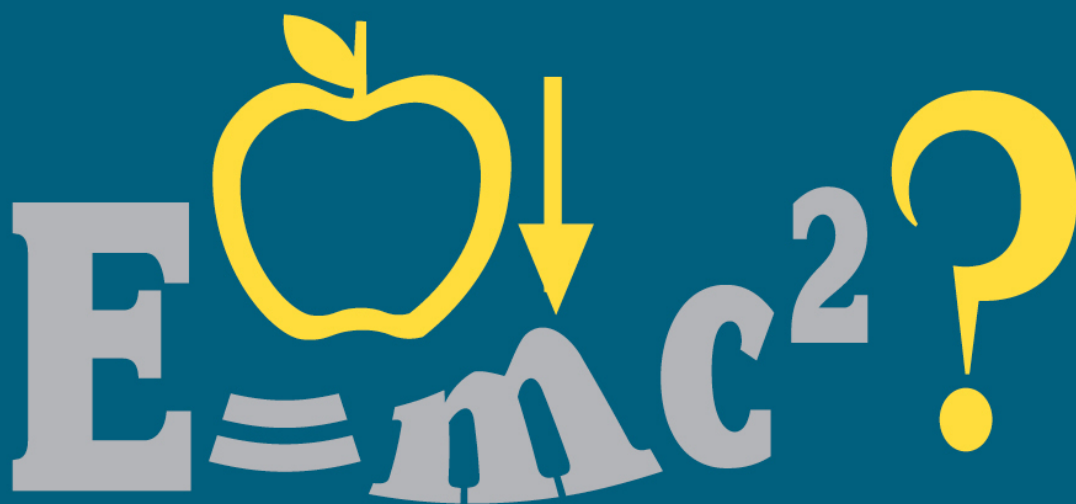


АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН

ЛЕОПОЛЬД ИНФЕЛЬД



ЭВОЛЮЦИЯ
ФИЗИКИ

Наука: открытия и первооткрыватели

Леопольд Инфельд
Эволюция физики

«Издательство АСТ»

1938

УДК 53(092)(73)

ББК 22.3Г

Инфельд Л.

Эволюция физики / Л. Инфельд — «Издательство АСТ»,
1938 — (Наука: открытия и первооткрыватели)

ISBN 978-5-17-110599-0

«Эволюция физики» – необычная книга. Книга, которая, по словам авторов, была написана для читателя, лишенного «каких-то конкретных знаний по физике и математике», но «заинтересованного в физических и философских идеях». Книга, которую сами авторы уподобили детективной повести, где в роли детектива выступает наука, пытающаяся разгадать тайны Вселенной. «Мы не писали учебника по физике. Здесь нет систематического изложения элементарных физических фактов и теорий. Наша задача состояла скорее в том, чтобы широкими мазками обрисовать попытки человеческого разума найти связь между миром идей и миром явлений», – признавались авторы книги. Не потому ли и книга их, при всем многообразии и богатстве изложенного в ней научного материала, по-прежнему имеет успех у самого широкого круга читателей по всему миру?..

УДК 53(092)(73)

ББК 22.3Г

ISBN 978-5-17-110599-0

© Инфельд Л., 1938
© Издательство АСТ, 1938

Содержание

Предисловие	6
I. Расцвет механистического воззрения	7
Великая повесть о тайнах природы	8
Первая руководящая идея	9
Векторы	12
Загадка движения	17
Еще одна руководящая идея	24
Является ли теплота субстанцией?	26
Увеселительная горка	31
Мера превращения	33
Философские воззрения	35
Кинетическая теория вещества	39
II. Упадок механистического воззрения	43
Две электрические жидкости	44
Конец ознакомительного фрагмента.	48

Альберт Эйнштейн, Леопольд Инфельд

Эволюция физики

Серия «Наука: открытия и первооткрыватели»

Albert Einstein Leopold Infeld

THE EVOLUTION OF PHYSICS

ЭВОЛЮЦИЯ ФИЗИКИ



Перевод с английского *С.Г. Суворова*

Серийное оформление и компьютерный дизайн *Г. Смирновой*

© The Hebrew University of Jerusalem, Israel

© Перевод. С.Г. Суворов, наследники, 2018

© Издание на русском языке AST Publishers, 2018

Предисловие

Прежде чем вы начинаете чтение, вы вправе ожидать ответа на некоторые простые вопросы. С какой целью написана эта книга? Кто тот воображаемый читатель, для которого она предназначена?

Трудно начать с ясного и последовательного ответа на эти вопросы. Гораздо легче ответить на них в конце книги, хотя это было бы совершенно лишним. Мы находим, что проще сказать, чем эта книга не стремится быть. Мы не писали учебника по физике. Здесь нет систематического изложения элементарных физических фактов и теорий. Скорее наше стремление состояло в том, чтобы широкими штрихами обрисовать попытки человеческого разума найти связь между миром идей и миром явлений. Мы стремились показать те активные силы, которые вынуждают науку создавать идеи, соответствующие реальности нашего мира. Но наше изложение должно быть простым. Сквозь лабиринт фактов и понятий мы должны были избрать столбовой путь, который казался нам самым характерным и значительным. Те факты и теории, которые не лежали на избранном пути, мы должны были опустить. Наша основная цель вынуждала нас сделать определенный выбор фактов и идей. О важности проблемы не следует судить по числу страниц, посвященных ей. Некоторые существенные направления мысли не были отражены не потому, что они казались нам несущественными, а потому, что они не лежат на том пути, который мы избрали.

Когда мы писали книгу, мы вели длинные дискуссии о характере нашего идеализированного читателя и сильно беспокоились о нем. Мы восполняли полное отсутствие у него каких-либо конкретных сведений по физике и математике большим числом его достоинств. Мы считали его заинтересованным в физических и философских идеях и были вынуждены восхищаться тем терпением, с каким он пробивался через менее интересные и более трудные страницы. Он ясно сознавал, что для того, чтобы понять какую-либо страницу, он должен был внимательно прочитать предыдущие. Он знал, что научная, хотя бы и популярная, книга не может читаться так же, как новелла.

Книга – это беседа между вами и нами. Вы можете найти ее скучной или интересной, утомительной или возбуждающей, но наша цель будет достигнута, если эти страницы дадут некоторое представление о вечной борьбе изобретательного человеческого разума за более полное понимание законов, управляющих физическими явлениями.

А. Эйнштейн
Л. Инфельд

I. Расцвет механистического воззрения

Великая повесть о тайнах природы. – Первая руководящая идея. – Векторы. – Загадка движения. – Еще одна руководящая идея. – Является ли теплота субстанцией? – Увеселительная горка. – Мера превращения. – Философские воззрения. – Кинетическая теория вещества.

Великая повесть о тайнах природы

В нашем воображении рисуется книга. Это искусно написанная повесть о событиях, обстоятельства которых скрыты от нас под покровом загадочных тайн. Повесть эта дает нам все существенные путеводные нити и заставляет нас создать свою собственную теорию происходящего. Если мы внимательно следуем замыслу повести, мы приходим к полному раскрытию всех обстоятельств еще раньше, чем автор раскрывает их в конце книги. Само это раскрытие, если речь идет не о плохой повести, не разочаровывает нас: оно появляется в тот самый момент, когда мы его ждем.

Можем ли мы уподобить читателя такой книги ученым, которые через все следующие друг за другом поколения продолжают добиваться раскрытия тайн в книге природы? Сравнение неверно и его нужно впоследствии отбросить, но оно имеет некоторое оправдание; его следует расширить и видоизменить, чтобы сделать более соответствующим попыткам науки разгадать тайну Вселенной.

Эта великая повесть о тайнах еще не окончена. Мы даже не можем быть уверены в том, что она имеет окончательное завершение. Но уже само чтение дало нам много. Оно научило нас основам языка природы. Оно позволило нам понять многие путеводные нити и было источником радости и духовного подъема в периоды усиленного продвижения науки. Но мы ясно представляем себе, что, несмотря на все прочитанные и разобранные тома, мы еще далеки от ее конца, если, конечно, такой конец вообще существует. В каждой стадии мы стремимся найти объяснение, находящееся в согласии с уже открытыми идеями. Теории, принятые в качестве пробных, объяснили много фактов, но никакого общего решения, совместимого со всем тем, что нам известно, пока еще не достигнуто. Очень часто совершенная на вид теория оказывалась неверной. Появляются новые факты, которые противоречат теории или же не объясняются ею. Чем больше мы читаем, тем более полно и высоко оцениваем совершенную конструкцию книги, хотя полная разгадка ее тайн кажется все удаляющейся по мере того, как мы продвигаемся вперед.

Со времени великолепных рассказов Конан-Дойля почти в каждой детективной новелле наступает такой момент, когда исследователь собрал все факты, в которых он нуждается, по крайней мере, для некоторой фазы своей проблемы. Эти факты часто кажутся совершенно странными, непоследовательными и в целом не связанными. Однако великий детектив заключает, что в данный момент он не нуждается ни в каких дальнейших розысках и что только чистое мышление приведет его к установлению связи между собранными фактами. Он играет на скрипке или, развалившись в кресле, наслаждается трубкой, как вдруг, о Юпитер, эта связь найдена! Он не только уже имеет в руках объяснение всех обстоятельств дела, но он знает, какие другие определенные события должны были случиться. Так как теперь он совершенно точно знает, где искать их, он может, если ему хочется, идти собирать дальнейшие подтверждения своей теории.

Ученый, читая книгу природы, если нам позволено будет повторить эту банальную фразу, должен сам найти разгадку, потому что он не может, как это часто делает нетерпеливый читатель других повестей, обратиться к концу книги. В нашем случае читатель – это тоже исследователь, который ищет, как объяснить, хотя бы отчасти, связь событий между собой. Чтобы получить даже частичное решение этой задачи, ученый должен собирать неупорядоченные факты и своим творческим мышлением делать их связанными и понятными.

Наша цель – в последующих страницах описать в общих чертах, какова работа физиков, соответствующая чистому мышлению исследователя. Мы будем, главным образом, касаться роли мыслей и идей в смелых исследованиях, имеющих целью познание физического мира.

Первая руководящая идея

Попытки прочесть великую повесть о тайнах природы так же стары, как и само человеческое мышление. Однако лишь немногим более трех столетий назад ученые начали понимать язык этой повести. С того времени, т. е. со времени Галилея и Ньютона, чтение продвигалось быстро. Развилась техника исследования, систематические методы отыскания и изучения руководящих идей. Были разрешены некоторые загадки природы, хотя многие решения в свете дальнейших исследований оказались временными и поверхностными.

Самая фундаментальная проблема, остававшаяся в течение тысячи лет неразрешенной из-за ее сложности, – это проблема движения. Все движения, которые мы встречаем в природе, – движение камня, брошенного в воздух, движение плывущего в море корабля, движение повозки, тянувшейся вдоль улицы, – в действительности очень сложны. Чтобы понять все эти явления, лучше всего начать с наиболее простых возможных случаев и постепенно продвигаться к более сложным. Рассмотрим тело, находящееся в покое. Чтобы изменить положение такого тела, необходимо оказать некоторое воздействие на него, толкнуть или поднять, или заставить действовать на него другие тела, например лошадь или паровую машину. Наша интуиция связывает движение с такими действиями, как толчок или тяга. Повторение опыта заставило бы нас отважиться на дальнейшее утверждение, что если мы хотим, чтобы тело двигалось быстрее, мы должны толкать его сильнее. Кажется естественным заключение, что чем сильнее действие, оказываемое на тело, тем больше будет его скорость. Карета, запряженная четверкой лошадей, движется быстрее, чем карета, запряженная парой. Таким образом, интуиция говорит нам, что скорость существенно связана с внешним воздействием.

Для читателей детективных выдумок привычно, что фальшивая нить запутывает повесть и отдалает ее разрешение. Метод рассуждения, навязываемый интуицией, неверен и приводит к ложным идеям о движении, которые сохранялись в течение столетий. Может быть, главным основанием продолжительной веры в эту интуитивную идею повсюду в Европе был великий авторитет Аристотеля. В «Механике», в продолжение двух тысяч лет приписываемой ему, мы читаем:

«Движущееся тело останавливается, если сила, его толкающая, прекращает свое действие».

Открытие, сделанное Галилеем, и применение им методов научного рассуждения были одним из самых важных достижений в истории человеческой мысли, и оно отмечает действительное начало физики. Это открытие учит нас тому, что интуитивным выводам, базирующимся на непосредственном наблюдении, не всегда можно доверять, так как они иногда ведут по ложному следу.

Но где интуиция ведет к ошибкам? Правильно ли сказать, что карета, запряженная четверкой лошадей, должна двигаться быстрее, чем запряженная только двумя?

Проверим ближе основные факты движения, начиная с простых повседневных опытов, хорошо известных человечеству с начала цивилизации и полученных в жестокой борьбе за существование.

Предположим, что некто, идущий по горизонтальной дороге с багажной тележкой, внезапно перестает ее толкать. Тележка будет двигаться еще некоторое время, пройдя небольшое расстояние, а затем остановится. Мы спрашиваем: как можно увеличить это расстояние? Для этого имеются различные способы, например смазывание колес или устройство более гладкой дороги. Чем легче вращаются колеса и чем ровнее дорога, тем дальше будет двигаться тележка. А что же дает смазывание колес или сглаживание неровностей пути? Только одно: становится меньше внешнее влияние. Уменьшается эффект, называемый трением, как в колесах, так и

между колесами и дорогой. Это уже теоретическое толкование наблюдаемых данных, толкование, которое пока еще произвольно. Один важный шаг дальше, и мы попадем на правильный след. Представим себе совершенно гладкий путь и колеса, вовсе не имеющие трения. Тогда ничто не остановит тележки и она будет катиться вечно. Этот вывод достигнут только размышлением об идеализированном эксперименте, который никогда не может быть осуществлен, так как невозможно исключить все внешние влияния. Идеализированный эксперимент указывает путь, на котором фактически были установлены основы механики движения.

