

расширилась; наши отцы, устанавливая ее, трудились не напрасно; общий характер намеченного ими плана мы узнаем в науке нашего времени.

Глава VIII

СОВРЕМЕННЫЙ КРИЗИС МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Новый кризис. Предстоит ли нам теперь вступить в третий период? Должны ли мы ожидать второго кризиса? Будут ли принципы, на которых мы построили все, в свою очередь разрушаться? С некоторого времени мы имеем основание ставить такие вопросы.

Мои слова, несомненно, вызывают у вас мысль о радиі, этом великом революционере нашего времени, и, действительно, я вскоре к нему обращусь; но этого мало: дело идет не только о сохранении энергии; опасности подвергаются и все другие принципы, как это мы сейчас увидим при последовательном обозрении их.

Принцип Карно. Начнем с принципа Карно. Это — единственный принцип, который не следует непосредственно из гипотезы центральных сил; более того, по-видимому, он если и не противоречит прямо этой гипотезе, то по крайней мере может быть согласован с ней лишь путем определенных усилий. Если бы физические явления обуславливались исключительно движениями атомов, взаимные притяжения которых зависели бы только от расстояния, то, кажется, все эти явления должны быть обратимыми; если бы все начальные скорости были заменены прямо противоположными, то атомы, находясь под действием все тех же сил, должны были бы описывать свои траектории в обратном направлении точно так же, как Земля стала бы описывать в обратном направлении ту же самую эллиптическую орбиту, какую она описывает в прямом направлении, если бы начальные условия ее движения были заменены противоположными. В силу этого, если некоторое физическое явление оказывается возможным, то должно быть возможным и обратное ему, и должна существовать возможность обратить вспять течение времени. Однако в природе дело обстоит не так, и этому как раз учит нас принцип Карно: тепло может перейти от теплого

тела к холодному, но невозможно заставить его затем совершить обратный путь и вновь осуществить исчезнувшую разность температур. Движение может быть полностью рассеяно и посредством трения превращено в теплоту; обратное же превращение может быть осуществлено только частично.

Были попытки примирить это кажущееся противоречие. Если Вселенная стремится к единообразию, то это не потому, что ее мельчайшие части, вначале различные, стремятся сделаться все более сходными, но потому что они, перемещаясь случайным образом, в конце концов перемешиваются. Для глаза, который различал бы все элементы, различие все еще оставалось бы столь же большим; каждая крупинка сохраняет свою оригинальность и не будет похожа на своих соседок; но когда они перемешиваются все более тесно, наши грубые чувства воспринимают уже только однообразие. Вот почему, например, температуры стремятся выравняться, и обратный процесс оказывается невозможным.

Пусть капля вина падает в стакан воды; каков бы ни был закон внутреннего движения жидкости, мы вскоре увидим, как она окрашивается в однообразный розоватый цвет. С этого момента, как бы сильно мы ни трясли сосуд, вино и вода уже не смогут разделиться. Вот другой типичный пример необратимого физического явления: нетрудно спрятать ячменное зерно в ворохе ржи, но практически невозможно отыскать и извлечь его оттуда. Все это было разъяснено Максвеллом и Больцманом, но наиболее точно изложил этот вопрос Гиббс в своих «Основных принципах статистической механики» — книге, несколько трудной для чтения и поэтому слишком мало распространенной.

Для тех, кто принял эту точку зрения, принцип Карно есть принцип несовершенный — нечто вроде уступки слабости наших органов чувств: только потому, что глаза наши недостаточно остры, мы не различаем элементов в смесях, лишь оттого, что наши руки слишком грубы, мы не можем эти элементы разделить; демон, придуманный Максвеллом, который мог бы сортировать отдельные молекулы, сумел бы дать Вселенной обратный ход. Не исключено, что это случится само собой; однако вероятность этого

