означало бы решить одну из труднейших задач космогонии.

Известно, что можно сгруппировать живые существа в некоторое число видов, более или менее точно определенных, и что трудно или невозможно найти звенья, образующие непрерывную цепь между ними. Однако всегда появляются индивиды, отличающиеся от своих родителей. Каждый индивидуум в течение своей жизни изменяется и либо выживает и продолжает свой род, либо преждевременно умирает, в зависимости от большей или меньшей приспособленности к окружающей среде. Это позволило создать теорию происхождения видов путем естественного отбора. Но эволюционная теория неприменима к молекулам, ибо отдельные молекулы не рождаются и не умирают, не имеют ни родителей, ни потомства и столь мало подвержены влиянию окружающей среды, что две водородные молекулы имеют тождественные свойства, хотя одна из них лежала тысячелетия в каменном угле под землей, а другая была «окклюдирована» в железе метеорита и попала в руки земного химика после бесконечных странствий в небесных пространствах.

Процессы, распределившие молекулы по отдельным сортам, не из тех, аналоги которым мы могли бы найти в настоящее время, и мы не имеем о них никакого пред-

ставления. Если мы предположим, что известные нам молекулы построены из ограниченного числа совершенно одинаковых атомов, то мы должны будем приписать ограниченное число сортов молекул ограниченному числу комбинаций атомов, образующих стойкую систему. Если мы примем теорию Бошковича, утверждающую, что первоначальный атом — просто силовой центр, имеющий некоторую определенную массу, то мы можем обойти трудность, возникающую из-за равенства масс всех атомов, допустив — что не противоречит опыту, — что масса не может изменяться непрерывно в сторону увеличения или уменьшения, а что она, по своей природе, дискретна, подобно числу, и что масса атома — единица и все массы суть кратные этой единицы. У нас нет доказательств, что отношение каких-либо двух масс может быть несоизмеримым; в геометрии же несоизмеримость величин — следствие предположения о непрерывности. Если материя построена из атомов, т. е. дискретна, то она непригодна для идеальных геометрических моделей, но в остальном может выполнять свои функции.

По этой теории, равенство масс различных атомов не есть результат какого-то механизма количественного приспособления, а зависит от самой природы массы. Однако соответствие периодов колебаний существующих молекул — факт иного порядка.

Известно, что существует излучение со всевозможными частотами как внутри видимого спектра, так и за пределами его в обе стороны. Самый сильный спектроскоп не может обнаружить прерывности в спектре раскаленной извести. Частота колебаний светящейся частицы, следовательно, сама по себе может принимать значения, если не непрерывные в математическом смысле слова, все же не отличающиеся друг от друга менее чем на одну десятитысячную. Значит, сама природа времени позволяет молекуле колебаться с любой из многих тысяч различных наблюдаемых частот.

Частота колебаний отдельной частицы определяется соотношением между соответствующим смещением и вызываемой им силой возврата, в которое входят постоянные пространства, времени и массы.

Рассмотрим теперь это равенство постоянных пространства и времени для всех молекул одного сорта. Мы видели, что различные условия, в которых находились эти

молекулы одного рода, даже в течение многих столетий, не привели к заметной разнице в значении этих постоянных. Но если различные процессы в природе с начала мира не смогли привести к какой-либо заметной разнице, то мы должны заключить, что однообразие этих постоянных не есть следствие каких-либо естественных процессов.

Итак, образование молекул — явление, несвойственное нашему времени. Насколько известно, оно не совершается ни на Земле, ни на Солнце, ни в звездах, ни теперь, ни с тех пор, как эти тела образовались. Мы должны его отнести к той эпохе, когда образовались существующие законы природы, и пока не распадутся не только эти тела, но и существующие законы природы, у нас нет оснований ожидать повторения подобного процесса.

При современном состоянии науки мы имеем серьезное основание допустить, что в молекуле или в одном из составляющих ее атомов есть нечто существующее вечно, или по крайней мере с эпохи, предшествующей возникновению законов природы. Но, кроме данного атома, существуют неисчислимы другие атомы того же рода, и их постоянные невозможно изменить никаким способом. Каждый из них физически независим от всех остальных.

Противоречива внутренне или нет концепция множества тел, существующих извечно, но во всяком случае эта концепция становится абсурдной, когда мы приписываем этим телам количественное равенство. Таким образом, мы вынуждены исследовать, нет ли некоторой общей причины или общего происхождения, объясняющих это странное равенство, вместо одного из бесчисленно возможных неравенств.

Наука не может рассуждать о сотворении материи из ничего. Допустив, что материя должна создаваться, так как она не может быть вечной, мы достигли предела наших мыслительных способностей. Лишь рассматривая ту форму, в которой фактически существует материя, а не материю саму по себе, наш разум может за что-то ухватиться.

То, что материя, как таковая, непременно должна иметь определенные свойства — существовать непрерывно в пространстве и времени, что всякое действие есть взаимодействие между двумя частями материи и т. д. — истины такого порядка, которые метафизики считают не-

избежными. Мы можем использовать эти истины для целей дедукции, но они ничего не дают для размышления об их происхождении.

Однако равенство постоянных молекул — факт совсем иного порядка. Оно происходит от особого распределения материи — от расстановки, по выражению д-ра Чалмерса, и мы легко можем представить себе иную расстановку. Некоторые обычные формирования суть приспособления постоянных, не только произвольные по своей природе, но подвергающиеся действительно изменениям; когда указывают, что эти изменения благоприятствуют жизни живых существ и имеют благотворное значение, можно возразить, что те изменения, которые не способствуют росту и размножению, ведут к уничтожению живых существ и тем самым — к устранению доказательств существования неблагоприятных мутаций.

Но атом, насколько нам известно, не подвержен каким-либо опасностям в борьбе за существование. Можно, конечно, привести основательные доводы, что если бы постоянные атомы существенно отличались, то тела, образованные такими атомами, не были бы столь пригодными для построения мира, как те, которые фактически существуют. Но это лишь предположение, ибо мы не знаем тел, составленных подобными изменчивыми атомами.

Учитывая однообразие атомов, сэр Д. Гершель сравнивал их с фабричными изделиями. Однообразие последних диктуется весьма различными соображениями фабрикантов. В некоторых случаях, во избежание лишних издержек и забот, выгоднее выпускать большое количество совершенно одинаковых изделий, чем приспособливать каждый из них к специальному назначению. Так, солдатскую обувь изготовляют массовым способом, а не по мерке ног отдельного солдата. В некоторых других случаях это однообразие фабричных изделий делает их более ценными. Так, болты Витворта имеют лишь определенные размеры и в случае потери легко заменяются без дополнительной подгонки. Тожество книг и копий документов имеет важное практическое значение и лучше обеспечивается печатанием, чем ручной перепиской. В-третьих, некоторым предметам придает ценность лишь их точное соответствие определенному образцу. Сюда относятся веса и меры, и наличие в стране нескольких хорошо проверенных эталонов весов и мер свидетельствует о наличии законов, регу-

лирующих деловые отношения в соответствии с национальными стандартами.

Итак, ценность фабричных изделий зависит от трех качеств: дешевизны, пригодности и точности. Какое из этих трех качеств имел в виду сэр Д. Гершель, сейчас достоверно установить мы не можем, но вернее — что последнее, а не первое, хотя кажется правдоподобным, что он подразумевал невозможность извечного существования совершенно одинаковых тел и, следовательно, необходимость их сотворения; тогда выражение «фабричные изделия» может означать, что они были сотворены в большом количестве.