Сравнивая оба метода подхода к проблеме, мы можем сказать, что интуитивная идея такова: чем больше воздействие, тем больше скорость. Таким образом, наличие скорости показывает, действуют ли на тело внешние силы. Новый же путь, указанный Галилеем, таков: если ничто не толкает и не тянет тело или если на тело ничто не действует каким-либо другим образом, короче говоря, если на тело не действуют никакие силы, оно покоится или движется прямолинейно и равномерно, т. е. всегда с одинаковой скоростью по прямой. Следовательно, скорость сама по себе не показывает, действуют ли на тело внешние силы или нет. Правильный вывод Галилея был сформулирован спустя поколение Ньютоном в виде *закона инерции*. Этот закон – обычно первое из физики, что мы выучиваем в школе наизусть, и многие из нас могут его вспомнить.

Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если только оно не вынуждено изменять его под влиянием действующих сил.

Мы видели, что закон инерции нельзя вывести непосредственно из эксперимента, его можно вывести лишь умозрительно – мышлением, связанным с наблюдением. Этот идеализированный эксперимент никогда нельзя выполнить в действительности, хотя он ведет к глубокому пониманию действительных экспериментов

Из многообразия сложных движений в окружающем нас мире мы выбираем в качестве первого примера прямолинейное и равномерное движение. Это движение – простейшее, ибо при этом на движущееся тело не действуют никакие внешние силы. Однако прямолинейное и равномерное движение никогда нельзя реализовать; камень, брошенный с башни, или тележка, толкаемая вдоль дороги, никогда не могут двигаться абсолютно прямолинейно и равномерно, потому что мы не можем полностью исключить влияния внешних сил.

В хорошей повести о загадочных тайнах самые очевидные нити часто ведут к ложным подозрениям. В наших попытках понять законы природы мы подобным же образом находим, что самое очевидное интуитивное объяснение зачастую бывает ложным.

Человеческое мышление творит вечно изменяющуюся картину вселенной. Вклад Галилея в науку состоял в разрушении интуитивного воззрения и в замене его новым. В этом – значение открытия Галилея.

Но немедленно же возникают дальнейшие вопросы о движении. Если не скорость является показателем внешней силы, действующей на тело, то что же тогда? Ответ на этот фундаментальный вопрос был найден Галилеем, а вернее Ньютоном; он образует новую руководящую идею в наших исследованиях.

Чтобы найти правильный ответ, мы должны немного глубже вдуматься в опыт с тележкой на абсолютно гладкой дороге. Прямолинейность и равномерность движения в нашем идеализированном опыте были обязаны отсутствию всех внешних сил. Теперь представим себе, что прямолинейно и равномерно движущаяся тележка получает толчок в направлении движения. Что произойдет при этом? Очевидно, ее скорость увеличится. Так же очевидно, что толчок в направлении, противоположном направлению движения, должен уменьшить скорость. В первом случае движение тележки ускоряется толчком, во втором – замедляется. Вывод вытекает сразу же: действие внешней силы изменяет скорость. Таким образом, не сама скорость, а ее изменение есть следствие толчка или тяги. Сила либо увеличивает, либо уменьшает ско-

рость, соответственно тому, действует ли она в направлении движения или в противоположном направлении. Галилей видел это ясно и написал в своем труде *«Беседы о двух новых науках»*:

«...скорость, однажды сообщенная движущемуся телу, будет строго сохраняться, поскольку устранены внешние причины ускорения или замедления, – условие, которое обнаруживается только на горизонтальной плоскости, ибо в случае движения по наклонной плоскости вниз уже существует причина ускорения, в то время как при движении по наклонной плоскости вверх налицо замедление; из этого следует, что движение по горизонтальной плоскости вечно, ибо, если скорость будет постоянной, движение не может быть уменьшено или ослаблено, а тем более уничтожено».

Идя по этому верному пути, мы достигаем более глубокого понимания проблемы движения. Основой классической механики, как она сформулирована Ньютоном, является связь между силой и изменением скорости, а не между силой и самой скоростью, как мы думали, согласно интуиции.

Мы использовали два понятия, играющих принципиальную роль в классической механике: силу и изменение скорости. В дальнейшем развитии науки оба эти понятия расширяются и обобщаются. Поэтому они должны быть исследованы подробнее.

Что такое сила? Интуитивно мы чувствуем, что именно обозначается этим термином. Это понятие возникает из усилия, которое мы производим при толчке, броске или тяге, из того мускульного ощущения, которое сопровождает все эти действия. Но обобщение этих понятий выходит далеко за пределы столь простых примеров. Мы можем думать о силе, даже не воображая себе лошадь, тянущую повозку. Мы говорим о силе притяжения между Солнцем и Землей, Землей и Луной, и о таких силах, которые вызывают приливы и отливы. Мы говорим о силе, с которой Земля воздействует на все предметы вокруг нас, удерживая их в сфере своего влияния, и о силе ветра, производящей морские волны и приводящей в движение листья деревьев. Когда и где мы наблюдаем изменение скорости, тогда и там причиной этому является внешняя сила в самом общем смысле. Ньютон писал в своих *«Принципах»*:

«Воздействующая сила есть действие, оказываемое на тело, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.

Эта сила проявляется только в действии, она не сохраняется в теле, когда действие прекращается, ибо тело сохраняет всякое новое состояние, которое оно приобретает, исключительно благодаря его инерции. Воздействующие силы имеют различное происхождение: таковы силы удара, давления и центростремительные».

Если камень падает с вершины башни, его движение неравномерно: его скорость возрастает с падением. Мы заключаем, что в направлении движения действует внешняя сила или, другими словами, что Земля притягивает камень. Возьмем другой пример. Что происходит, когда камень брошен прямо вверх? Скорость уменьшается до тех пор, пока камень не достигнет своей наивысшей точки, после чего он начинает падать на Землю. Это уменьшение скорости вызывается той же силой, что и ускорение падающего тела. В одном случае сила действует в направлении движения, в другом случае – в противоположном направлении. Сила одна и та же, но она вызывает или возрастание скорости или замедление, соответственно тому, падает ли камень или он брошен вверх.

Векторы

Все движения, которые мы только что рассматривали, – *прямолинейные*, т. е. являются движениями по прямой линии. Теперь мы должны сделать дальнейший шаг. Мы приходим к пониманию законов природы, анализируя простейшие случаи и опуская в своих первых попытках все усложнения. Прямая линия проще, чем кривая. Однако рассмотрением только прямолинейного движения удовлетвориться невозможно. Движения Луны, Земли и планет – как раз те движения, к которым принципы механики применялись с таким блестящим успехом, – это все движения по кривым путям. Переход от прямолинейного движения к криволинейному приносит новые трудности. Мы должны иметь смелость побороть их, если мы хотим понять принципы классической механики, давшей нам первую руководящую идею и создавшей тем самым исходную точку для развития науки.

Рассмотрим другой идеализированный эксперимент, в котором совершенно гладкий шар катится по гладкому столу. Мы знаем, что если шару дан толчок, т. е. если к нему приложена внешняя сила, то его скорость изменится. Предположим теперь, что направление удара не совпадает с линией движения, как это имело место в примере с тележкой. Пусть удар направлен иначе, скажем, перпендикулярно к этой линии. Что происходит с шаром? Можно различать три стадии движения: начальное движение, действие силы и конечное движение, после того как сила перестала действовать. Согласно закону инерции скорость как перед действием силы, так и после него абсолютно постоянна. Но имеется различие между равномерным движением до и после действия силы: изменилось направление. Направление начального движения шара и направление действия силы перпендикулярны друг к другу. Конечное движение будет совершаться не по какой-либо одной из этих линий, а где-то между ними, ближе к направлению силы, если толчок силен, а начальная скорость мала, и ближе к первоначальной линии движения, если толчок незначителен, а начальная скорость велика. Наш новый вывод, основанный на законе инерции, таков: в общем случае действие внешней силы изменяет не только скорость, но и направление движения. Понимание этого факта подготавливает нас к обобщению, введенному в физику понятием *вектора*.

Мы можем продолжать применение нашего непосредственного метода рассуждения. Исходная идея – это опять Галилеев закон инерции. Мы еще далеко не исчерпали следствий этой ценной руководящей идеи в решении загадки движения.

Рассмотрим два шара, движущихся в разных направлениях по гладкому столу. Для большей определенности предположим, что оба направления перпендикулярны друг к другу. Так как никаких внешних сил нет, то движения шаров абсолютно равномерны. Предположим далее, что численно скорости их равны, т. е. оба шара за один и тот же промежуток времени покрывают одинаковое расстояние. Но правильно ли сказать, что оба шара имеют одинаковую скорость? Ответ может быть: либо да, либо нет! Если спидометры двух автомашин показывают сто километров в час, то обычно говорят, что они имеют одинаковую скорость независимо от того, в каком направлении они движутся. Но наука для своих нужд должна создавать свой собственный язык, свои собственные понятия. Научные понятия часто начинаются с понятий, употребляемых в обычном языке повседневной жизни, но они развиваются совершенно иначе. Они преобразовываются и теряют двусмысленность, связанную с обычным языком, они приобретают строгость, что и позволяет применять их в научном мышлении.

С физической точки зрения гораздо выгоднее сказать, что скорости двух шаров, движущихся в различных направлениях, различны. Хотя это – дело чистого соглашения, но гораздо удобнее сказать, что четыре автомашины, едущие из одного и того же пункта по различным дорогам, имеют не одну и ту же скорость, даже если численно скорости, зарегистрированные на их спидометрах, все равны сорока километрам в час. Это различие между скоростью, взятой

по абсолютной величине, и скоростью, в которой учитывается направление, иллюстрирует, как физика, отправляясь от понятия, употребляемого в повседневной жизни, изменяет его таким путем, который оказывается плодотворным в дальнейшем развитии науки.

Если величина измерена, то результат выражается некоторым числом единиц. Длина отрезка может быть равна 3 метрам 7 сантиметрам, вес некоторого объекта равен 2 килограммам 3 граммам, измеренный промежуток времени – столько-то минутам или секундам. В каждом таком случае результат измерения выражается числом. Однако одного только числа недостаточно для описания некоторых физических понятий. Признание этого факта отмечает значительный успех в научном исследовании. Направление, так же как и число, существенно, например, для характеристики скорости. Такая величина, обладающая и числовым значением и направлением, называется *вектором*. Обычный символ для него – это стрелка. Скорость может быть представлена стрелкой или, короче говоря, вектором, длина которого в некоторой избранной шкале единиц выражает численное значение скорости, а направление которого есть направление движения.

Если четыре автомашины расходятся с численно одинаковой скоростью из одного пункта, то их скорости могут быть представлены четырьмя векторами одинаковой длины, как это видно на рисунке 1. В избранной шкале один сантиметр представляет сорок километров в час. Таким путем любая скорость может быть обозначена вектором и, наоборот, если известна шкала, то из такой векторной диаграммы может быть установлена скорость.

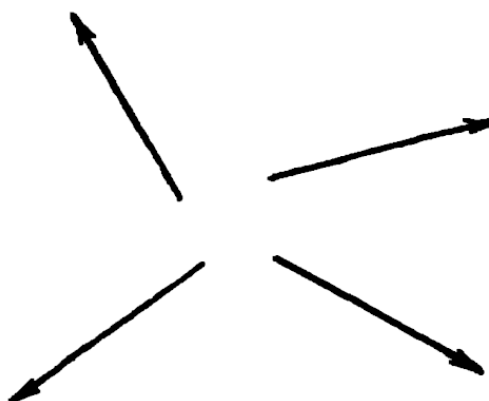


Рис. 1.

Если две автомашины проходят по автостраде мимо друг друга и их спидометры показывают сто километров в час, то мы характеризуем их скорости двумя различными векторами со стрелками, заостренными в противоположных направлениях (рис. 2).



Рис. 2.

Точно так же и стрелки, указывающие направление «в город» и «из города» в нью-йоркском метро, должны быть заострены в противоположных направлениях. Но все поезда, идущие в город с численно равной скоростью, имеют одинаковую скорость и по направлению, которая

может быть представлена одним и тем же вектором. Однако вектор ничего не говорит о том, какую станцию поезд проходит или по какому из многих параллельных путей он идет.

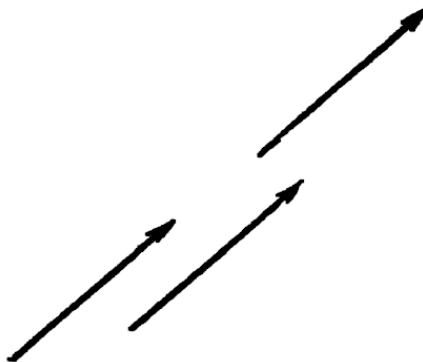


Рис. 3.

Другими словами, согласно выбранному условию все такие векторы (рис. 3) можно считать равными: они лежат либо вдоль одной и той же линии, либо вдоль ей параллельных и имеют стрелки, заостренные в том же самом направлении. Следующий рисунок показывает различные векторы, ибо они отличаются либо по длине, либо по направлению, либо по тому и другому вместе. Те же самые четыре вектора можно нарисовать другим путем, так, чтобы все они расходились из одной точки (рис. 5). Так как исходная точка несущественна, то эти векторы могут представлять скорости четырех автомашин, движущихся из одного пункта, либо же скорости четырех автомашин в различных частях страны, путешествующих с указанными скоростями в указанных направлениях.

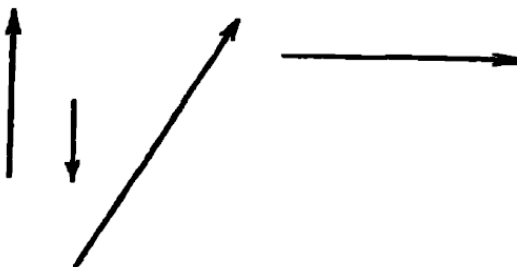


Рис. 4.

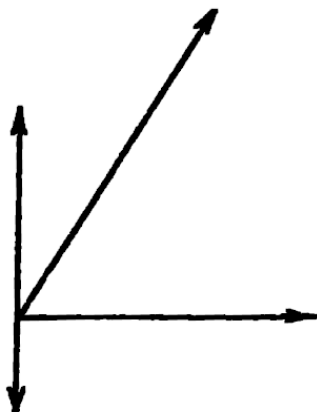


Рис. 5.