бесконечно мала. Нам, вероятно, долго пришлось бы ждать такого стечения обстоятельств, которое допускало бы обратный ход; но рано или поздно оно осуществится, хотя на это может потребоваться такое число лет, для написания которого понадобились бы миллионы цифр. Однако такие оговорки имеют чисто теоретический характер; они не внушают особого беспокойства, и принцип Карно сохраняет все свое практическое значение. Но вот где картина меняется. Биолог, вооруженный микроскопом, уже давно заметил в своих препаратах беспорядочные движения мелких взвешенных частиц; это так называемое броуновское движение. Вначале он полагал, что это движение есть проявление жизни; но скоро обнаружилось, что неодушевленные тела танцуют с не меньшей энергией, тогда явление перешло в ведение физиков. К сожалению, физики долго не проявляли интереса к этому вопросу, они размышляли так: для освещения микроскопического препарата концентрируют свет; но света без теплоты не бывает; это создает неравенства температуры и внутренние потоки в жидкости; эти потоки и вызывают движения, о которых идет речь.

Гуи решил исследовать вопрос более тщательно; он пришел к выводу, что такое объяснение не подходит; движения становятся тем быстрее, чем мельче частицы, а способ освещения на них не влияет. Итак, если эти движения не прекращаются или, лучше сказать, беспрестанно возобновляются, не получая энергии у какого-либо внешнего источника, то что же нам следует думать? Несомненно, это не дает нам основания отрицать принцип сохранения энергии, но мы видим, как в наших глазах то движение в результате трения превращается в теплоту, то наоборот, теплота превращается в движение, и это происходит без каких-либо потерь, так как движение продолжается все время. Это противоречит принципу Карно. Если так, то нам более не нужен бесконечно изошренный глаз максвеллова демона, чтобы видеть обратный ход мирового механизма: достаточно нашего микроскопа. Тела значительных размеров, например в десятую долю миллиметра, подвергаются со всех сторон ударам движущихся атомов, но сами не приходят в движение, так как эти удары столь многочисленны, что они компенсируют друг друга по закону случайных

явлений; частицы же более мелкие получают слишком мало ударов для того, чтобы компенсация осуществлялась наверняка, и потому они беспрестанно колеблются. И вот один из наших принципов уже находится в опасности.

Принцип относительности. Обратимся к принципу относительности. Его не только подтверждает ежедневный опыт; он не только является необходимым следствием гипотезы центральных сил, он непрерываемым образом навязывается нашему здравому рассудку; однако и в нем пробита брешь. Вообразим два наэлектризованных тела; хотя они кажутся нам покоящимися, однако оба они увлекаются движением Земли. Как доказал Роулэнд, движущийся электрический заряд эквивалентен току; поэтому два таких заряженных тела будут равносильны двум параллельным токам, направленным одинаково; а такие два тока должны притягивать друг друга. Измеряя это притяжение, мы измерим скорость Земли: не скорость ее относительно Солнца или неподвижных звезд, а ее абсолютную скорость.

Я хорошо знаю, что мне на это возразят: здесь, скажут, изменяется не абсолютная скорость Земли, а скорость ее по отношению к эфиру. Как мало удовлетворяет такой довод! Разве не очевидно, что при таком понимании принципа из него уже ничего нельзя извлечь? Он уже не мог бы нас ничему научить с достоверностью, потому что для него не было бы более опасным никакое опровержение. Произведя то или иное измерение, мы всегда могли бы сказать: это де — не абсолютная скорость, и если это — не скорость по отношению к эфиру, то всегда это может быть скоростью относительно какой-то новой неизвестной жидкости, которой мы можем заполнить пространство.

Да и опыт опровергает такое толкование принципа относительности; все попытки измерить скорость Земли относительно эфира дали отрицательный результат. На этот раз экспериментальная физика оказалась более верной принципу, чем физика математическая; теоретики не стали бы им дорожить, чтобы согласовать другие свои общие взгляды, но опыт настойчиво его подтверждает. Применялись различные приемы, наконец Майкельсон довел точность до

последних пределов, все же ничего не было обнаружено. И вот, чтобы объяснить эти упрямые факты, математики вынуждены теперь изошрять все свое остроумие.

