

что он был математиком высокого порядка — одним из тех, у кого математики будущего могут черпать ценные и благотворные методы.

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

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

Молекулы

(Речь, произнесенная на съезде Британской ассоциации в Бредфорде)

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

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

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

Мы мало знаем о том, какова была организация науки во Фракии двадцать два столетия тому назад, а также мало знаем и о способах, какие были тогда в ходу для под-

держания интереса к исследованиям в области физики. Однако в те дни был человек, посвятивший свою жизнь научным исследованиям с жаром, достойным самых знаменитейших членов Британской ассоциации; а уроки, в которых Демокрит развивает атомистическую теорию своим соотечественникам из Абдеры, реализовали не только в форме золотых мыслей, но и в форме золотых талантов сумму, сдва ли возможную даже в Америке.

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

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

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

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

Согласно Анаксагору, с другой стороны, части, на которые мы делим каплю, во всех отношениях подобны целой капле, так как природа вещества остается та же, каковы бы ни были размеры тела. Следовательно, если делима целая капля, то и ее части делимы, как бы малы они ни были, и так без конца.

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

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

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

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

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

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

Всякое вещество, простое или сложное, имеет свою молекулу. Если ее разделить, то ее части будут молекулами

вещества или веществ, отличных от того вещества, частью которого была целая молекула. Атом, если такая вещь существует, должен быть молекулой элементарного вещества. Так как, следовательно, не всякая молекула есть атом, но всякий атом есть молекула, я буду пользоваться словом «молекула» как более общим термином.

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

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

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

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

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

Этот процесс так называемой диффузии, происходящий в газах и в жидкостях и даже в некоторых твердых телах, может быть подвергнут опытному исследованию и дает одно из самых убедительных доказательств движения молекул.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Кубический сантиметр водорода, при температуре таяния льда и под давлением одной атмосферы, весит 0,00008954 грамма. Мы должны найти, с какой скоростью эта малая масса должна двигаться (вся ли вместе или ее отдельные молекулы — все равно) так, чтобы произвести

наблюдаемое давление на стенки кубического сантиметра. Это вычисление в первый раз сделано было д-ром Джоулем и дало 1859 метров в секунду. Такое значение мы привыкли считать большой скоростью. Оно больше любой скорости, получаемой в артиллерийской практике. Скорость других газов меньше, как видно из табл. на стр. 81, но во всех случаях она очень велика по сравнению со скоростью пули.

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

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

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

то ни было, но запах аммиака уже начинает чувствоваться в некотором отдалении от склянки. Газ будет распространяться в воздухе, хотя и медленно, и если бы могли закупорить все отверстия этого зала, чтобы сделать его непроницаемым для воздуха, и оставить так на несколько недель, то аммиак равномерно смешался бы с воздухом во всех частях зала.

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

Позднее скорость диффузии одного газа в другой была в высшей степени тщательно измерена профессором Лошмидтом в Вене.

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

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

Согласно нашей теории, и в спокойном воздухе совершается такого же рода движение, как и в диффундирующими газах; разница только в том, что мы легче можем обнаружить движение молекул с места на место в том случае, когда они по природе отличны от тех, между которыми диффундируют.

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

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

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

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

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

На деле это — также диффузия, только иного рода — боковая диффузия количества движения; величина ее может быть вычислена на основании данных, выведенных из наблюдений диффузии первого рода, диффузии вещества. Сравнительные значения вязкости различных газов были

определенены Грэхемом в его исследованиях о распространении газов в длинных узких трубках, а их абсолютные значения были получены из опытов над колебаниями дисков Оскаром Майером и мною.

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

Все эти три рода диффузии — диффузия материи, количества движения и энергии — производятся движением молекул. Чем больше скорость молекул и чем дальше они уходят, прежде чем пути их будут изменены соударением с другими молекулами, тем быстрее будет совершаться диффузия. Но скорость молекул нам уже известна, а следовательно, опытами над диффузией мы можем определить, как далеко в среднем молекула пролетает, не наталкиваясь на другую. Профессор Клаузиус в Бонне, первые давший нам точные понятия об этих движениях молекул, называет это расстояние средним свободным путем молекул. Пользуясь опытами над диффузией профессора Лошмидта, я вычислил средний свободный путь молекул четырех хорошо известных газов. Среднее расстояние, пробегаемое молекулой от одного столкновения до другого, дано в приведенной таблице. Это — очень маленькое расстояние, совершенно неуловимое для нас даже в лучшие микроскопы. Грубо говоря, оно составляет около $\frac{1}{10}$ доли длины световой волны, величины, как вам известно, чрезвычайно малой. Само собой разумеется, время, употребляемое на такой малый путь столь быстролетными молекулами, весьма незначительно. Я вычислил, сколько соударений может совершиться в секунду. Числа даны в таблице (на стр. 83) и выражаются тысячами миллионов. Нет ничего удивительного, что быстрышая молекула так медленно подвигается вперед, если ее ход совершенно изменяется тысячи миллионов раз в секунду.