Это векторное представление можно применить к описанию обсуждавшихся ранее фактов прямолинейного движения. Мы говорили о тележке, движущейся равномерно по прямой и получающей толчок в направлении ее движения, который увеличивает ее скорость. Графически это можно представить двумя векторами: коротким, обозначающим скорость до толчка, и длинным, имеющим то же направление и обозначающим скорость после толчка (рис. 6). Значение пунктирного вектора ясно. Он представляет собой изменение скорости, вызванное толчком. В случае, когда сила направлена против движения и движение замедляется, диаграмма выглядит иначе (рис. 7). Пунктирный вектор опять соответствует изменению скорости, но в этом случае его направление иное. Ясно, что не только сами скорости, но и их изменения – тоже векторы. Но всякое изменение скорости вызвано внешней силой; следовательно, и сила должна быть представлена тоже вектором. Для того чтобы характеризовать силу, недостаточно установить, с каким усилием мы толкаем тележку; мы должны также сказать, в каком направлении мы толкаем. Сила, как и скорость и ее изменение, должна быть представлена вектором, а не только одним числом. Поэтому внешняя сила – это тоже вектор, который должен иметь то же направление, что и изменение скорости. На обоих рисунках пунктирные векторы показывают как направление силы, так и изменение скорости.

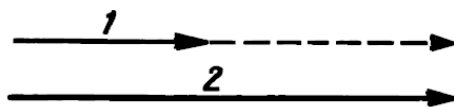


Рис. 6.

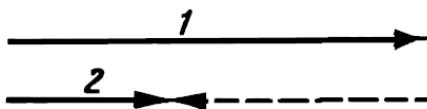


Рис. 7.

Здесь скептик может заметить, что он не видит никакого преимущества от введения векторов. Все, что было сделано, – это перевод признанных ранее фактов на необычный и сложный язык. В этой стадии, в самом деле, было бы трудно убедить скептика, что он неправ. Пока

он действительно прав. Но мы увидим, что именно этот странный язык приводит к важным обобщениям, в которых векторы оказываются существенными.

Загадка движения

До тех пор, пока мы имеем дело с прямолинейным движением, мы далеки от понимания движений, наблюдаемых в природе. Мы должны рассмотреть криволинейные движения. Наш следующий шаг – определить законы, управляющие такими движениями. Это нелегкая задача.

В случае прямолинейного движения понятия скорости, изменения скорости и силы оказались чрезвычайно полезными. Но мы не видим непосредственно, как можно применить их к случаю криволинейного движения. В самом деле, можно представить себе, что старые понятия окажутся непригодными для описания движения в общем случае и что нужно создать новые понятия. Следует ли нам пробовать идти старыми путями, или нужно искать новые?

Обобщение понятий – процесс, часто применяемый в науке. Метод обобщения не определен однозначно, ибо обычно существует множество путей его осуществления. Однако при всяком обобщении должно быть строго удовлетворено одно требование: любое обобщенное понятие должно сводиться к первоначальному, когда выполнены первоначальные условия.

Лучше всего это можно объяснить на примере, с которым мы имеем дело теперь. Мы можем попробовать обобщить прежние понятия скорости, изменения скорости и силы для случая движения вдоль кривой. Когда мы говорим о кривой, мы включаем в это понятие и прямую. Прямая есть особый тривиальный пример кривой. Поэтому, если скорость, изменение скорости и сила введены для движения по кривой, то они тем самым автоматически вводятся и для движения по прямой. Но этот результат не должен противоречить результатам, полученным раньше. Если кривая становится прямой, то все обобщенные понятия должны свестись к обычным понятиям, описывающим прямолинейное движение. Но это ограничение недостаточно, чтобы однозначно определить обобщение. Оно явно оставляет многие возможности. История науки показывает, что самые простые обобщения иногда оказываются удачными, а иногда нет. Мы должны сперва делать догадки. В нашем случае нетрудно найти правильный метод обобщения. Новые обобщенные понятия оказываются очень удачными и помогают нам понять как движение брошенного камня, так и движение планет.

Что же означают слова «скорость», «изменение скорости» и «сила» в общем случае криволинейного движения? Начнем со скорости. Пусть вдоль кривой слева направо движется очень маленькое тело (рис. 8). Такое маленькое тело часто называют *частицей*. Точка на кривой на нашем рисунке показывает положение частицы в некоторый момент времени. Какова скорость, соответствующая этому моменту времени и положению? Опять руководящая идея Галилея наводит нас на тот путь, каким введена скорость. Мы должны еще раз использовать свое воображение и представить себе идеализированный эксперимент. Частица движется вдоль кривой слева направо под влиянием внешних сил. Представим себе, что в данный момент времени в точке, отмеченной на рисунке, все эти силы внезапно перестают действовать. Тогда согласно закону инерции движение должно быть равномерным и прямолинейным. Практически мы, конечно, никогда не можем полностью освободить тело от внешних влияний. Мы можем только сделать предположение: «что должно произойти, если...» и судить об уместности нашего предположения с помощью заключений, которые можно из него сделать, и проверки согласия этих заключений с экспериментом.



Рис. 8.

Вектор на следующем рисунке указывает предполагаемое направление равномерного движения в случае, если бы все внешние силы исчезли. Это так называемое тангенциальное или касательное направление. Если смотреть на движущуюся частицу через микроскоп, то можно увидеть очень небольшую часть ее пути, представляющуюся в виде небольшого, едва искривленного отрезка. Касательная линия является его продолжением. Нарисованный таким образом вектор представляет скорость в данный момент. Вектор скорости лежит на касательной линии. Его длина представляет собой численную величину скорости или ту скорость, которая указывается, например, спидометром автомашины.



Рис. 9.

Наш идеализированный эксперимент, в котором уничтожены силы для того, чтобы найти вектор скорости, нельзя принимать слишком серьезно. Он только помогает нам понять, что мы должны называть вектором скорости *при* криволинейном движении, и позволяет нам определить его для данного момента в данной точке.

На рисунке 10 показаны векторы скорости для трех различных положений частицы, движущейся вдоль кривой. В этом случае во время движения меняются не только направления, но и величины скорости, как показывает длина векторов.



Рис. 10.

Удовлетворяет ли это новое понятие скорости требованию, сформулированному для всех обобщений? Иначе говоря, сводится ли оно к прежнему понятию скорости, если кривая становится прямой? Очевидно, да. Касательная к прямой есть сама прямая. Вектор скорости лежит на линии движения, так же как это было в случае движущейся тележки или катящегося шара.



Рис. 11.

Следующий шаг – это введение изменения скорости частицы, движущейся вдоль кривой. Оно также может быть выполнено различными путями, из которых мы выберем самый простой и удобный. Последний рисунок показывал несколько векторов скоростей, представляющих движение вдоль кривой в разных точках. Первые два из них можно опять нарисовать так, чтобы они имели общую исходную точку (рис. 11), что, как мы видели, возможно проделыв-

вать с векторами. Пунктирный вектор мы называем изменением скорости. Его начальная точка представляет собой конец первого вектора, а конечная точка – конец второго вектора. Этим и определено изменение скорости. Такое определение может на первый взгляд показаться искусственным и бессмысленным. Оно становится гораздо яснее в особом случае, в котором векторы 1 и 2 имеют одинаковое направление (рис. 12). Конечно, это означает переход к случаю прямолинейного движения. Если оба вектора имеют одну и ту же начальную точку, то пунктирный вектор опять связывает их конечные точки. Рисунок 12 совпадает с рисунком 6 на стр. 23, а прежнее понятие оказывается частным случаем нового понятия. Следует заметить, что мы должны были разделить обе линии на рисунке, ибо иначе они совпали бы и стали неразличимы.

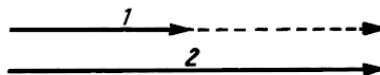


Рис. 12.

Теперь мы должны сделать последний шаг в процессе обобщения. Это будет самой важной из всех догадок, которые мы сделали до сих пор. Связь между силой и изменением скорости должна быть установлена так, чтобы мы могли найти руководящую идею, позволяющую нам понять общие проблемы движения.

Руководящая идея для объяснения движения вдоль прямой была весьма простой: внешняя сила вызывает изменение скорости; вектор силы имеет то же направление, что и изменение скорости. Но что теперь следует рассматривать в качестве руководящей идеи для криволинейного движения? Совершенно то же самое! Единственное различие в том, что изменение скорости имеет теперь более общее значение, чем раньше. Мимолетный взгляд на пунктирные векторы на двух последних рисунках показывает это очень ясно. Если скорость известна для всех точек кривой, то направление силы в любой точке может быть найдено сразу же. Нужно нарисовать векторы скорости для двух моментов, отделенных очень короткими интервалами времени, а стало быть, соответствующих положениям, очень близким друг к другу. Вектор, проведенный из конца первого вектора к концу второго, показывает направление действующей силы. Но существенно, что оба вектора скорости должны быть отделены лишь «очень коротким» интервалом времени. Строгий анализ таких слов, как «очень близкий», «очень короткий», далеко не прост. Именно этот анализ привел Ньютона и Лейбница к открытию дифференциального исчисления.

Путь, который привел к обобщению руководящей идеи Галилея, длинен и извилист. Мы не можем показать здесь, какими изобильными и плодотворными оказались последствия этого обобщения. Его применение приводит к простому и удобному объяснению многих фактов, до того времени несогласованных и непонятных.

Из всего разнообразия движений мы возьмем лишь самое простое и применим к его объяснению только что сформулированные законы.

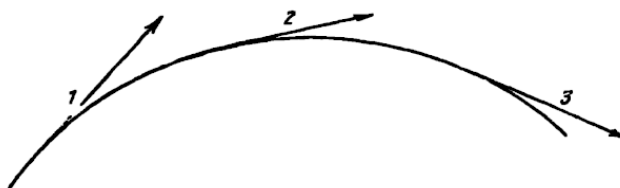


Рис. 13.

Пуля, выпущенная из ружья, камень, брошенный под углом к горизонту, струя воды, выходящая из трубы, – все они описывают хорошо известную траекторию одного и того же типа – параболу. Вообразим себе, например, что к камню присоединен спидометр, так что вектор скорости камня может быть определен для любого момента.

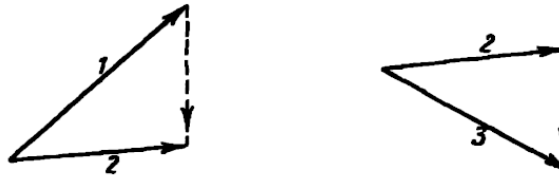


Рис. 14.

Результат представлен на рисунке 13. Направление действующей на камень силы совершенно такое же, как и направление изменения скорости; мы уже видели, как его можно определить. Следующий рисунок показывает, что сила вертикальна и направлена вниз. Совершенно то же самое мы видим, рассматривая движение камня, брошенного с вершины башни. Пути, а также и скорости совершенно различны, но изменения скоростей имеют одинаковое направление – к центру Земли.

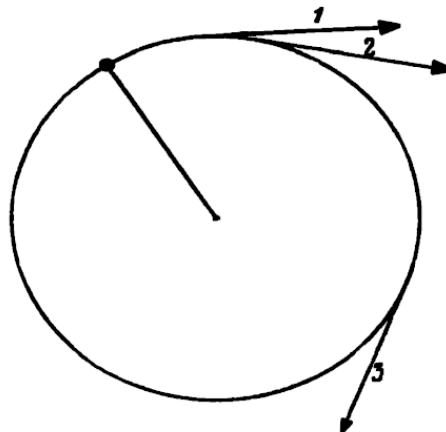


Рис. 15.

Камень, привязанный к веревке и вращающийся в горизонтальной плоскости, движется по окружности. Все векторы на диаграмме, представляющей это движение, имеют одинаковую длину, если величина скорости постоянна (рис. 15). Тем не менее вектор скорости непрерывно меняется, так как траектория не прямолинейна. Только в равномерном прямолинейном движении не участвуют никакие силы. Здесь же сила налицо, и скорость изменяется, но не по величине, а по направлению. Согласно закону движения должна существовать некоторая сила, вызывающая это изменение; в данном случае сила действует между камнем и рукой, держащей веревку.

Сразу же возникают дальнейшие вопросы: в каком направлении действует сила? Опять векторная диаграмма дает ответ. На рисунке 16 даны векторы скоростей для двух очень близких точек и найдено ускорение. Видно, что этот последний вектор должен быть направлен вдоль веревки к центру окружности и всегда перпендикулярен к вектору скорости или касательной. Другими словами, рука через веревку воздействует на камень с некоторой силой.

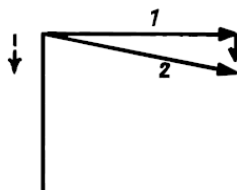


Рис. 16.

Совершенно аналогичен и более важный пример – обращение Луны вокруг Земли. Обращение Луны можно считать приблизительно за равномерное круговое движение. Сила, действующая на Луну, направлена к Земле, что можно вывести на том же основании, на каком в предыдущем примере выведено, что сила была направлена к руке. Никакой веревки, связывающей Луну и Землю, нет, но мы можем представить себе линию между центрами обоих тел; сила лежит на этой линии и направлена к центру Земли, как и сила, действующая на камень, брошенный в воздух или падающий с башни.

Все, что мы сказали о движении, можно суммировать в одном предложении. *Сила и изменение скорости суть векторы, имеющие одно и то же направление.* Это чрезвычайно важная руководящая идея, но она недостаточна для полного объяснения всех наблюдаемых движений. Переход от Аристотелева образа мышления к Галилееву положил самый важный краеугольный камень в обоснование науки. Прорыв был сделан, линия дальнейшего развития была ясна. Наш интерес здесь лежит в первоначальной стадии развития, в исследовании начальной руководящей идеи, в раскрытии того, как рождаются новые физические понятия в жестокой борьбе со старыми идеями. Мы касались только новаторских работ в науке, состоящих в нахождении новых и неожиданных путей развития; мы касались только прогресса в научной мысли, создающей вечно изменяющуюся картину мира. Начальные и основополагающие шаги всегда имеют революционный характер. Научное воображение находит старые понятия слишком ограниченными и заменяет их новыми. Развитие, продолжающееся по какой-либо уже принятой линии, эволюционно до тех пор, пока не достигается следующий поворотный пункт, когда должно быть завоевано новое поле исследования. Но чтобы понять, какие основания и какие трудности вызывают изменение основных понятий, мы должны знать не только исходные руководящие идеи, но и выводы, которые могут быть из них сделаны.