Их задача была нелегкой. Если Лоренц преодолел затруднения, то только путем нагромождения гипотез.

Наибольшим остроумием отличалась идея местного времени. Вообразим двух наблюдателей, которые желают выверить свои часы при помощи световых сигналов; они обмениваются сигналами, но, зная, что свет распространяется не мгновенно, дают их, так сказать, перекрестным способом. Когда наблюдатель в пункте B принимает сигнал из пункта A , его часы должны показывать не то время, которое показывали часы в пункте A в момент отправления сигнала, а время, увеличенное на некоторую постоянную, представляющую собой длительность передачи. Пусть, например, из пункта A посылается сигнал, когда часы в нем показывают время 0 , а в пункте B сигнал принимается, когда часы в нем показывают время t . Часы выверены, если запаздывание, равное t , представляет собой длительность передачи сигнала; чтобы это проверить, из пункта B посылается сигнал, когда часы в нем показывают время 0 ; в пункте A должны получить его, когда часы в нем показывают время t . Тогда показания часов согласованы. И действительно, они показывают одно и то же время в одно и то же физическое мгновение, но при условии, что оба пункта были неподвижны. В противном случае длительность передачи не будет одинакова в обоих направлениях: в случае, когда, например, пункт A движется навстречу оптическому возмущению, исходящему из B , и тогда, когда пункт B удаляется от возмущения, исходящего из A . Выверенные таким способом часы не будут показывать истинное время, они будут показывать так называемое местное время: одни часы будут отставать от других. Но это несущественно, поскольку у нас нет никакого средства заметить это. Все явления, происходящие, например, в A , будут запаздывать, но запаздывать одинаково, и наблюдатель не заметит этого, потому что его часы отстают; таким образом, как это следует из принципа относительности, у него не будет никакого средства узнать,

находится ли он в покое или в абсолютном движении.

Этого, к сожалению, недостаточно, необходимы дополнительные гипотезы; надо допустить, что движущиеся тела испытывают однородное сокращение в направлении движения: например, один из диаметров Земли укорачивается на одну двухсотмиллионную долю вследствие движения нашей планеты, тогда как другой диаметр сохраняет свою нормальную длину. Этим предположением компенсируются последние малые различия. Но затем нужна еще гипотеза о силах. В мире, движущемся равномерно-поступательно, силы, независимо от их происхождения, будут ли это силы тяготения или упругости, должны в определенной пропорции уменьшаться. Точнее, должны уменьшаться их компоненты, перпендикулярные к направлению движения; параллельные же компоненты не изменяются. Теперь вернемся к нашему примеру двух наэлектризованных тел; эти тела отталкивают друг друга, но в то же время, если вся система находится в равномерно-поступательном движении, они эквивалентны двум параллельным токам одного направления, которые притягиваются.

Таким образом, это электродинамическое притяжение уменьшает электростатическое отталкивание, и результирующее отталкивание оказывается слабее, чем если бы оба тела были в покое. Но так как для измерения этого отталкивания мы должны уравновесить его другой силой и так как все другие силы испытывают уменьшение в одной и той же пропорции, то мы не замечаем ничего. Тем самым все, кажется, приведено в порядок, но все ли сомнения уже устранены? Что произошло бы, если бы можно было сообщаться путем сигналов иной природы, чем световые, скорость распространения которых отличалась бы от скорости света? Если бы, выверив часы оптическим способом, мы захотели бы сверить наши часы при помощи этих новых сигналов, мы обнаружили бы расхождения, с очевидностью говорящие о совместном поступательном движении обоих пунктов. А разве нельзя себе представить подобные сигналы, если вместе с Лапласом мы примем, что всемирное тяготение распространяется в миллион раз быстрее света.

Итак, в последнее время принцип относительности был мужественно защищен. Но уже та энергия, какая потребовалась для этой защиты, показывает, сколь серьезна была атака.

