

Вводная лекция по экспериментальной физике

(Значение эксперимента в теоретическом познании)

(Прочитана в октябре 1871 г.)

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

Итак, главной опорой экспериментальной физики в Кембридже является Девонширская физическая лаборатория¹, и я считаю желательным, прежде чем мы углубимся в какие-либо специальные исследования, рассмотреть сегодня, каким образом мы, Кембриджский университет, как некий живой организм, можем включить в себя и вдохнуть

¹ Первоначальное название Кавендишской лаборатории.— *Прим. ред.*

жизнь в этот новый организм, внешняя оболочка которого должна скоро возникнуть перед нами.

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

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

В курсе экспериментальной физики мы можем считать ведущим элементом либо теорию, либо опыт. Мы можем

либо использовать опыты для иллюстрации определенной отрасли физики, либо можем произвести некоторые физические исследования в качестве примера определенного экспериментального метода. Мы должны начать в лекционном зале с курса лекций в какой-нибудь отрасли физики, пользуясь опытами как иллюстрацией, и закончить в лаборатории рядом исследовательских опытов.

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

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

Эта привычка различать первопричины среди бесконечного разнообразия их действия ничуть не понижает наше ощущение величия природы, не мешает наслаждению ее красотой. Напротив, она стремится снасти наши научные идеи от того неопределенного состояния, в котором мы их

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

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

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

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

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

Если таково действительное положение вещей, к которому мы приближаемся, то наша лаборатория станет, быть может, знаменита своей добросовестной работой и совер-

шенством экспериментального мастерства; но она будет не на месте в университете и должна быть скорее отнесена к ряду знаменитых мастерских нашей страны, где подобное умение направлено на более полезные цели.

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

На знаменитого путешественника Гумбольдта произвело глубокое впечатление научное значение объединенных усилий наблюдателей всех национальностей для точного измерения земного магнетизма; и мы главным образом обязаны его научному энтузиазму, его высокой репутации, его широкому влиянию тем, что он побудил принять участие в этом предприятии не только отдельных ученых, но и правительства большинства цивилизованных наций, в том числе и нашей. Но фактической разработкой плана и организацией, при которых вся работа наблюдателей должна была дать наилучший результат, мы обязаны великому математику Гауссу, работавшему в Геттингенской магнитной обсерватории вместе с Вебером, будущим основателем науки об электромагнитных измерениях. В этой работе им помогало искусство изготовлявшего прибор механика Лейзера. Эти люди, однако, работали не

одни. Многие ученые объединили свои усилия, изучили способ употребления новых инструментов и новые методы постановки опытов; и в каждом европейском городе можно видеть в определенно установленное время, как они сидят в холодных деревянных сараях, прижав глазом к зрительной трубе, внимательно прислушиваясь к часам и отмечая карандашом в записной книжке мгновенное положение подвешенного магнита.

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

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

Мы узнаем, таким образом, что внутренность Земли подвержена влиянию небесных тел и что, кроме этого, непрерывно происходит некоторое постоянное и прогрессивное изменение, причина которого совершенно неизвестна. Во всех магнитных обсерваториях во всем мире работает установка, при помощи которой подвешенный магнит направляет луч света на специальную движимую часовым механизмом полоску бумаги. На этой бумаге не знающее покоя сердце Земли чертит теперь телеграфными знаками, которые будут когда-нибудь расшифрованы, запись его пульсаций и колебаний, а также запись медленного, но мощного движения, предупреждающего нас, что мы не

должны считать внутреннюю историю нашей планеты законченной.

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

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

Таковы некоторые научные результаты, последовавшие в данном случае от объединения математических способностей, экспериментальной прозорливости и лабораторного искусства для помощи и руководств работой целого коллектива усердных наблюдателей. Поэтому, если мы хотим для нашей собственной пользы и для славы нашего университета, чтобы Девонширская лаборатория успешно работала, мы должны постараться поддерживать живую связь ее с другими органами и факультетами нашей ученой корпорации. Поэтому прежде всего рассмотрим, в каком отношении находится наша работа к тем долгое время процветавшим среди нас математическим исследованиям, касавшимся тех же вопросов, которыми занимались и мы и которые отличаются от наших экспериментальных исследований лишь тем, как они преподносятся.

Нет лучшего метода сообщения уму знаний, чем метод преподнесения их в возможно более разнообразных формах. Когда проникшие в наш ум различными путями идеи

объединяются в крепости ума, занимаемое ими положение становится неприступным. Оптики говорят нам, что соединение в нашем мозгу восприятий предмета, полученных из двух положений, отстоящих друг от друга не далее, чем оба наших глаза, достаточно, чтобы создать впечатление объемности видимого предмета; и мы видим, что это впечатление получается даже тогда, когда мы сознаем, что в действительности рассматриваем плоские изображения в стереоскопе. Поэтому естественно ожидать, что физические знания, полученные при помощи соединенного применения математического анализа и экспериментальных исследований, будут более прочны и долговечны, чем знания только математиков или только экспериментаторов.