Одна из наиболее важных характерных черт современной физики состоит в том, что выводы, сделанные из начальных идей, имеют не только качественный, но и количественный характер. Рассмотрим опять камень, падающий с башни. Мы видели, что его скорость возрастает по мере того, как он падает, но мы хотели бы знать гораздо больше. А именно, каково это изменение? Каковы положение и скорость камня в любой момент после того, как он начал падать? Нам хочется уметь предсказывать события и определять с помощью эксперимента, подтверждает ли наблюдение эти предсказания, а тем самым и исходные положения.

Чтобы сделать количественные выводы, мы должны использовать математический язык. Самые фундаментальные идеи науки по существу своему просты и, как правило, могут быть выражены языком, понятным каждому. Но чтобы охватить всю совокупность следствий, выводимых из той или иной общей идеи, требуется знание высокоутонченной техники исследования. И если мы хотим сделать выводы, которые можно сравнить с результатами эксперимента, нам необходима математика как орудие исследования. Поскольку мы касаемся только фундаментальных физических идей, мы можем избежать языка математики. Так как в этой книге мы проводим это последовательно, мы должны иногда ограничиваться ссылкой без доказательств на некоторые результаты, необходимые для понимания руководящих идей, возникающих в дальнейшем развитии. Этот отказ от математического языка оплачивается потерей в точно-

сти и необходимостью временами ссылаться на результаты без указания на то, как они были достигнуты.

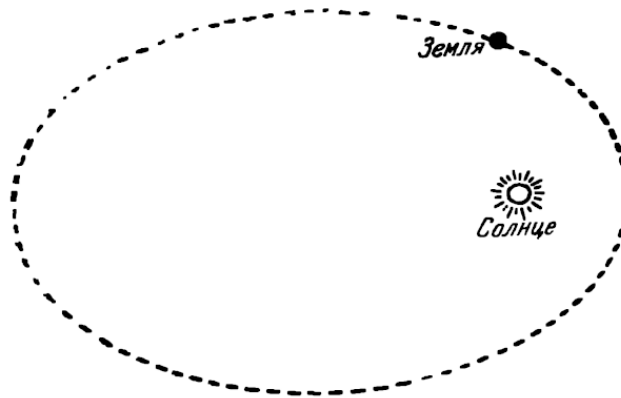


Рис. 17.

Очень важный пример движения – движение Земли вокруг Солнца. Известно, что ее путь представляет собой замкнутую кривую, называемую эллипсом (рис. 17). Построение векторной диаграммы изменения скорости показывает, что сила, действующая на Землю, направлена к Солнцу. Но после всего сказанного – это скудная информация. Нам хотелось бы уметь предсказывать положения Земли и других планет для любого произвольного момента времени. Нам хотелось бы предсказать дату и продолжительность следующего солнечного затмения и многие другие астрономические события. Все это возможно сделать, но не на основе одной только исходной идеи, указанной выше, ибо необходимо знать не только направление силы, но и ее абсолютное значение, ее величину. Вдохновенной догадкой об этом мы обязаны Ньютону. Согласно его *закону тяготения* сила притяжения между двумя телами простым образом зависит от расстояния их друг от друга: она уменьшается, когда увеличивается расстояние. Когда расстояние удваивается, она уменьшается в $2 \times 2 = 4$ раза; когда расстояние увеличивается в три раза, она уменьшается в $3 \times 3 = 9$ раз.

Таким образом, мы видим, что в случае силы тяготения нам удалось выразить в простой форме зависимость силы от расстояния между движущимися телами. Подобным же образом мы поступаем во всех иных случаях, когда действуют силы других видов, например электрические, магнитные и другие силы. Мы стремимся дать для силы простое выражение. Такое выражение оправдывается лишь в том случае, когда из него можно сделать выводы, подтверждаемые экспериментом.

Но знание одной только силы тяготения недостаточно для описания движения планеты. Мы видели, что векторы, представляющие силу и изменение скорости, для любого короткого промежутка времени имеют одно и то же направление, но мы должны вслед за Ньютоном сделать еще один шаг, предположив простое отношение между их длинами. Если взять все другие условия одинаковыми, т. е. исследовать движение одного и того же тела и изменения скорости рассматривать через одинаковые промежутки времени, то, по Ньютону, изменение скорости пропорционально силе.

Таким образом, для количественных заключений о движении планет необходимы два дополнительных предположения. Одно – общего характера, устанавливающее связь между силой и изменением скорости. Другое – специального: оно устанавливает точную зависимость частного вида рассматриваемой силы от расстояния между телами. Первое – это общий закон движения Ньютона, второе – его закон тяготения. Совместно они определяют движение пла-

нет. Это можно сделать ясным при помощи следующего, несколько неуклюже звучащего рассуждения. Предположим, что в данный момент как положение, так и скорость планеты могут быть определены и что сила известна. В таком случае согласно закону Ньютона мы узнаем изменение скорости за очень короткий промежуток времени. Зная начальную скорость и ее изменение, мы можем найти скорость и положение планеты в конце указанного промежутка времени. Повторяя этот процесс, мы можем проследить весь путь движения, не прибегая в дальнейшем к помощи начальных данных. Однако метод, примененный здесь, практически весьма неудобен. Практически такая последовательная процедура была бы столь же скучна, сколь и не точна. К счастью, она не является необходимой: математика дает нам более короткий путь и делает возможным точное описание движения, на которое нужно гораздо меньше чернил, чем мы употребляем для написания одной только фразы. Достигнутые таким путем выводы могут быть доказаны или опровергнуты наблюдением.

Внешнюю силу того же вида, что и в рассмотренном примере движения Земли, можно обнаружить и в движении камня, падающего в воздухе, и во вращении Луны по ее орбите; это – сила земного притяжения материальных тел. Ньютон установил, что движение падающих камней, движение Луны и планет – это только очень специальные проявления универсальной силы тяготения, действующей между двумя любыми телами. В простых случаях движение может быть описано и предсказано с помощью математики. В отдельных чрезвычайно сложных случаях, когда рассматривается действие многих тел друг на друга, математическое описание не так просто, но основные принципы те же самые.

Мы находим, что выводы, к которым мы пришли, следуя нашей исходной руководящей идее, осуществляются в движении брошенного камня, в движении Луны, Земли и планет.

Такова фактически вся наша система положений, которая должна быть доказана или опровергнута экспериментом. Ни одно из положений не может быть выделено для самостоятельного испытания. Найдено, что в отношении планет, движущихся вокруг Солнца, система механики действует блестяще. Тем не менее мы легко можем представить себе, что другая система механики, основанная на других предпосылках, может оказаться столь же хорошей.

Физические понятия суть свободные творения человеческого разума и не однозначно определены внешним миром, как это иногда может показаться. В нашем стремлении понять реальность мы отчасти подобны человеку, который хочет понять механизм закрытых часов. Он видит циферблат и движущиеся стрелки, даже слышит тиканье, но он не имеет средств открыть их корпус. Если он остроумен, он может нарисовать себе некую картину механизма, которая отвечала бы всему, что он наблюдает, но он никогда не может быть вполне уверен в том, что его картина единственная, которая могла бы объяснить его наблюдения. Он никогда не будет в состоянии сравнить свою картину с реальным механизмом, и он не может даже представить себе возможность или смысл такого сравнения. Но он, конечно, уверен в том, что по мере того, как возрастает его знание, его картина реальности становится все проще и проще и будет объяснять все более широкий ряд его чувственных восприятий. Он может также верить в существование идеального предела знаний и в то, что человеческий разум приближает этот предел. Этот идеальный предел он может назвать объективной истиной.

Еще одна руководящая идея

Впервые изучающие механику получают впечатление, что все в этой ветви науки просто, основательно и сохраняется на все времена. Едва ли кто-нибудь подозревал существование новой важной руководящей идеи, которая никем не была замечена в течение трех столетий. Эта оставшаяся вне поля зрения идея связана с одним из фундаментальных понятий механики – с понятием *массы*.

Вернемся снова к идеализированному эксперименту, а именно к тележке на совершенно гладкой поверхности. Если тележка вначале находится в покое, а затем получает толчок, то она будет двигаться прямолинейно и равномерно с определенной скоростью. Предположим, что воздействие силы на покоящуюся тележку можно по желанию повторять сколько угодно раз, следовательно, механизм, производящий толчки, действует каждый раз одинаково и возбуждает одинаковую силу, действующую на одну и ту же тележку. Однако, сколько бы ни повторялся эксперимент, конечная скорость тележки будет всегда одна и та же. Но что случится, если эксперимент изменяется, если раньше тележка была пустая, а теперь она нагружена? Нагруженная тележка будет иметь меньшую конечную скорость, чем пустая. Вывод таков: если одна и та же сила действует на два различных тела, причем оба вначале покоятся, то результирующие скорости будут неодинаковыми. Мы говорим, что конечная скорость зависит от массы тела, она меньше, если масса тела больше.

Поэтому мы знаем, по крайней мере в теории, как определить массу тела или, точнее, как определить, во сколько раз одна масса больше другой. Пусть одинаковые силы действуют на две покоящиеся массы. Найдя, что скорость первой массы в три раза больше, чем скорость второй, мы заключаем, что первая масса в три раза меньше второй. Конечно, это не очень удобный путь определения отношения двух масс. Тем не менее мы легко можем представить, что это можно сделать либо указанным, либо аналогичным путем, основанным на применении закона инерции.

Как же мы фактически определяем массу на практике? Конечно, не таким методом, какой только что описан. Каждый знает, каков правильный ответ. Мы определяем ее посредством взвешивания на весах.

Обсудим подробнее два различных пути определения массы.

Первый эксперимент не имеет ничего общего с тяжестью, притяжением к Земле. Тележка, получив толчок, движется по абсолютно гладкой горизонтальной плоскости. Сила тяжести, заставляющая тележку оставаться на плоскости, не изменяется и не играет никакой роли в определении массы. Это определение массы отличается от взвешивания. Мы никогда не могли бы применять весы, если бы Земля не притягивала тела, если бы не существовала тяжесть. Различие между обоими определениями масс состоит в том, что первое никак не связано с существованием силы тяжести, в то время как второе целиком основано на ее существовании.

Мы спрашиваем: если мы определяем отношение двух масс обоими путями, описанными выше, то получим ли мы одинаковый результат? Ответ, данный экспериментом, совершенно ясен. Результаты точно одинаковы! Этот вывод нельзя было бы предугадать: он основывается на наблюдении, а не на рассуждении. Назовем, ради простоты, массу, определенную первым путем, *инертной массой*, а массу, определенную вторым путем, *тяжелой массой*. В нашем мире они равны, но мы легко могли бы представить себе случай, когда это вовсе не имело бы места. Немедленно возникает другой вопрос: является ли это равенство обеих масс чисто случайным, или же оно имеет более глубокий смысл? С точки зрения классической физики ответ таков: равенство обеих масс случайно, и нет никакого смысла придавать этому факту большое значение. Ответ современной физики совершенно противоположен: равенство обеих

масс имеет фундаментальный смысл и составляет новую, весьма существенную руководящую идею, ведущую к более глубокому познанию мира. Действительно, это была одна из самых важных идей, из которых развилась так называемая общая теория относительности.

Нам представляется, что повесть о неких тайнах ниже по своему достоинству, если она загадочные события описывает как случайные. Конечно, нас больше удовлетворила бы повесть, которая следовала бы разумному образцу. Точно так же и теория, которая дает объяснение равенства тяжелой и инертной масс, превосходит теорию, трактующую их равенство как некоторую случайность, конечно, если обе эти теории одинаково удовлетворяют наблюдаемым фактам.

Так как это равенство инертной и тяжелой масс было фундаментальным для формулировки теории относительности, мы остановимся здесь подробнее на ее проверке. Какие эксперименты убедительно доказывают, что обе массы одинаковы? Ответ заключается в старом эксперименте Галилея, в котором он бросал тела различной массы с башни. Он заметил, что время, которое требовалось для падения, было всегда одинаково, т. е. движение падающего тела не зависит от массы. Чтобы связать этот простой, но чрезвычайно важный экспериментальный результат с наличием равенства обеих масс, необходимы более сложные рассуждения.

Поддаваясь действию внешней силы, покоящееся тело приходит в движение и достигает некоторой скорости. Оно уступает действию силы более или менее легко, соответственно его инертной массе, сильнее сопротивляясь изменению движения тогда, когда масса велика, чем тогда, когда она мала. Не претендуя на строгость, мы можем сказать: готовность, с какой тело отзывается на воздействие внешней силы, зависит от его инертной массы. Если бы Земля притягивала все тела с одинаковой силой, то самая большая масса должна была бы двигаться медленнее при падении, чем любая другая. В действительности же все тела падают одинаково. Это означает, что сила, с которой Земля притягивает различные массы, различна. Так, Земля, притягивая камень с некоторой силой, ничего не знает об его инертной массе. «Призывная» сила Земли зависит от тяжелой массы. «Ответное» движение камня зависит от инертной массы. Так как «ответное» движение всегда одинаково – все тела падают с одной и той же высоты одинаково, – то отсюда вытекает, что тяжелая и инертная массы равны.

То же самое заключение физик формулирует более педантично: ускорение падающего тела возрастает пропорционально его тяжелой массе, а убывает пропорционально его инертной массе. Так как все падающие тела имеют одно и то же постоянное ускорение, то обе массы должны быть равны.

В нашей повести о великих тайнах природы нет проблем, полностью разрешенных и установленных на все времена. Три сотни лет спустя мы должны были вернуться к первоначальной проблеме движения, исправить процедуру исследования, найти руководящую идею, которая не была ранее найдена, и тем самым построить новую картину окружающего нас мира.

Является ли теплота субстанцией?