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

Таблица диффузии

Единица измерения: $\frac{\text{сантиметр}^2}{\text{секунда}}$

(Знаки: Н — водород; О — кислород; СО — окись углерода; CO_2 — углекислота)

	Вычис- ленное	Наблю- денное	
Н и О	0,7086	0,7214	Диффузия материи по наблюдениям Лошмидта
Н и СО	0,6519	0,6422	
Н и CO_2	0,5575	0,5558	
О и СО	0,1807	0,1802	
О и CO_2	0,1427	0,1409	
СО и CO_2	0,1386	0,1406	
Н	1,2990	1,49	Диффузия количества движения (Грэхем и Майер)
О	0,1884	0,213	
СО	0,1748	0,212	
CO_2	0,1087	0,117	
Воздух	—	0,256	Диффузия температуры по наблюдениям Стефана
Медь	—	1,077	
Железо	—	0,183	
Тростниковый сахар в воде		0,0000035	(Фойт)
Диффузия за день		0,3144	
Соль в воде		0,00000116	

Следовательно, в жидкости диффузия движения от одной молекулы к другой совершается гораздо быстрее, нежели диффузия самих молекул; по той же самой причине в тесной толпе гораздо легче переслать письмо, передавая

его из рук в руки, нежели поручить передачу особому посыльному, которому пришлось бы прокладывать себе путь в толпе. У меня здесь банка, нижняя часть которой содержит раствор медного купороса, в верхней же находится чистая вода. Она стояла здесь с пятницы, и вы видите, как мало синей жидкости перешло путем диффузии вверх. Скорость диффузии раствора сахара тщательно наблюдал Фойт. Сравнивая результаты его наблюдений с результатами, полученными Лошмидтом в его опытах над газами, мы находим, что столько же диффундирует газа в течение секунды, сколько диффундирует жидкости в день.

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

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

За исключением времени мы можем только упомянуть об удивительнейшем молекулярном движении, называемом электролизом. Здесь имеется электрический ток, проходящий в подкисленной воде и выделяющий кислород на одном электроде, а водород на другом. В пространстве между ними вода совершенно спокойна; и, однако, в ней идут два противоположных течения кислорода и водорода. Физической теорией этого процесса занимался Клаузиус и дал основания к воззрению, что в обыкновенной воде молекулы не только движутся, но иногда и ударяются друг о друга с такой силой, что кислород и водород этих молекул отделяются друг от друга и толкуются в этой сумятице, отыскивая себе товарищей, которые диссоциированы подобным же путем. В обыкновенной воде этот

обмен в целом не производит никакого заметного эффекта; но, как только начинает действовать электродвижущая сила, она оказывает направляющее влияние на несвязанные молекулы и заставляет каждую двигаться к ее электроду, до того момента, когда, столкнувшись со свободной молекулой противоположного рода, она опять вступает в более или менее прочное соединение с нею, пока не наступит новая диссоциация вследствие другого соударения. Следовательно, электролиз есть своего рода диффузия, которой помогает электродвижущая сила.

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

Затем есть еще кое-какие поля, с которых собраны данные молекулярной науки. Последние результаты мы можем разделить на три разряда, соответственно полноте наших познаний в этом направлении (см. табл. на стр. 84),

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

Во втором разряде мы должны поместить относительные размеры молекул различных газов, длину их средних свободных путей и число соударений в секунду. Эти количества выведены из опытов над тремя родами диффузии. Полученные значения нужно рассматривать как грубые приближения, до тех пор, пока методы экспериментирования не будут значительно усовершенствованы.