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

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

С другой стороны, некоторые из нас уже имели опыт в повседневной экспериментальной работе. Как только мы

научаемся читать шкалы, наблюдать время, фокусировать зрительную трубу и т. д., такого рода работа перестает требовать значительных умственных усилий. Мы можем, пожалуй, утомить глаза и спины, но мы не очень утомляем наши умы.

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

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

Я признаю, что наша умственная энергия количественно ограничена, и знаю, что много усердных студентов пытаются сделать больше, нежели это для них полезно. Но вопрос о введении экспериментальных занятий не является всецело вопросом количества. Он в значительной мере является вопросом распределения энергии. Мы знаем, что некоторые распределения энергии более ползны, чем другие, так как они более пригодны для тех целей, которых мы желаем достигнуть.

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

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

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

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

Но зачем нам стараться доказывать пользу практической науки для университета? Поговорим лучше о той помощи, которую университет может оказать науке, когда люди с хорошей математической подготовкой, пользующиеся хорошо оборудованной лабораторией, объединят свои усилия для выполнения какого-нибудь экспериментального исследования, которое не мог бы предпринять ни один отдельный работник.

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

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

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

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

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

Однако нашей главной задачей в лаборатории будет ознакомление со всякого рода научными методами, сравнение их и их оценка.

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

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

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

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

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

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

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

ния историю происхождения и развития тех идей, которые вызвали различие одного века от другого?

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

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

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

Но как мало среди нас способных извлечь пользу из таких исследований! Мы не можем полностью симпатизировать этим низшим фазам нашей природы, не потеряв частично той антипатии к ним, которая является нашей верхней охраной против возвращения к более низкому типу, и мы с радостью возвращаемся в общество тех знаменитых людей, которые, стремясь к благородным целям как интеллектуальным, так и практическим, поднялись над областью бурь в более чистую среду, где не существует ни неправильного истолкования мнений, ни двусмысленности выражений, но в которой один ум вступает в теснейший контакт с другим в той точке, где оба они близко подходят к истине.

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

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

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

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

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

Теория атомов и пустого пространства приводит нас к признанию большой важности учений о целых числах и о конечных отношениях. Однако в применении динамических принципов к движению громадного числа атомов ограниченность наших способностей вынуждает нас отбросить попытку исследовать точную историю каждого атома и удовлетвориться подсчетом среднего положения группы атомов, достаточно большой для того, чтобы быть видимой. Этот метод оперирования группами атомов, который я могу назвать статистическим методом и который при современном состоянии нашего знания является единственно плодотворным методом изучения свойств реальных тел, находящихся в нашем распоряжении, включает отказ от чисто динамических принципов и принятие математических методов, относящихся к теории вероятностей. Возможно, что, благодаря применению этих, пока еще мало известных и непривычных для нашего сознания, методов будут достигнуты значительные результаты. Если бы действительная история науки была иной и если бы научными доктринами, наиболее привычными и знакомыми для нас, были

доктрины, выраженные этими указанными методами, то, вероятно, мы принимали бы существование определенного рода случайности за самоочевидную истину и считали бы философское учение о необходимости чистым софизмом.

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

Одним из важнейших результатов исследования свойств тел на основе гипотезы об их непрерывности является то, что оно дает нам критерий, при помощи которого мы можем установить путем опытов над реальными телами, до какой степени малости они должны быть доведены прежде, чем возникнет уверенность, что их свойства уже не являются свойствами тела в целом. Исследования этого рода, в сочетании с изучением различных явлений диффузии и рассеяния энергии, дали в последнее время много доказательств в пользу гипотезы, рассматривающей тела как системы молекул, находящихся в движении.

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

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

Во-вторых, она не является единственной молекулой с совокупностью свойств, ей присущих, так как существует бесчисленное множество других молекул, постоянные которых не приблизительно совпадают, а абсолютно тождественны постоянным первой молекулы, безотносительно,

находятся ли они на Земле, на Солнце или на неподвижных звездах.

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

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

Справедливо ли тогда утверждение, что наша научная мысль действительно проникает сквозь видимую форму вещей, подверженных созиданию и уничтожению, и достигла входа в тот мир порядка и совершенства, который остается неизменным со дня его создания, совершенным в числе, мере и весе.

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

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

Согласно теории вихревых атомов В. Томсона, субстанцией, из которой состоят молекулы, является материя одинаковой плотности, равномерно заполняющая все пространство и обладающая свойствами идеальной жидкости; сама же молекула есть не что иное, как некоторое движение, сообщенное части этой жидкости, и это движение, как

показал Гельмгольц, так же неразруσιμο, как и уверенность наша в неразрушимости каждой частицы материи.

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

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

О математической классификации физических величин

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

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

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

Но та классификация, о которой я сейчас говорю, основана на математической или формальной аналогии между различными величинами, а не предмете, к которому они относятся. Так, отрезок прямой линии, сила, скорость вращения и т. д. суть величины, различные по своей физиче-