Здесь мы начинаем исследовать новую руководящую идею, возникшую в области тепловых явлений. Однако невозможно разделить науку на отдельные несвязанные разделы. В самом деле, мы скоро увидим, что введенные здесь новые понятия тесно переплетаются с понятиями, уже известными, и с понятиями, которые мы еще встретим. Ход мыслей, развитый в одной ветви науки, часто может быть применен к описанию явлений, с виду совершенно отличных. В этом процессе первоначальные понятия часто видоизменяются, чтобы продвинуть понимание как явлений, из которых они произошли, так и тех, к которым они вновь применены.

Самые основные понятия в описании тепловых явлений это – *температура* и *теплота*. В истории науки потребовалось чрезвычайно много времени для того, чтобы оба эти понятия были разделены, но когда это разделение было произведено, оно вызвало быстрый прогресс науки. Хотя эти понятия теперь известны каждому, мы исследуем их подробнее, подчеркнув различие между ними.

Наше чувство осязания совершенно определенно сообщает нам, что одно тело теплое, а другое – холодное. Но это чисто качественный критерий, недостаточный для количественного описания, а иногда даже двусмысленный. Это подтверждается хорошо известным экспериментом: пусть мы имеем три сосуда, содержащих относительно холодную, теплую и горячую воду. Если мы опустим одну руку в холодную воду, а другую – в горячую, то получим ощущение, что первая вода холодна, а вторая – горяча. Если затем мы опустим обе руки в теплую воду, то мы получим два противоречивых ощущения. На этом же основании жители северных и экваториальных стран, встречаясь в Нью-Йорке в весенний день, держались бы различных мнений о том, теплая или холодная была погода в момент их встречи. Мы разрешаем все эти вопросы применением термометра, инструмента, спроектированного в примитивной форме Галилеем. (Опять то же известное имя!) Применение термометра основано на некоторых очевидных физических предположениях. Мы напомним о них, приведя несколько строк из лекции, прочитанной около ста сорока лет тому назад Блэком¹, который много способствовал делу разъяснения трудностей, связанных с обоими понятиями – понятием теплоты и понятием температуры.

«Благодаря применению этого инструмента мы узнали, что если мы возьмем тысячу или более различных видов вещества, таких, как металлы, камни, соли, дерево, перья, шерсть, вода и многообразие других жидкостей, причем все они вначале будут различной *теплоты*, поместим их вместе в одну и ту же комнату без огня и без солнечного света, то теплота будет передаваться от более горячего из этих тел к более холодному, может быть, в течение нескольких часов или в течение дня, а в конце этого времени термометр, последовательно приложенный ко всем телам, покажет точно одну и ту же степень нагретости».

Выделенное курсивом слово *теплота* согласно теперешней терминологии должно быть заменено словом *температура*.

Врач, рассматривая термометр, с помощью которого он измерял температуру больного человека, может рассуждать приблизительно так: «Термометр показывает свою собственную температуру длиной своего ртутного столбика. Мы предполагаем, что длина ртутного столбика возрастает пропорционально возрастанию температуры. Но термометр был в течение несколь-

¹ Здесь и в дальнейшем при аналогичных ссылках читатель должен учесть, что настоящая книга писалась в 1938 году. (Прим. перев.)

ких минут в соприкосновении с моим пациентом, так что и пациент и термометр имеют одну и ту же температуру. Поэтому я заключаю, что температура моего пациента та же, что и температура, зарегистрированная термометром». Доктор, вероятно, действует механически, но он применяет физические законы, не рассуждая о них.

Но содержит ли термометр то же самое количество теплоты, что и тело человека? Конечно, нет. Чтобы предположить, что два тела содержат одинаковое количество теплоты именно потому, что их температуры одинаковы, следует, как заметил Блэк,

«держаться очень поспешного взгляда о предмете. Это означает смешивание количества теплоты в различных телах с ее общей силой или интенсивностью, хотя ясно, что это – неодинаковые вещи, которые всегда следует различать, когда мы рассуждаем о распределении теплоты».

Это различие становится понятным из рассмотрения очень простого эксперимента. Чтобы изменить температуру килограмма воды от комнатной температуры до точки кипения, необходимо некоторое время. Гораздо большее время требуется для нагревания двенадцати килограммов воды в том же сосуде на том же пламени. Мы истолковываем этот факт как указание на то, что теперь требуется больше «чего-то», и это «что-то» мы называем *теплотой*.

Следующее важное понятие – *удельная теплота*, получено из следующего эксперимента: пусть один сосуд содержит килограмм воды, а другой – килограмм ртути, и пусть оба нагреваются одинаковым образом. Ртуть станет горячей гораздо скорее, чем вода, тем самым показывая, что необходимо меньше «теплоты», чтобы поднять температуру ртути на один градус. Вообще говоря, для того чтобы нагреть на один градус, скажем, от четырех до пяти градусов по Цельсию, различные вещества, такие, как вода, ртуть, железо, медь, дерево и т. д., все одинаковой массы, требуются различные количества «теплоты». Мы говорим, что каждое вещество имеет свою индивидуальную *теплоемкость*, или *удельную теплоту*.

Получив понятие теплоты, мы можем исследовать его природу ближе. Пусть мы имеем два тела: одно горячее, а другое холодное, или точнее, одно тело более высокой температуры, чем другое. Установим между ними контакт и освободим их от всех других внешних влияний. Мы знаем, что в конечном итоге они достигнут одной и той же температуры. Но как это получается? Что происходит с того времени, когда они приведены в соприкосновение, до достижения ими одинаковой температуры? На ум приходит картина течения теплоты от одного тела к другому, аналогично тому, как вода течет с более высокого уровня к низшему. Эта, хотя и примитивная, картина оказывается соответствующей многим фактам, так что можно провести аналогию:

Вода – Теплота
Более высокий уровень – Более высокая температура
Низший уровень – Низшая температура

Течение продолжается до тех пор, пока оба уровня, т. е. обе температуры, не сравняются. Этот наивный взгляд можно сделать более полезным для количественного рассмотрения. Если смешиваются вместе определенные массы воды и спирта, каждая при определенной температуре, знание удельных теплот позволяет предсказать конечную температуру смеси. Наоборот, наблюдение конечной температуры и небольшое знание алгебры позволяют нам найти отношение двух удельных теплот.

Мы приходим к понятию теплоты, которое оказывается здесь похожим на другие физические понятия. Согласно нашему взгляду, теплота – это субстанция, такая же, как и масса в механике². Ее количество может либо изменяться, либо же оставаться постоянным, подобно

² В старой русской литературе в аналогичных случаях по отношению к теплоте применялся термин «вещество». (Прим. перев.)

деньгам, которые можно либо отложить в сейф, либо же истратить. Количество денег в сейфе будет оставаться неизменным до тех пор, пока сейф остается запертым; точно так же будут неизменными количества массы и теплоты в изолированном теле. Идеальный дорожный термос аналогичен такому сейфу. Больше того, как масса в изолированной системе остается неизменной, даже если имеет место химическое превращение, так же и теплота сохраняется даже в том случае, когда она переходит от одного тела к другому. Даже если теплота употребляется не на повышение температуры тела, а, скажем, на таяние льда или на превращение воды в пар, мы можем по-прежнему думать о ней как о субстанции, так как можем снова получить ее при замерзании воды или при сжижении пара. Старые названия – скрытая теплота таяния или испарения – показывают, что эти понятия получены из представления о теплоте как о субстанции. Скрытая теплота временно скрывается, подобно деньгам, положенным в сейф, но ее можно использовать, если известен запирающий механизм.

Но теплота, разумеется, не субстанция в том же смысле, как масса. Массу можно взвесить на весах, а можно ли взвесить теплоту? Весит ли кусок железа больше, когда он докрасна нагрет, по сравнению с тем, когда он холоден как лед? Эксперимент показывает, что нет. Если теплота – субстанция, то она – невесомая субстанция. «Тепловое вещество» обычно называлось *калорием* (*теплородом*); через него мы впервые знакомимся с целым семейством невесомых субстанций. Позднее мы будем иметь случай проследить историю этого семейства, его подъем и падение. Теперь же достаточно отметить зарождение отдельного члена этого семейства.

Цель всякой физической теории – объяснить максимально широкую область явлений. Она оправдывается постольку, поскольку делает события понятными. Мы видели, что субстанциональная теория теплоты объясняет много тепловых явлений. Однако скоро станет очевидным, что это опять ложная идея, что теплоту нельзя считать субстанцией, хотя бы и невесомой. Это ясно, если вспомнить о некоторых простых экспериментах, отметивших начало цивилизации.

О субстанции мы думаем, как о чем-то, что никогда не может быть ни создано, ни разрушено. Однако первобытный человек с помощью трения создал теплоту, достаточную для того, чтобы зажечь дерево. Примеры нагревания посредством трения слишком многочисленны и хорошо известны, чтобы нужно было о них рассказывать. Во всех этих случаях создается некоторое количество теплоты – факт, трудно объяснимый с точки зрения субстанциональной теории. Верно, что защитник этой теории может придумать доводы с целью объяснить этот факт. Его рассуждение должно быть приблизительно таким: «Субстанциональная теория может объяснить видимое создание теплоты. Возьмем простейший пример, когда два куска дерева трутся друг о друга. Так вот трение – это нечто такое, что воздействует на дерево и изменяет его свойства. При этом свойства изменяются так, что неизменное количество теплоты должно создавать более высокую температуру, чем прежде. В конце концов, единственное, что мы замечаем, это – повышение температуры. Возможно, что трение изменяет теплоемкость дерева, а не общее количество теплоты».

В этой стадии обсуждения было бы бесполезным спорить с защитником субстанциональной теории; это вопрос, который может быть разрешен только экспериментально. Представим себе два одинаковых куска дерева и предположим, что температура их изменена одинаково, но различными методами: в одном случае, например, путем трения, а в другом – при помощи соприкосновения с радиатором. Если оба куска имеют одинаковую теплоемкость при новой температуре, то рушится вся субстанциональная теория. Имеются очень простые методы определения теплоемкостей, и судьба этой теории зависит от результата именно таких измерений. В истории физики часто встречаются такие испытания, которые способны произнести приговор о жизни или смерти теории; они называются *crucis* (крucис, т. е. решающими) экспериментами. Решением суда такого эксперимента может быть оправдана только одна теория явлений. Опре-

деление удельных теплоемкостей двух тел одного и того же рода при одинаковых температурах, достигнутых соответственно трением и тепловым потоком, представляет собой типичный пример решающего эксперимента. Этот эксперимент был произведен около ста сорока лет тому назад Румфордом; он нанес смертельный удар субстанциональной теории теплоты.

В докладе Румфорда мы читаем:

«Часто случается, что обычные житейские дела и занятия предоставляют нам возможности наблюдения некоторых наиболее любопытных процессов природы; очень интересные физические эксперименты нередко можно сделать без особых забот или затрат с помощью механизма, придуманного для выполнения простых механических задач в ремеслах и производстве.

У меня очень часто были случаи для подобных наблюдений, и я убеждался, что привычка быстро реагировать на все, что встречается в обычном ходе деловой жизни, приводила, так сказать, случайно или в резвых экскурсиях воображения, которые возникали под влиянием размышлений над самыми обычными явлениями, – к полезным сомнениям и разумным планам исследования и совершенствования гораздо чаще, чем все самые напряженные размышления физиков в часы, специально отведенные для научных занятий...

Недавно, будучи обязанным наблюдать за сверлением пушки на заводах военного арсенала в Мунче, я был удивлен очень значительной степенью теплоты, которую приобретала медная пушка за короткое время сверления; еще интенсивнее (гораздо интенсивнее, чем теплота кипящей воды, как я обнаружил опытом) была теплота металлических стружек, отделенных от пушки при сверлении...

Откуда приходит теплота, фактически произведенная в вышеупомянутом механическом процессе?

Доставляется ли она металлическими стружками, которые отделяются при сверлении от твердой массы металла?

Если бы это было так, то, согласно современному учению о скрытой теплоте и о теплороде, теплоемкость их не только должна была измениться, но само изменение это должно быть достаточно велико, чтобы объяснить всю произведенную теплоту.

Но никакого такого изменения не было; я обнаружил это, взяв равные по весу количества этих стружек, а также тонких полосок той же самой металлической болванки, отделенных мелкой пилкой, и положив их при одинаковой температуре (температуре кипящей воды) в сосуды с холодной водой, взятой в одинаковых количествах (например, при температуре $59,5^{\circ}$ по Фаренгейту); вода, в которую были положены стружки, судя по всему, не нагрелась больше или меньше, чем другая часть воды, в которую были положены полоски металла».

Наконец, мы подходим к выводу Румфорда!

«Обсуждая этот предмет, мы не должны забывать учета того самого замечательного обстоятельства, что источник теплоты, порожденный трением, оказался в этих экспериментах явно *неисчерпаемым*.

Совершенно необходимо добавить, что это нечто, которое любое *изолированное* тело или система тел может непрерывно поставлять *без ограничения*, не может быть *материальной субстанцией*; и мне кажется чрезвычайно трудным, если не совершенно невозможным, создать какую-либо точную идею о чем-то, что в состоянии возбуждаться и передаваться подобно

тому, как возбуждается и передается в этих экспериментах теплота, если только не допустить, что это что-то есть *движение*».

Таким образом, мы видим разрушение старой теории, или, чтобы быть более точным, мы видим, что субстанциональная теория ограничивается проблемами теплового потока. И опять, как указал Румфорд, мы должны искать новые руководящие идеи. Чтобы сделать это, оставим на время проблему теплоты и вернемся к механике.

Увеселительная горка

Проследим за движением маленького вагона, поднятого до наиболее высокой точки волнообразной горки (рис. 18). Когда он освобождается, он начинает катиться вниз под влиянием силы тяжести, а затем поднимается и опускается вдоль причудливо искривленной линии, заставляя пассажиров весьма остро переживать свое путешествие вследствие внезапного изменения скорости. Каждый зигзаг дорожки имеет свою наивысшую точку. Однако никогда на всем протяжении движения вагон не достигнет той же самой высоты, с которой он начал движение. Полное описание движения было бы очень сложным.