Принцип Ньютона. Теперь поговорим о принципе Ньютона, о равенстве действия и противодействия. Этот принцип тесно связан с предыдущим, и, по-видимому, падение одного повлекло бы за собой падение другого. Поэтому мы не должны удивляться, встречая здесь те же трудности.

Я уже раньше указал, что новые теории не склонны дорожить этим принципом.

По теории Лоренца электрические явления обусловлены смещением мелких заряженных частиц, так называемых электронов, погруженных в среду, которую мы называем эфиром. Движения этих электронов производят возмущения в окружающем эфире; эти возмущения распространяются во все стороны со скоростью света, и другие электроны, первоначально бывшие в покое, в свою очередь приходят в колебания, когда возмущение достигает частей эфира, соприкасающихся с ними. Таким образом, электроны взаимодействуют между собой, но это взаимодействие не прямое, оно совершается через посредство эфира. Может ли при таких условиях осуществляться равенство действия противодействию, по крайней мере для наблюдателя, учитывающего только движения материи, т. е. электронов, и не принимающего в расчет движений невидимого для него эфира? Очевидно, нет. Даже если бы эта компенсация была точной, она не могла бы осуществляться одновременно. Возмущение распространяется с конечной скоростью; поэтому оно достигает второго электрона лишь тогда, когда первый уже давно вернулся в состояние покоя. Таким образом, второй электрон подвергнется воздействию первого с некоторым запозданием, но, конечно, в этот момент он не окажет на него никакого противодействия, поскольку вокруг первого электрона ничто уже не движется.

Анализ фактов позволит нам сделать изложение еще более точным. Вообразим излучатель Герца, подобный тем, которые употребляются в беспроволочной телеграфии. Он излучает энергию во все стороны, но мы можем снабдить его параболическим зерка-

лом, как это делал Герц со своими небольшими излучателями, и направить всю производимую энергию в каком-то одном направлении. Что должно произойти тогда согласно теории? Аппарат должен испытать отдачу, как если бы он был пушкой, а испущенная им энергия была бы снарядом; но это противоречит принципу Ньютона, потому что здесь снаряд не имеет массы, он является не веществом¹⁾, а энергией. То же самое имеет место и в прожекторе, снабженном рефлектором, поскольку свет есть не что иное, как возмущение электромагнитного поля. Такой прожектор должен испытывать отдачу, как если бы выпускаемый свет был снарядом. Какая сила вызывает эту отдачу? Это то, что называют давлением Масквелла — Бартольди, оно очень мало, и его трудно обнаружить даже при помощи самых чувствительных радиометров; но важно то, что оно существует.

Если вся энергия, вышедшая из нашего излучателя, попадает в приемник, то последний испытывает как бы механический толчок, который в некотором смысле представляет собой компенсацию отдачи, испытанной излучателем; противодействие будет равно действию, но оно не будет с ним одновременно; приемник оттолкнется, но не в тот момент, когда излучатель испытает отдачу. Если же энергия распространяется беспредельно, не встречая приемника, то компенсация не произойдет никогда.

Но, быть может, можно сказать, что пространство между излучателем и приемником, в котором возмущение распространяется от первого ко второму, не является пустым, а что оно наполнено не только эфиром, а и воздухом или (в междупланетных пространствах) некоторым весьма тонким, но все же весомым флюидом; что это вещество, как и приемник, испытывает толчок в момент падения на него энергии, а также отдачу, когда возмущение оставляет его? Это спасло бы принцип Ньютона, но это неверно; если бы энергия в процессе распространения всегда была связана с некоторым вещественным субстратом, то движущееся вещество увлекало бы свет. Однако Физо показал, что это не так, по крайней мере для воздуха. Впоследствии это подтвердили Майкельсон и

¹⁾ В оригинале: ce n'est pas de la matière. — *Примеч. ред.*

Морли. Можно также предположить, что движения вещества в собственном смысле точно компенсируются движениями эфира, но это привело бы нас к тем соображениям, какие только что рассмотрены. Принцип, понимаемый таким образом, будет в состоянии объяснить все, ибо каковы бы ни были видимые движения, всегда можно придумать гипотетические движения, их компенсирующие. Но если он и может все объяснить, то он не позволяет нам ничего предвидеть, он не позволяет нам выбирать между различными возможными гипотезами, поскольку он все объясняет заранее. Стало быть, он становится бесполезным.