Есть еще ряд величин, которые мы должны отнести к третьему разряду, так как наше знание их не отличается ни такой точностью, как количественные результаты первого разряда, ни такой степенью приближения, как вели-

Таблица молекулярных данных

	Водород	Кислород	Окись углерода	Углекислота
I разряд	Масса молекулы (водород-1)	1	16	14
	Средняя скорость в метрах в секунду при 0° С	1859	465	497
II разряд	Средний свободный путь в десятимиллионных долях миллиметра	965	560	482
	Число соударений в секунду в миллионах	17750	7646	9489
III разряд	Диаметры в десятимиллионных долях миллиметра	5,8	7,6	8,3
	Массы (единица- 10^{-22} миллиграммма)	46	736	644
				1012

чины второго разряда, а представляет собой просто вероятные догадки. Таковы абсолютные массы молекул, их абсолютные диаметры и число молекул в кубическом сантиметре. Относительные массы различных молекул известны нам с большой точностью, а их относительные диаметры известны нам приблизительно. Отсюда мы можем вывести относительные плотности самих молекул. Здесь мы на твердой почве.

Большое сопротивление, оказываемое жидкостями сжатию, делает вероятным, что их молекулы должны находиться почти на таком расстоянии друг от друга, на каком две молекулы того же самого вещества в газообразной форме действуют одна на другую во время их встречи. Это предложение было подвергнуто проверке Лоренцом Майером, который сравнивал плотности различных жидкостей с вычисленными относительными плотностями молекул их паров и нашел замечательное соответствие между ними.

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

Допуская, что объем вещества, приведенного в жидкое состояние, не слишком превышает совокупный объем мо-

лекул, мы получим из этой пропорции диаметр молекулы. Этим путем Лошмидт в 1865 г. впервые вычислил диаметр молекулы. Независимо от него и от других Стони в 1868 г. и сэр В. Томсон в 1870 г. обнародовали результаты подобного же рода, причем Томсон пришел к своим результатам не только этим путем, но и из соображений, основанных на рассмотрении толщины мыльных пузырей и электрических свойств металлов.

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

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

До сих пор мы рассматривали науку о молекулах как исследование естественных явлений. Но если прямая цель всякого научного труда — раскрывать тайны природы, то он имеет и иное действие, не менее ценное, на ум исследователя. Научная работа делает его обладателем методов, и к изобретению их ничто, кроме научной работы, не могло бы его привести; это ставит его в положение, с которого многие области природы, помимо тех, которые он изучал, являются перед ним в новом свете.

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

Лукреций, желая дать нам картину движения атомов, советует нам взглянуть на солнечный луч, прорезывающий темную комнату (то же орудие исследования, посредством которого д-р Тиндалль делает для нас видимой пыль, которую мы вдыхаем), и наблюдать, как пылинки пляшут в луче друг вокруг друга во всех направлениях. Это движение видимых пылинок, рассказывает он нам, есть результат гораздо более сложного движения невидимых атомов, толкающих эти пылинки. В своих мечтах о приро-

де, рассказывал нам Теннисон, «я видел сверкающие потоки атомов, видел, как они все разрушали в беспредельной пустыне, летая и сталкиваясь друг с другом, и вновь и вновь изменяя навеки порядок вещей во Вселенной». И нет ничего удивительного, что он пытался разорвать оковы рока, заставляя свои атомы отклоняться от их путей, в произвольные моменты и в произвольных местах, надеяясь таким образом чем-то вроде иррациональной свободной воли, которая, по его материалистической теории, только и может объяснить ту силу произвольного действия, которую мы сознаем в себе.

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

Потому-то современные атомисты приняли метод, который, как я думаю, является совершенной новостью в математической физике, хотя им давно уже пользуются в статистике. Когда членам секции приходится работать над отчетами о переписи или над какими-нибудь другими документами, содержащими числовые данные экономической или социальной науки, то они начинают с того, что распределяют все население на группы по возрастам, по доходам, по воспитанию, по вероисповеданию либо по уголовным преступлениям. Число индивидуумов настолько велико, что изображать историю каждого в отдельности было бы невозможно, и потому, чтобы привести труд в границы человеческой возможности, сосредоточивают внимание на малом числе искусственных групп. Изменяющееся число индивидуумов в каждой группе, а не изменяющееся состояние каждого индивидуума — таковы начальные данные, исходя из которых они ведут свою работу.

Но, конечно, это не единственный метод изучения природы человека. Мы можем наблюдать поведение отдельного человека и сравнивать его с тем поведением, которого мы могли бы ожидать от него, согласно наилучшей из существующих теорий, принимая во внимание его прежний характер и настоящие обстоятельства. Те, кто пользуется этим методом, стараются усовершенствовать свое знание элементов человеческой природы совершенно та-

ким же путем, каким астроном исправляет элементы планеты, сравнивая ее настоящее положение с выведенным из полученных элементов. Изучение человеческой природы родителями и воспитателями, историками и государственными деятелями нужно, следовательно, отличать от изучения ее статистиками и составителями таблиц и теми из государственных деятелей, которые верят в цифры. Один метод можно назвать историческим, другой — статистическим.