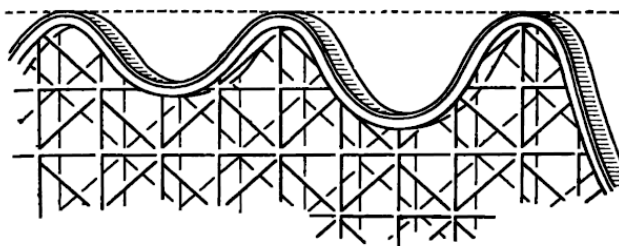


Рис. 18.

С одной стороны, это механическая проблема, так как налицо изменение скорости и положения во времени.

С другой стороны, имеется трение, а стало быть, образование теплоты в рельсах и колесах. Единственное существенное основание для разделения физического процесса на эти два аспекта – это возможность использовать обсужденные раньше понятия. Это разделение приводит к идеализированному эксперименту, ибо физический процесс, в котором проявляется только механический аспект, можно только вообразить, но никогда нельзя реализовать.

Для идеализированного эксперимента мы можем вообразить, что некто научился полностью исключать трение, которое всегда сопровождает движение. Он решает применить свое открытие к конструкции нового аттракциона – волнообразной горки и должен найти, как построить ее. Вагон должен пробежать вверх и вниз от своей исходной точки, скажем, на высоте тридцати метров над уровнем земли. Учась на опыте и ошибках, он скоро узнает, что он может следовать очень простому правилу: он может построить свою горку любой формы, какую он пожелает, при условии, что ни одна точка его дорожки не лежит выше исходной. Если вагон будет двигаться без трения до самого конца горки, то на своем пути он может достигнуть высоты в тридцать метров столько раз, сколько наш конструктор пожелает, но никогда эта высота не может быть превзойдена. На реально выполнимой горке начальная высота никогда не может быть достигнута вагоном из-за трения, но наш воображаемый инженер не нуждается в рассмотрении последнего.

Проследим за движением на идеализированной горке идеализированного вагона, начинающего катиться вниз от исходной точки. Когда он движется, его расстояние от земли уменьшается, но его скорость увеличивается. Это предложение на первый взгляд напоминает нам один из уроков по языку: «У меня нет ни одного карандаша, но у вас есть шесть апельсинов». Однако оно не так глупо. Нет никакой связи между тем, что я не имею ни одного карандаша, а вы имеете шесть апельсинов, но существует очень реальное соотношение между расстоянием вагона от земли и его скоростью. Мы можем точно подсчитать скорость вагона в любой момент, если мы знаем, на какой высоте над землей он находится; мы вынуждены, однако, опустить

здесь этот подсчет из-за его количественного характера, лучше всего выражаемого математической формулой.

В наивысшей точке скорость вагона равна нулю, а высота – тридцати метрам от земли. В самой низкой точке расстояние от земли равно нулю, но скорость вагона наибольшая. Эти факты можно выразить другими словами. В наивысшей точке у вагона есть *потенциальная энергия*, но нет *кинетической энергии*, или энергии движения. В самой низкой точке у вагона наибольшая кинетическая энергия, но нет никакой потенциальной энергии. Во всех промежуточных положениях, в которых имеется и некоторая скорость, и некоторое возвышение над землей, вагон имеет и кинетическую и потенциальную энергии. Потенциальная энергия увеличивается с поднятием, между тем как кинетическая энергия становится больше по мере того, как возрастает скорость. Принципы механики достаточны для того, чтобы объяснить движение. В математической формуле находятся два выражения энергии, каждое из которых при движении меняется, хотя сумма их не изменяется. Таким образом, возможно строго математически ввести понятия потенциальной энергии, зависящей от положения, и кинетической энергии, зависящей от скорости. Введение обоих названий, конечно, произвольно и оправдывается лишь удобством. Сумма двух количеств остается неизменной и называется константой движения.

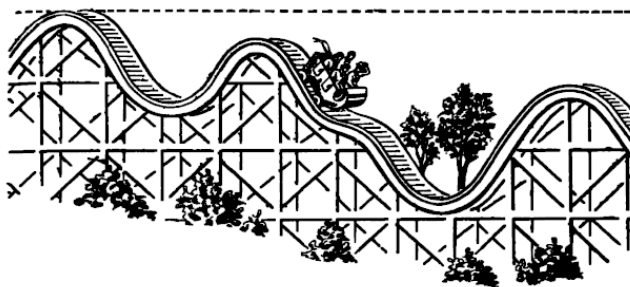


Рис. 19.

Полную энергию, кинетическую плюс потенциальную, можно сравнить, например, с деньгами, которые сохранялись неизменными по величине, но непрерывно обменивались по твердому курсу то на одну валюту, то на другую, скажем, на доллары, фунты и обратно.

В реальной горке, при движении по которой трение препятствует вагону вновь подняться до высоты исходной точки, имеет место непрерывный взаимообмен между кинетической и потенциальной энергиями. Однако здесь сумма их не остается постоянной, а становится все меньше и меньше. Теперь необходимо сделать важный и смелый шаг – поставить в связь механический и тепловой аспекты движения. Значение следствий и обобщений, сделанных из этого шага, будет видно из дальнейшего.

В этом случае в рассмотрение вовлекается нечто большее, чем кинетическая и потенциальная энергии, а именно теплота, создаваемая трением. Соответствует ли эта теплота уменьшению механической, т. е. кинетической и потенциальной, энергии? Новое предположение неизбежно. Если теплоту можно рассматривать как форму энергии, то, может быть, сумма всех трех энергий – теплоты, кинетической и потенциальной энергий – остается постоянной. Не одна теплота, а теплота и другие формы энергии, взятые вместе, неразрушимы подобно субстанции. Это похоже на то, как если бы человек, обменивая свои доллары на фунты, должен был из тех же денег заплатить франками за комиссию по обмену; общая сумма денег тоже сохраняется, так что сумма долларов, фунтов и франков представляет собой определенную величину, которую можно установить соответственно определенному курсу обмена.

Прогресс науки разрушил старое понятие теплоты как субстанции. Мы пытаемся создать новую субстанцию, энергию, одной из форм которой является теплота.

Мера превращения

Меньше ста лет назад Майер ввел, а Джоуль экспериментально подтвердил новую идею, которая привела к понятию теплоты как формы энергии. Удивительно, что почти все фундаментальные работы о природе теплоты были сделаны не физиками-профессионалами, а людьми, которые рассматривали физику исключительно как свое любимое занятие. Это были многосторонний шотландец Блэк, немецкий врач Майер и американский предприниматель граф Румфорд, впоследствии живший в Европе, где занимался различной деятельностью и, в частности, был военным министром Баварии. Был среди них и английский пивовар Джоуль, проделавший в свободное время ряд наиболее важных экспериментов, касающихся сохранения энергии.

Джоуль экспериментально подтвердил предположение о том, что теплота – это форма энергии, и определил меру превращения.

Стоит потратить время, чтобы посмотреть, каковы были его опыты.

Кинетическая и потенциальная энергии системы составляют вместе ее *механическую* энергию. Мы предполагаем, что в случае движения вагона по увеселительной горке часть механической энергии превращается в теплоту. Если это верно, то как в этом, так и во всех других аналогичных физических процессах должна существовать определенная *мера превращения* механической энергии в тепловую (механический эквивалент теплоты). Это строго количественный вопрос, но тот факт, что данное количество механической энергии может быть превращено в определенное количество теплоты, весьма важен. Нам хотелось бы знать, каким числом выражается мера превращений, т. е. сколько теплоты мы получим из данного количества механической энергии.

Определение этого числа как раз и было предметом исследований Джоуля. Механизм одного из его экспериментов очень похож на механизм часов с гирями. Завод таких часов состоит в поднятии двух гирь, благодаря чему увеличивается потенциальная энергия системы. Если такие часы ни с чем не связаны, их можно считать замкнутой системой. Постепенно гири падают, и часы идут. По прошествии определенного времени гири достигнут своего наинизшего положения, и часы остановятся. Что произошло с энергией? Потенциальная энергия гирь превратилась в кинетическую энергию механизма, а затем постепенно рассеялась в виде теплоты.

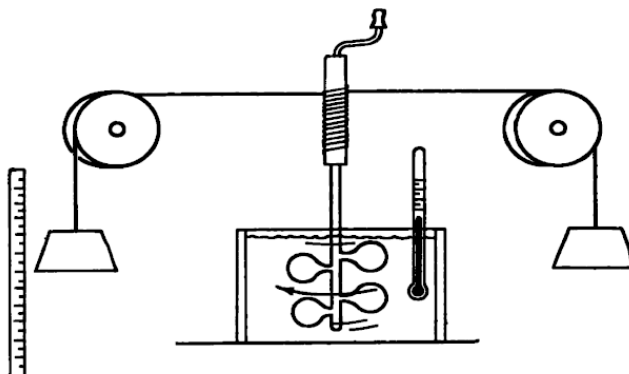


Рис. 20.

Искусное изменение в механизме этого рода позволило Джоулю измерить тепловую потерю, а тем самым и меру превращения. В его приборе две гири вызывали вращение колеса с лопастями, помещенного в воду (рис. 20). Потенциальная энергия гирь превращалась в кинетическую энергию механизма, а затем постепенно рассеивалась в виде теплоты.

тическую энергию движущихся частиц воды, а стало быть, в теплоту, которая увеличивала температуру воды. Джоуль измерял это изменение температуры и, зная теплоемкость воды, подсчитывал количество поглощенной теплоты. Он подытожил результаты многих опытов в следующих положениях:

1. Количество теплоты, произведенной трением тел, твердых или жидких, всегда пропорционально количеству затраченной силы (силой Джоуль обозначал энергию).
2. Количество теплоты, необходимое для увеличения температуры фунта воды (взвешенной в вакууме и взятой при температуре между 55 и 60°) на 1° Фаренгейта, требует для своего развития расхода механической силы (энергии), представленной падением 772 фунтов с высоты в один фут³.

Другими словами, потенциальная энергия 772 фунтов, поднятых на один фут над землей, эквивалентна количеству теплоты, необходимой для того, чтобы поднять температуру одного фунта воды от 55 до 56° по шкале Фаренгейта.

Последующие эксперименты внесли несколько большую точность, но механический эквивалент теплоты – это то существенное, что Джоуль нашел в своей первоначальной работе.

Поскольку эта важная работа была сделана, дальнейший прогресс шел быстро. Скоро было признано, что механическая энергия и тепловая – это только две из многих форм энергии. Все, что может быть превращено в какую-либо из этих форм, есть тоже форма энергии. Излучение, испускаемое Солнцем, есть энергия, ибо часть ее превращается на Земле в теплоту. Электрический ток обладает энергией, ибо он нагревает проводник и вращает ротор мотора. Уголь обладает химической энергией, высвобождающейся в виде теплоты во время сгорания. В каждом явлении природы одна форма энергии превращается в другую всегда при некоторой вполне определенной мере превращения. В замкнутой системе, изолированной от внешних влияний, энергия сохраняется и, следовательно, ведет себя подобно субстанции. Сумма всех возможных форм энергии в такой системе постоянна, хотя количество любого из этих видов энергии может изменяться. Если мы рассматриваем всю Вселенную как замкнутую систему, мы можем вместе с физиками девятнадцатого столетия гордо заявить, что энергия Вселенной неизменна, что никакая часть ее никогда не может быть создана или уничтожена.

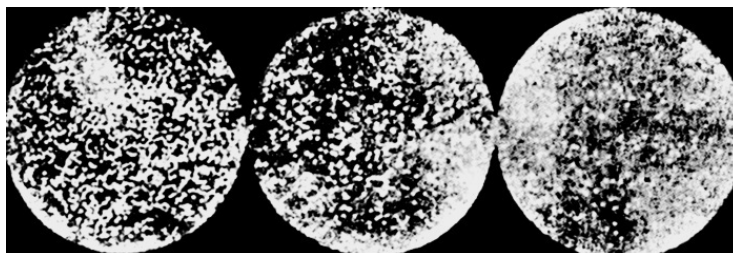
В таком случае существуют два понятия субстанции: *вещество* и *энергия*. Оба подчиняются законам сохранения: масса и полная энергия изолированной системы не могут изменяться. Вещество имеет вес, а энергия невесома. Поэтому мы имеем два различных понятия и два закона сохранения. Можно ли и теперь использовать эти идеи в прежнем виде? Или эта, несомненно, хорошо обоснованная, картина изменилась в свете новейших исследований? Да, изменилась! Дальнейшие изменения в обоих понятиях связаны с теорией относительности. Мы вернемся к этому вопросу позднее.

³ В переводе на метрические меры приведенное в тексте положение будет звучать так: Количество теплоты, необходимое для увеличения температуры килограмма воды (взвешенной в вакууме и взятой при температуре между 14 и 15°) на 1° по Цельсию, требует для своего развития расхода механической силы (энергии), представленной падением 427 килограммов с высоты одного метра. (Прим. перев.)

Философские воззрения

Результаты научного исследования очень часто вызывают изменения в философских взглядах на проблемы, которые распространяются далеко за пределы ограниченных областей самой науки. Какова цель науки? Что требуется от теории, которая стремится описать природу? Эти вопросы, хотя и выходят за пределы физики, близко связаны с ней, так как наука дает тот материал, из которого они вырастают. Философские обобщения должны основываться на научных результатах. Однако, раз возникнув и получив широкое распространение, они очень часто влияют на дальнейшее развитие научной мысли, указывая одну из многих возможных линий развития. Успешное восстание против принятого взгляда имеет своим результатом неожиданное и совершенно новое развитие, становясь источником новых философских воззрений. Эти замечания неизбежно звучат неопределенно и неостроумно до тех пор, пока они не иллюстрированы примерами, взятыми из истории физики.

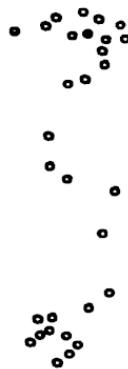
Мы постараемся здесь описать первые философские идеи о целях науки. Эти первые идеи сильно влияли на развитие физики до тех пор, пока, около ста лет назад, они не были отброшены благодаря новым данным, новым фактам и теориям, которые в свою очередь образовали новую основу для науки.



Броуновские частицы, видимые через микроскоп. (Сфотографировано Ж. Перреном.)



Одна броуновская частица, сфотографированная с длительной выдержкой. (Сфотографировано Брумбергом и Вавиловым.)