Кроме того, предположения, которые пришлось бы сделать о движениях эфира, не очень удовлетворительны. Так, естественно было бы предположить, что если электрические заряды удваиваются, то скорости различных атомов эфира также удваиваются; но для компенсации необходимо, чтобы средняя скорость эфира учетверилась.

Вот почему я долгое время считал, что эти теоретические выводы, противоречащие принципу Ньютона, в конце концов будут отвергнуты. Однако новейшие опыты, в которых исследовалось движение электронов, испускаемых радиом, скорее их подтверждают.

Принцип Лавуазье. Перехожу к принципу Лавуазье, касающемуся сохранения масс. Конечно, это — принцип такого рода, что его нельзя затронуть без того, чтобы не поколебать механику. И тем не менее теперь некоторые думают, что он кажется нам верным только потому, что в механике рассматриваются не слишком большие скорости, но что он перестал бы быть верным для тел, обладающих скоростями, сравнимыми со скоростью света. Но в настоящее время такие скорости считаются осуществленными: катодные лучи и лучи радия состоят из весьма малых частиц или из электронов, летящих со скоростью, которая, без сомнения, меньше скорости света, но все же составляет от одной десятой до одной трети ее.

Эти лучи отклоняются как в электрическом, так и в магнитном поле; сравнивая то и другое отклонение, можно одновременно измерить скорость электронов и их массу (или, вернее, отношение их массы к их заряду). Но оказалось, что когда эти скорости при-

ближаются к скорости света, необходимо вносить поправки. Эти частицы, будучи заряжены, не могут перемещаться, не приводя в колебание эфир; чтобы привести их в движение, необходимо преодолеть инерцию двоякого рода — инерцию самой частицы и инерцию эфира. Поэтому полная или наблюдаемая масса, которую именно и измеряют, состоит из двух частей: из действительной или механической, массы частицы и из электродинамической массы, выражающей инерцию эфира.

Вычисления Абрагама и опыты Кауфмана показали, что механическая масса в собственном смысле равна нулю и что масса электронов — по крайней мере отрицательных электронов — имеет исключительно электродинамическое происхождение. Это вынуждает нас изменить определение массы: мы не можем уже проводить различие между массой механической и массой электродинамической, так как тогда первая исчезает. Нет иной массы, кроме массы, связанной с электродинамической инерцией. Но в таком случае масса уже не может быть постоянной, она увеличивается со скоростью; мало того, она зависит от направления, так что тело, имеющее значительную скорость, оказывает разное сопротивление силам, стремящимся отклонить его с его пути, и силам, ускоряющим или замедляющим его движение.

Есть еще один выход: последними элементами тел являются электроны, одни из них заряжены отрицательно, другие — положительно.

Отрицательные электроны не имеют массы — это установлено; но электроны положительные, согласно тому немногому, что о них известно, гораздо более крупны. Быть может, они, кроме их электродинамической массы, имеют также настоящую механическую массу. В таком случае истинная масса тела была бы суммой механических масс его положительных электронов: отрицательные электроны не принимаются в расчет. Определенная таким образом масса еще могла бы быть постоянной.