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

Данные статистического метода в приложении к молекулярной физике суть суммы большого числа молекулярных количеств. Изучая соотношения между количествами этого рода, мы встречаемся с закономерностью нового рода, с закономерностью средних значений, и мы можем надеяться, что ее совершенно достаточно для всяких практических целей; однако она не может иметь никаких притязаний на абсолютную точность, свойственную законам абстрактной динамики.

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

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

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

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

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

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

Но у нас есть другой и совершенно отличный способ сравнения свойств молекул. Молекула, хотя и неразрушимая, не есть твердое тело, но способна к внутренним движениям, и, когда эти движения возбуждены в ней, она испускает лучи, и длина волн этих лучей служит мерой времени колебания молекулы.

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

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

Из сравнения размеров зданий египтян с сооружениями греков оказывается, что они имеют общую меру. Следовательно, если бы даже ни один из писателей древнего мира не отметил бы этого факта, что оба народа употребляли мерой длины один и тот же локоть, мы могли бы доказать это самими чистотками. Таким образом, мы вправе утверж-

дать, что некогда материальная мера длины была перенесена из одной страны в другую либо что обе страны получили свои меры из одного и того же источника.

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

Следовательно, каждая молекула во Вселенной носит на себе печать меры и числа, настолько же ясную, как и метр парижских архивов или как и двойной царский локоть карнакского храма.

Никая теория эволюции не может объяснить однообразности молекул, ибо эволюция означает непрерывные изменения, а молекула не может ни расти, ни уменьшаться, ни возникать, ни разрушаться.

Ни один из естественных процессов, с тех пор, как существует природа, не привел ни к малейшему различию в свойствах какой-либо молекулы. Следовательно, мы не можем приписать существование молекул и тождество их свойств какой-либо «естественной» причине.

С другой стороны, полное тождество каждой молекулы с любой молекулой того же рода придает им, как метко выразился сэр Джон Гершель, характерные признаки фабричных изделий и исключает мысль о возможности их вечного существования и самопроизвольного происхождения.

Итак, мы подошли, строго научным путем, весьма близко к той точке, дальше которой наука идти не может, не потому, что ей запрещено исследовать внутренний механизм молекулы, которую она не в состоянии разложить, или исследовать организм, который она не может сложить, а потому, что история вопроса убеждает нас в том, что, с одной стороны, молекулы должны создаваться, а с другой, что они не могут создаваться ни одним из тех процессов, которые мы считаем естественными. 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 в пространстве, двигаться и сохранять движение и т. п., — истины того порядка, которые метафизики считают неизбежными. Мы можем использовать эти истины для целей дедукции, но они ничего не дают для спекуляции об их происхождении.

Однако то, что в каждой молекуле водорода имеется точное количество материи и не больше, это факт совсем иного свойства. Мы имеем здесь определенное распределение материи — расстановку вещества — по выражению д-ра Чальмерса, и мы легко можем себе представить иную расстановку.

Например, форма и размеры планетных орбит — не следствие каких-либо законов природы, а следствие определенной расстановки вещества. То же относится и к размерам Земли, определившим эталон так называемой метрической системы. Но научное значение этих астрономических и земных величин много ниже фундаментальных величин, образующих молекулярную систему. Как мы знаем, естественные процессы изменяют и, в конце концов, разрушают вес, порядок и размеры как Земли, так и всей солнечной системы. Но если случались и вновь могут случиться катастрофы, если старые системы могут разрушаться и на их развалинах могут возникать новые системы, то молекулы, из которых эти системы построены, неразрушимы и неизменны — это краеугольные камни материальной Вселенной.

Сейчас молекулы также неизменны по своему числу, по своим размерам и по весу, как и в то время, когда они были сотворены. Из этой неизменяемости их свойств мы можем заключить, что стремление к точности измерений, к правдивости в суждениях и к справедливости в поступках, почитаемых нами, как благороднейшие черты человека, присущи нам потому, что они представляют сущность образа того, кто сотворил не только небо и Землю, но и материю, из которой они составлены.

О «Соотношении физических сил» Грова

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

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

Кардинальное место в опубликованном томе принадлежит той статье, по которой назван весь том; это — статья о соотношении физических сил. Взгляды, изложенные здесь, были впервые оглашены в докладе, сделанном в Лондонском институте в январе 1842 г.; затем этот доклад был отпечатан Институтом, более пространно развит в ряде