Последовательные положения, наблюдаемые для одной из броуновских частиц.



Путь, выведенный из этих последовательных положений.

Во всей истории науки от греческой философии до современной физики имелись постоянные попытки свести внешнюю сложность естественных явлений к некоторым простым фундаментальным идеям и отношениям. Это основной принцип всей натуральной философии. Он выражен уже в работе атомистов. Двадцать три столетия назад Демокрит писал:

«Условно сладкое, условно горькое, условно горячее, условно холодное, условен цвет. А в действительности существуют атомы и пустота. То есть объекты чувств предполагаются реальными и в порядке вещей – рассматривать их как таковые, но на самом деле они не существуют. Реальны только атомы и пустота».

Эта идея остается в древней философии не чем иным, как остроумным вымыслом воображения. Законы природы, устанавливающие связь следующих друг за другом событий, были неизвестны грекам. Наука, связывающая теорию и эксперимент, фактически началась с работ Галилея. Мы проследили за первыми шагами ее развития, приводящими к законам движения. На протяжении двухсот лет научного исследования сила и материя были основными понятиями во всех попытках понять природу. Невозможно представить себе одно без другого, ибо материя обнаруживает свое существование в качестве источника силы благодаря ее действию на другую материю.



Рис. 21.

Рассмотрим простейший пример: две частицы, между которыми действуют силы. Легче всего представить себе силы притяжения и отталкивания. В обоих случаях векторы сил лежат на линии, соединяющей материальные точки (рис. 21). Требование простоты приводит нас к картине частиц, притягивающих или отталкивающих друг друга; любое другое предположение о направлении действующих сил привело бы к гораздо более сложной картине. Можем ли мы сделать столь же простое предположение о длине векторов сил? Если мы пожелаем избежать слишком специальных предположений, мы можем высказать одно соображение: сила, действующая между двумя данными частицами, зависит только от расстояния между ними, подобно

силам тяготения. Это предположение кажется довольно простым. Можно было бы представить гораздо более сложные силы, например зависящие не только от расстояния, но и от скоростей обеих частиц. С материей и силой в качестве основных понятий мы едва ли можем связать более простые предположения, чем те, что силы действуют вдоль линии, связывающей частицы, и зависят только от расстояния. Но возможно ли описать все физические явления с помощью сил только этого рода?

Огромные достижения механики во всех ее ветвях, ее поразительный успех в развитии астрономии, приложение ее идей к проблемам, по-видимому, отличным от механических по своему характеру, – все это способствовало развитию уверенности в том, что с помощью простых сил, действующих между неизменными объектами, *можно* описать все явления природы. На протяжении двух столетий, последовавших за временем Галилея, такая попытка, сознательная или бессознательная, проявляется почти во всех научных трудах.

Особенно ясно ее сформулировал Гельмгольц около середины девятнадцатого столетия:

«Следовательно, конечную задачу физической науки мы видим в том, чтобы свести физические явления к неизменным силам притяжения или отталкивания, величина которых целиком зависит от расстояния. Разрешимость этой задачи есть условие полного понимания природы».

Таким образом, линия развития науки согласно Гельмгольцу определена и следует строго установленному курсу:

«Ее призвание будет выполнено по мере того, как будет выполнено сведение явлений природы к простым силам и будет доказано, что это единственно возможное сведение, которое допускают явления».

Физику двадцатого столетия это воззрение представляется недалеким и наивным. Ему страшно было бы подумать, что величайшие успехи исследования могли бы скоро закончиться, перестав возбуждать умы, если бы непогрешимая картина строения Вселенной была установлена на все времена.

Хотя эти догматы сводили бы описание всех событий к простым силам, они оставляли открытым вопрос о точной зависимости сил от расстояния. Возможно, что для различных явлений эта зависимость различна. Необходимость введения многих различных видов сил для различных событий, конечно, неудовлетворительна с философской точки зрения. Тем не менее, это так называемое *механистическое воззрение*, наиболее ясно сформулированное Гельмгольцем, сыграло в свое время важную роль. Развитие кинетической теории вещества есть одно из величайших достижений науки, непосредственно вызванное механистическим воззрением.

Прежде чем показать его упадок, временно станем на ту точку зрения, которой придерживались физики прошлого столетия, и посмотрим, какие заключения мы можем вывести из этой картины внешнего мира.

Кинетическая теория вещества

Возможно ли объяснить тепловые явления в терминах, относящихся к движению частиц, взаимодействующих между собой с помощью простых сил? Пусть замкнутый сосуд содержит определенную массу газа, например воздуха, при определенной температуре. Нагревая воздух, мы поднимаем его температуру и таким образом увеличиваем энергию. Но как эта теплота связана с движением? Возможность такой связи внушается нам и нашим догматически принятым философским воззрением и тем, что теплота порождается движением. Теплота должна представлять собой механическую энергию, если всякая проблема есть механическая проблема. Задача *кинетической теории* состоит в том, чтобы представить понятие материи именно таким путем. Согласно этой теории газ есть совокупность огромного числа частиц, или *молекул*, движущихся во всех направлениях, соударяющихся друг с другом и изменяющих свое направление движения после каждого столкновения. В таком газе должна существовать средняя скорость молекул, подобно тому как в большом человеческом обществе существует средний возраст или средний доход. Поэтому должна существовать также и средняя кинетическая энергия частицы. Чем больше теплоты в данном сосуде, тем больше средняя кинетическая энергия.

Таким образом, согласно этой картине теплота не является специфической формой энергии, отличной от механической, а она есть не что иное, как именно кинетическая энергия молекулярного движения. Любой определенной температуре соответствует определенная средняя кинетическая энергия молекулы. В самом деле, это не произвольное предположение. Мы вынуждены рассматривать кинетическую энергию молекулы как меру температуры газа, если мы хотим создать последовательную механистическую картину строения вещества.

Эта картина – нечто большее, чем игра воображения. Можно показать, что кинетическая теория газов не только находится в согласии с экспериментом, но и действительно приводит к более глубокому пониманию фактов. Это можно проиллюстрировать несколькими примерами.

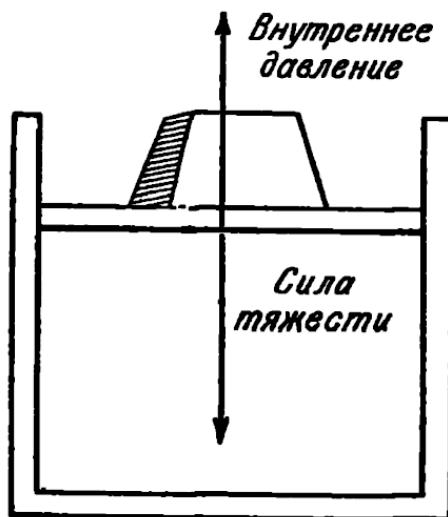


Рис. 22.

Пусть мы имеем сосуд, закрытый поршнем, который может свободно двигаться (рис. 22). Сосуд содержит определенное количество газа, который должен сохраняться при неизменной температуре. Если поршень вначале покоится в некотором положении, то его можно поднять вверх, снимая нагрузку, или, добавляя ее, опустить. Чтобы сдвинуть поршень вниз, нужно употребить силу, действующую против внутреннего давления газа. Каков механизм этого внут-

ренного давления согласно кинетической теории? Огромное число частиц, составляющих газ, движется во всех направлениях. Они бомбардируют все стенки и поршень, отскакивая назад, подобно мячам, брошенным в стену. Эта непрерывная бомбардировка большого числа частиц поддерживает поршень на определенной высоте, сопротивляясь силе тяжести, действующей по направлению вниз на поршень и нагрузку. В одном направлении действует постоянная сила тяготения, а в другом – очень много беспорядочных ударов молекул. Конечный результат действия на поршень всех этих малых беспорядочных сил должен быть равен результату действия силы тяготения, если сохраняется равновесие.

Предположим, что поршень сдвинули вниз так, что он сжал газ до некоторой части его первоначального объема, скажем, до половины, а температура его осталась неизменной. Что должны мы ожидать в этом случае согласно кинетической теории? Будет ли сила, происходящая от бомбардировки молекул, эффективнее, чем прежде, или нет? Теперь частицы заполняют сосуд теснее, чем прежде. Хотя средняя кинетическая энергия по-прежнему та же самая, удары частиц о поршень теперь происходят чаще, а стало быть, полная сила будет больше. Из этой картины, представленной кинетической теорией, ясно, что для того чтобы удержать поршень в его нижнем положении, требуется большая нагрузка. Этот простой экспериментальный факт хорошо известен, но предсказание его логически вытекает из кинетического взгляда на материю.

Рассмотрим другой эксперимент. Возьмем два сосуда, содержащих одинаковые объемы различных газов, скажем, водорода и азота, оба при одинаковой температуре. Предположим, что оба сосуда закрыты одинаковыми поршнями, на которых наложены равные нагрузки. Короче говоря, это означает, что оба газа имеют равные объемы, температуру и давление. Так как температура одинакова, то согласно теории такова же и средняя кинетическая энергия частиц. Так как давления одинаковы, то оба поршня бомбардируются с одной и той же общей силой. В среднем каждая частица обладает одной и той же энергией, а оба сосуда имеют равный объем. Поэтому, хотя газы химически и различны, *число молекул в каждом сосуде должно быть одинаковым*. Этот результат очень важен для понимания многих химических явлений. Он означает, что число молекул в данном объеме при определенной температуре и давлении есть нечто такое, что характеризует не какой-либо отдельный газ, а все газы. Наиболее изумительно то, что кинетическая теория не только предсказывает существование такого универсального числа, но и позволяет нам определить его. К этому вопросу мы скоро вернемся.

Кинетическая теория вещества объясняет как количественно, так и качественно законы газов, найденные с помощью эксперимента. Более того, теория не ограничивается газами, хотя ее наибольшие успехи были достигнуты в этой области.

Газ можно довести до сжижения понижением его температуры. Падение температуры вещества означает уменьшение средней кинетической энергии его частиц. Поэтому ясно, что средняя кинетическая энергия частиц жидкости меньше, чем средняя кинетическая энергия частиц соответствующего газа.

Поразительная демонстрация движения частиц в жидкостях была впервые дана так называемым *броуновским движением*, замечательным явлением, которое осталось бы совершенно таинственным и непонятным без кинетической теории вещества. Оно было впервые наблюдало ботаником Броуном, а объяснено лишь спустя восемьдесят лет, в начале этого столетия. Единственный прибор, необходимый для наблюдения броуновского движения, – это микроскоп, притом даже не особенно хорошего качества.

Броун работал с частицами пылицы некоторых растений, т. е., по его словам,

«частицами размером от одной четырехтысячной до одной пятитысячной доли дюйма в длину».

Далее он рассказывает:

«Проверяя формы этих частиц, погруженных в воду, я наблюдал многие из них в явном движении... Эти движения были таковы, что после многих повторных наблюдений я убедился в том, что они возникают не от потоков в жидкости и не от ее постепенного испарения, а принадлежат самим частицам».

То, что наблюдал Броун, было непрерывным колебанием частиц, взвешенных в воде и наблюдаемых в микроскоп. Это поразительное зрелище!

Существен ли выбор отдельных растений для наблюдаемого явления? Чтобы ответить на этот вопрос, Броун повторил эксперимент со многими различными растениями и нашел, что все частицы, взвешенные в воде, обнаруживают такое же движение, если только они достаточно малы. Больше того, он обнаружил тот же вид неугомонного, беспорядочного движения у очень малых частиц как органических, так и неорганических веществ. Даже с распыленными кусочками камня он наблюдал такие же явления! (См. фото на стр. 61.)

Как можно объяснить это движение? Кажется, что оно противоречит всему прежнему опыту. Наблюдение положения одной взвешенной частицы, произведенное через, скажем, каждые тридцать секунд, обнаруживает фантастическую форму ее пути. Удивительно то, что ее движение, по-видимому, имеет характер вечного движения. Колеблющийся маятник, помещенный в воду, скоро остановится, если только он не будет толкаться некоторой внешней силой. Существование никогда не ослабляющегося движения кажется противоречащим всему предыдущему опыту. Эта трудность была блестяще объяснена кинетической теорией материи.

Если мы будем рассматривать воду даже через самый мощный микроскоп, мы не можем увидеть молекул и их движения, нарисованного нам кинетической теорией материи. Из этого можно заключить, что если представление о воде как о совокупности частиц и правильно, то величина этих частиц лежит за пределами видимости самых лучших микроскопов. Тем не менее останемся верными теории и предположим, что она представляет последовательную картину реальности. Броуновские частицы, видимые в микроскоп, бомбардируются меньшими частицами, составляющими воду. Если бомбардируемые частицы достаточно малы, то возникает броуновское движение. Оно возникает потому, что эта бомбардировка неодинакова со всех сторон и не может быть уравновешена в силу своего хаотического и случайного характера. Таким образом, наблюдаемое движение есть результат движения ненаблюдаемого. Поведение больших частиц отражает некоторым образом поведение молекул, составляя, так сказать, увеличение столь большое, что оно становится видимым через микроскоп. Хаотичный и случайный характер пути броуновских частиц отражает хаотичность пути меньших частиц, которые составляют вещество. Из сказанного мы можем заключить, что количественное изучение броуновского движения может дать нам более глубокое проникновение в кинетическую теорию вещества. Ясно, что видимое броуновское движение зависит от величины невидимых бомбардирующих молекул. Броуновского движения не было бы вовсе, если бы бомбардирующие молекулы не обладали определенным количеством энергии или, другими словами, если бы они не имели массы и скорости. Поэтому неудивительно, что изучение броуновского движения может привести к определению массы молекулы.

Благодаря трудолюбивому исследованию, и теоретическому, и экспериментальному, были получены количественные результаты кинетической теории. Идея, возникшая при изучении броуновского движения, была одной из тех, которая привела к количественным данным. Одни и те же данные могут быть получены различными путями, исходя из совершенно различных предположений. Тот факт, что все эти методы являются опорой одного и того же воззрения, очень важен, ибо это показывает внутреннюю последовательность кинетической теории вещества.