Увы! И этот выход ускользает от нас. Вспомним то, что было сказано по поводу принципа относительности и усилий, предпринятых для его спасения. И дело не только в том, чтобы спасти принцип, но и в несомненных результатах опытов Майкельсона. Как

мы видели, Лоренцу пришлось для истолкования этих результатов предположить, что в среде, движущейся равномерно-поступательно, все силы независимо от их происхождения уменьшаются в одной и той же пропорции; мало того, такое уменьшение должно иметь место не только для реальных сил, но и для сил инерции. Таким образом, говорит Лоренц, необходимо, чтобы *массы всех частиц при поступательном движении испытывали такое же изменение, какое испытывают электромагнитные массы электронов.*

Итак, механические массы должны изменяться по тем же законам, что и массы электродинамические: следовательно, они не могут быть постоянными.

Легко понять, что падение принципа Лавуазье повлекло бы за собой падение принципа Ньютона. Этот последний между прочим означает, что центр тяжести изолированной системы движется прямолинейно; но если не существует постоянной массы, то нет и центра тяжести, и мы больше не можем сказать, что это такое. Вот почему выше я сказал, что опыты с катодными лучами, по-видимому, подтверждают сомнения Лоренца, относящиеся к принципу Ньютона.

Если бы все эти результаты получили подтверждение, то из них возникла бы совершенно новая механика, для которой было бы особенно характерно то положение, что не может существовать скорость, *большая, чем скорость света*¹⁾, подобно тому как невозможно получить температуру ниже абсолютного нуля. С точки зрения наблюдателя, увлекаемого поступательным движением, о котором он не подозревает, никакая кажущаяся скорость точно так же не могла бы превзойти скорость света; здесь можно было бы усмотреть противоречие, если бы мы не вспомнили, что этот наблюдатель пользуется не теми же часами, какими пользуется неподвижный наблюдатель, а часами, показывающими «местное время».

Здесь мы встречаемся с вопросом, относительно которого я ограничусь только его постановкой. Если масса больше не существует, то во что обращается закон Ньютона?

¹⁾ Потому, что тела противопоставляли бы возрастающую инерцию причинам, которые стремятся ускорить их движение, и эта инерция становилась бы бесконечной при приближении скорости тел к скорости света.

Масса имеет два аспекта: во-первых, это — коэффициент инерции; во-вторых, это — тяготеющая масса, входящая в качестве множителя в формулу ньютоновского тяготения. Если коэффициент инерции не является постоянным, может ли быть постоянной притягивающая масса? Вот вопрос, встающий перед нами.

Принцип Майера. У нас еще оставался по крайней мере принцип сохранения энергии. Уж он-то казался наиболее прочным. Надо ли напоминать, что и он в свою очередь подвергся сомнению? Это событие наделало больше шума, чем все предыдущие, что отмечено во всех статьях. После первых работ Беккереля, а в особенности после того, как супруги Кюри открыли радий, обнаружилось, что любое радиоактивное тело является неисчерпаемым источником излучений. Представлялось, что его активность сохраняется без изменения на протяжении месяцев и лет. Это уже было ударом для принципов: эти излучения представляли собой энергию, которая непрерывно выделялась из одной и той же крупницы радия. Но эти количества энергии были слишком малы, чтобы их можно было измерить; так по крайней мере думали и поэтому не очень беспокоились.

Положение изменилось после того, как Кюри догадались поместить радий в калориметр: тогда оказалось, что количество непрерывно выделяемой теплоты весьма значительно.

Было предложено много объяснений. Но нельзя сказать, чтобы в подобных случаях излишек не приносил вреда. Пока одно из объяснений не возьмет верх над другими, мы не можем быть уверены в том, что среди них есть хотя бы одно пригодное. Однако с некоторого времени одно из этих объяснений, по видимому, берет верх, и можно надеяться, что ключ от тайны находится в наших руках.

Сэр У. Рамсей сделал попытку показать, что радий подвергается превращению, что он обладает хотя и огромным, но исчерпываемым запасом энергии. В таком случае при превращении радия производится в миллион раз больше теплоты, чем при всех других известных превращениях. Радий должен истощиться за время в 1250 лет; итак, по крайней мере через несколько сот лет, дело наверное выяснится. Пока мы этого ждем, наши сомнения остаются в силе.