Здесь мы напомним лишь один из многих результатов, достигнутых экспериментом и теорией. Предположим, что мы имеем один грамм самого легкого из всех элементов – водо-

рода – и спрашиваем: сколько частиц в этом грамме? Ответ будет характеризовать не только водород, но и все другие газы, так как мы уже знаем, при каких условиях два газа имеют одинаковое число частиц.

Теория позволяет нам ответить на этот вопрос, исходя из известных измерений броуновского движения взвешенных частиц. Ответ представляет собой поразительно большое число: тройка, за которой следует двадцать три других цифры. Число молекул в одном грамме водорода таково:

303 000 000 000 000 000 000 000.

Вообразим, что молекулы грамма водорода так возросли по своей величине, что стали видимыми через микроскоп, а их диаметр достиг одной двухтысячной сантиметра, т. е. таков же, как и диаметр броуновских частиц. Тогда, для того чтобы тесно уложить их друг возле друга, мы должны были бы взять ящик, каждая сторона которого имеет длину около половины километра!

Мы легко можем подсчитать массу одной водородной молекулы, разделив единицу на вышеуказанное число. Ответ дает фантастически малое число:

0, 000 000 000 000 000 000 000 003 3 грамма,

представляющее массу молекулы водорода.

Эксперименты с броуновским движением являются лишь одними из многих независимых экспериментов, приводящих к определению этого числа, играющего чрезвычайно важную роль в физике.

В кинетической теории материи и во всех ее важных достижениях мы видим осуществление общей философской программы: свести объяснение всех явлений к механическому взаимодействию между частицами материи.

Подведем итоги:

В механике будущий путь движущегося тела может быть предсказан, а его прошлое может быть раскрыто, если известны для данного момента условия движения тела и действующие на него силы. Так, например, могут быть предсказаны будущие пути всех планет. Действующие на них силы суть Ньютоновы силы тяготения, зависящие только от расстояния. Огромные результаты классической механики внушают нам мысль, что механистическое воззрение можно последовательно применить ко всем ветвям физики, что все явления можно объяснить действием сил, представляющих собой притяжение или отталкивание, зависящих только от расстояния и действующих между неизменными частицами.

В кинетической теории вещества мы видим, как это воззрение, возникающее из механических проблем, охватывает явления теплоты и как оно приводит к преуспевающей картине строения вещества.

II. Упадок механистического воззрения

Две электрические жидкости. – Магнитные жидкости. – Первая серьезная трудность. – Скорость света. – Свет как субстанция. – Загадка цвета. – Что такое волна? – Волновая теория света. – Продольны или поперечны световые волны? – Эфир и механистическое воззрение.

Две электрические жидкости

Последующие страницы содержат скучный отчет о некоторых очень простых экспериментах. Отчет будет скучным не только потому, что описание экспериментов неинтересно по сравнению с самим осуществлением их, но и потому, что самый смысл экспериментов не очевиден до тех пор, пока его не выяснит теория. Наша цель состоит в том, чтобы показать яркий пример, характеризующий роль теории в физике.

1. Пусть металлический стержень укреплен на стеклянной подставке, а концы стержня связаны с помощью металлических проводников с электроскопом. Что такое электроскоп? Это простой прибор, который в основном состоит из двух листочков золотой фольги, подвешенных на конце короткого металлического стержня. Они заключены в стеклянную банку или бутылку, так что металл находится в контакте только с неметаллическими телами, называемыми изоляторами. Кроме электроскопа и металлического стержня, в нашем распоряжении имеются твердая каучуковая палочка и кусок фланели.

До осуществления эксперимента обратим внимание на то, висят ли листочки сомкнутыми вместе, ибо это их нормальное положение, или нет. Если они случайно не сомкнуты, то прикосновение пальца к металлическому стержню сведет их вместе. После того как эти предварительные мероприятия проделаны, каучуковая палочка энергично натирается фланелью и приводится в соприкосновение с металлом. Листочки сразу же разойдутся друг от друга. Они остаются в таком положении даже после того, как каучуковая палочка будет отодвинута в сторону (рис. 23).

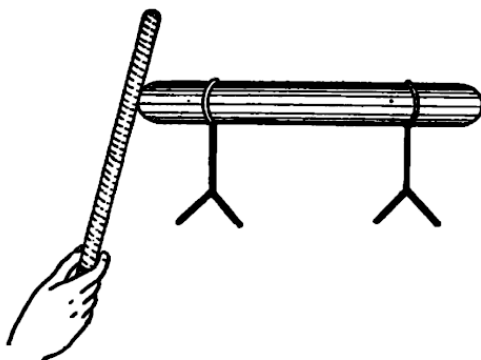


Рис. 23.

2. Прделаем другой эксперимент, используя те же приборы, что и раньше, но предварительно приведя листочки электроскопа в прежнее положение, когда они свободно висят, касаясь друг друга. Сейчас мы не будем касаться каучуковой палочкой металлического стержня, а только поднесем ее близко к металлу. Листочки электроскопа опять разделяются. Но сейчас это разделение оказывается иным. Когда каучуковая палочка удаляется, совсем не коснувшись металла, листочки вместо того, чтобы оставаться разделенными, немедленно спадают, возвращаясь к своему нормальному положению.

3. Для третьего эксперимента слегка изменим приборы. Предположим, что металлический стержень состоит из двух кусков, соединенных вместе. Мы натираем каучуковую палочку фланелью и снова подносим ее близко к металлу. Происходит то же явление – листочки разделяются. Но теперь мы сначала отделим части металлического стержня друг от друга и только после этого удалим каучуковую палочку. Мы замечаем, что в этом случае листочки остаются

разделенными, а не спадают до своего нормального положения, как это было во втором эксперименте (рис. 24).



Рис. 24.

Едва ли эти простые и наивные эксперименты могут возбудить живейший интерес или энтузиазм. В Средние века тот, кто их осуществлял, был бы, вероятно, осужден; нам они кажутся и скучными и нелогичными. Было бы очень трудно, не смущаясь, повторить их после чтения сухого отчета об их выполнении. Некоторые теоретические рассуждения, однако, делают их понятными. Мы могли бы сказать больше: едва ли возможно представить себе такие эксперименты, как осуществление случайной игры воображения, без предварительно существовавших более или менее определенных идей об их значении.

Теперь мы укажем идеи, лежащие в основе очень простой и наивной теории, объясняющей все описанные факты.

Существуют две *электрические жидкости*, одна называется *положительной* (+), а другая – *отрицательной* (—). Они подобны субстанции в уже разъясненном смысле: ее величина может возрастать или убывать, но общая сумма сохраняется в любой изолированной системе. Имеется, однако, существенное отличие между этим случаем и случаем с теплотой, веществом или энергией. Мы имеем две электрические субстанции. Здесь невозможно применение предыдущей аналогии с деньгами, если не сделать некоторого обобщения. Тело электрически нейтрально, если положительная и отрицательная электрические жидкости полностью уничтожают друг друга. Человек ничего не имеет или потому, что у него действительно ничего нет, или потому, что сумма денег, отложенных в его сейфе, в точности равна сумме его долгов. С двумя родами электрических жидкостей мы можем сравнить дебет и кредит в бухгалтерских книгах.

Далее, теория полагает, что обе электрические жидкости одинакового рода отталкивают друг друга, в то время как обе жидкости противоположного рода притягивают. Это можно представить графически следующим образом (рис. 25).

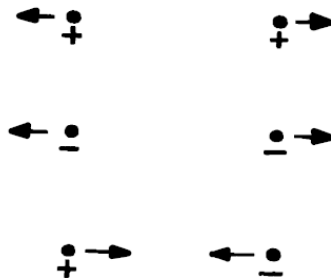


Рис. 25.

Необходимо последнее теоретическое предположение. Имеется два вида тел: тела, в которых жидкости могут двигаться свободно, – так называемые *проводники*, и тела, в которых они не могут двигаться, – так называемые *изоляторы*. Как всегда бывает в таких случаях, это деле-

ние тел на два вида нельзя рассматривать слишком строго. Идеальный проводник, как и идеальный изолятор, – это абстракции, которые никогда не могут быть реализованы. Металлы, земля, человеческое тело – все это примеры проводников, хотя и неодинакового качества. Стекло, резина, фарфор и им подобные тела – это изоляторы. Воздух лишь частично является изолятором, как это знает тот, кто видел описанные эксперименты. Плохие результаты электростатических экспериментов часто объясняются влажностью воздуха, увеличивающей его проводимость.

Эти теоретические положения достаточны для объяснения трех описанных экспериментов. Мы рассмотрим их еще раз в том же порядке, как и раньше, но в свете теории электрических жидкостей.

1. Каучуковая палочка, как и все другие тела при нормальных условиях, электрически нейтральна. Она содержит обе жидкости, положительную и отрицательную, в равных количествах. Трением о фланель мы разделяем их. Это утверждение чисто условно, ибо это есть приложение терминологии, созданной теорией, к описанию процесса трения. Тот вид электричества, который каучуковая палочка имеет в избытке, впоследствии был назван отрицательным, – название, которое, конечно, является лишь делом соглашения. Если бы эксперименты были осуществлены со стеклянной палочкой, натертой кошачьим мехом, мы должны были бы назвать избыток электричества на ней положительным, чтобы не противоречить уже принятым положениям. Но продолжим рассказ. Мы передаем электрическую жидкость металлическому проводнику, касаясь его каучуком. В этом проводнике она движется свободно, распространяясь по всему металлу, включая и золотые листочки. Так как отрицательные жидкости взаимно отталкиваются, то оба листочка стремятся удалиться друг от друга, насколько это возможно, в результате чего и наблюдается их разделение. Металл покоится на стеклянной подставке или каком-либо ином изоляторе, так что электрическая жидкость остается на проводнике, поскольку это допускает слабая проводимость воздуха. Теперь мы понимаем, почему мы должны коснуться металла пальцем в начале эксперимента. В этом случае металл, человеческое тело и земля составляют один большой проводник, по которому электрическая жидкость разливается так, что практически на электроскопе ничего не остается.

2. Второй эксперимент начинается так же, как и первый. Но теперь каучук не касается металла, а лишь подносится к нему. Обе жидкости в проводнике, имея возможность свободно двигаться, разделяются; одна притягивается к палочке, а другая отталкивается. Они вновь смешиваются, когда каучуковый стержень удаляется, так как жидкости противоположного рода притягивают друг друга.

3. Затем в присутствии натертой каучуковой палочки мы разделяем металлический стержень на две части и, наконец, удаляем палочку. В этом случае после удаления каучуковой палочки обе жидкости не смешиваются, так что золотые листочки сохраняют избыток одной электрической жидкости и остаются разделенными.

В свете этой простой теории все упомянутые здесь факты кажутся понятными. Та же теория дает больше, позволяя нам понять не только эти, но и многие другие «факты» в области «электростатики». Цель всякой теории – вести нас к новым фактам, наводить на мысль о новых экспериментах и приводить к открытию новых явлений и новых законов. Пример сделает это ясным. Представим себе изменение во втором эксперименте. Предположим, что я оставляю каучуковую палочку возле металла и в то же время касаюсь металла своим пальцем (рис. 26). Что теперь случится? Теория дает ответ: отталкиваемая палочкой отрицательная (—) жидкость теперь может удалиться через мое тело, так что в результате в металлическом стержне остается только одна жидкость, положительная (+). Листочки электроскопа остаются разделенными. И действительно, эксперимент подтверждает это предсказание.

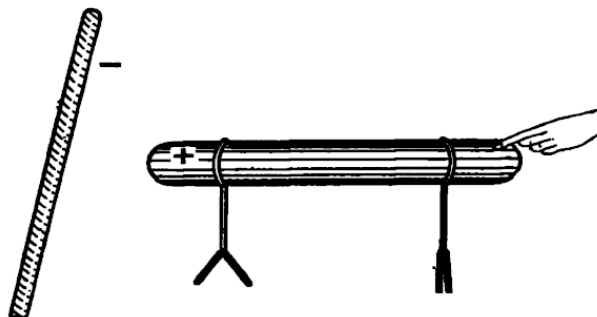


Рис. 26.

Теория, о которой мы сейчас рассказываем, конечно, наивна и не совпадает с точкой зрения современной физики. Тем не менее это хороший пример, показывающий характерные черты всякой физической теории.

В науке нет вечных теорий. Всегда происходит так, что некоторые факты, предсказанные теорией, опровергаются экспериментом. Всякая теория имеет свой период постепенного развития и триумфа, после которого она может испытать быстрый упадок. Подъем и падение субстанциональной теории теплоты, уже обсуждавшиеся здесь, являются одним из многих возможных примеров. Другие примеры, более глубокие и важные, будут обсуждаться позднее. Почти всякий большой успех в науке возникает из кризиса старой теории как результат попытки найти выход из создавшихся трудностей. Мы должны проверять старые идеи, старые теории, хотя они и принадлежат прошлому, ибо это – единственное средство понять значительность новых идей и пределы их справедливости.

На первых страницах нашей книги мы сравнивали роль исследователя с ролью детектива, который, собрав необходимые факты, находит правильное решение посредством чистого мышления. В одном весьма существенном отношении это сравнение следует считать чрезвычайно поверхностным. И в жизни, и в детективных новеллах преступление дано. Детектив должен просмотреть письма, отпечатки пальцев, пули, ружья, но, по крайней мере, он знает, что убийство совершилось. Для ученого дело обстоит не так. Было бы нетрудно представить себе человека, который абсолютно ничего не знает об электричестве; все древние довольно счастливо жили, ничего не зная о нем. Пусть этому человеку будет дан металл, золотой листок, бутылки, каучуковая палочка, фланель, словом, все материалы, необходимые для осуществления трех наших экспериментов. Он может быть очень культурным лицом, но он, вероятно, нальет в бутылки вино, использует фланель для чистки и никогда не проникнется вдруг идеей о том, чтобы проделать те эксперименты, которые мы описали. Для детектива факт преступления дан, и задача формулируется так: кто убил Кука Робина? Ученый должен, по крайней мере отчасти, сам совершить преступление, затем довести до конца исследование. Более того, его задача состоит в том, чтобы объяснить не один только данный случай, а все связанные с ним явления, которые происходили или могут еще произойти.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.