

Изменения структуры мышления в развитии науки⁶⁸

Ниже речь пойдет об изменениях структуры мышления в ходе развития естественных наук. Должен признаться, поначалу я предполагал дать довольно агрессивное название избранной теме. Я собирался говорить о том, «как делаются революции». Но я побоялся, что вы будете ожидать слишком много от моего доклада, побоялся того, что на него могут явиться не те слушатели. Поэтому я и остановился на более осторожной формулировке: «Изменения структуры мышления». И все же нельзя не признать, что именно в последние 100 лет в науке — по меньшей мере в нашей науке, физике, — произошли столь радикальные изменения в структуре мышления, что мы вполне можем говорить здесь о революции, даже о нескольких революциях, и в этом смысле применительно к «изменениям структуры мышления» я и буду использовать здесь слово «революция».

Мне следовало бы, пожалуй, сначала описать историю тех изменений в структуре мышления, которые произошли со времен ньютоновской физики. Ньютоновскую физику разумно принять в качестве отправной точки потому, что метод современной естественной науки — эксперимент в соединении с точным описанием явлений и их взаимосвязей — формировался и развивался вместе с ней. В то время интересовались движением тел под действием сил. В результате больших успехов ньютоновского естествознания и вследствие того, что его утверждения часто — хотя и не всегда — обладали наглядной очевидностью, возникло представление, что такой способ образования понятий позволит в конечном счете объяснить все природные явления. Важнейшими понятиями были время, пространство, тело, масса, место, скорость, ускорение, сила. Силой считалось действие одного тела на другое.

Ньютоновскую механику можно было какое-то время существенно расширять, сохраняя эту систему понятий. Гидродинамику, например, можно было вывести из нью-

тоновской механики, лишь несколько расширив понятие тела. Вода, естественно, не твердое тело. Однако единичные элементы объема жидкости можно было считать телами в смысле ньютоновской физики и таким путем достичь математического и вместе с тем подтверждаемого опытом описания кинематики и динамики жидкостей. Возникла привычка к такому мышлению, которое постоянно задавалось вопросом о движениях тел или мельчайших частей материи под действием сил.

Только в XIX веке натолкнулись на границы такого типа мышления и постановки вопросов. Трудности — весьма разные по характеру — возникли в двух различных сферах. В учении об электричестве обнаружило свою недостаточность понятие силы, с какой одно тело действует на другое. Фарадей первым указал на то, что мы лучше поймем электрические явления, если будем считать силу функцией пространства и времени, уподобляя ее распределению скоростей или напряжений в жидкости или упругом теле, — другими словами, если перейдем к понятию поля сил. С точки зрения ньютоновской физики такой переход можно было допустить, только приняв, что в пространстве существует однородная субстанция, эфир, поле напряжений или искривлений которого можно было бы отождествить с силовым полем электродинамики. Без такого гипотетического эфира нельзя было интерпретировать электродинамику в мире ньютоновских понятий. Лишь через несколько десятилетий заметили, что в этом гипотетическом эфире, по сути дела, вовсе не было нужды, что он не может обнаружиться ни в каких явлениях и было бы поэтому вернее приписать силовому полю собственную, независимую от каких бы то ни было тел реальность. Однако введение подобной физической реальности окончательно взрывало рамки ньютоновской физики. Приходилось ставить вопросы, отличные от тех, какие умела задавать прежняя физика. Предельно обобщая, можно, пожалуй, сказать, что изменение структуры мышления впешне проявляется в том, что слова приобретают иное значение, чем они имели раньше, и задаются иные, чем прежде, вопросы.

Другой областью, где обнаруживалась недостаточность старого ньютоновского способа образования понятий, было учение о теплоте, хотя трудности здесь были гораздо более тонкими, чем в учении об электричестве, и замечались не так легко. Поначалу все казалось достаточно простым. Можно было дать статистическое описание движе-

ния большого числа молекул и тем самым объяснить закономерности феноменологического учения о теплоте. И только когда понадобилось перейти к обоснованию входящей в эту статистику гипотезы неупорядоченности, заметили, что приходится выходить за рамки ньютоновской физики. Первым, кто увидел это со всей отчетливостью, был, наверное, Гиббс. Прошло, однако, несколько десятилетий, прежде чем гиббсовская трактовка учения о теплоте получила хоть какое-то признание, а многим она, вероятно, и поныне кажется странной и непонятной. Во всяком случае, понимание ее требует изменения структуры мышления, потому что здесь появляется отсутствующее в ньютоновской физике понятие условий наблюдения, а также потому, что здесь — часто не осознавая этого — ставят иного рода вопросы.

Но только в XX веке теория относительности и квантовая механика заставили произвести по-настоящему радикальные изменения в основах физического мышления. В теории относительности выяснилось, что понятие времени ньютоновской механики неприменимо, если речь идет о явлениях, где играют роль движения с очень большими скоростями. Поскольку независимость пространства и времени входила в число фундаментальных предпосылок и прежнего мышления, эту структуру мышления приходилось изменить, чтобы признать требуемую теорией относительности связь пространства и времени. Понятие абсолютной одновременности, казавшееся в ньютоновской механике очевидным, нужно было отбросить и заменить другим понятием, учитывающим зависимость от состояния движения наблюдателя. Здесь корень того, почему теория относительности не раз подвергалась критическим нападкам и ожесточенно отвергалась некоторыми физиками и философами. Они чувствовали себя просто не в состоянии пойти на требующееся здесь изменение структуры мышления. Несмотря на это, такая перестройка является условием понимания сегодняшней физики.

Наконец, квантовая механика выдвинула еще более серьезные требования. Пришлось вообще отказаться от объективного — в ньютоновском смысле — описания природы, когда основным характеристикам системы, таким, как место, скорость, энергия, приписываются определенные значения, и предпочтеть ему описание ситуаций наблюдения, для которых могут быть определены только вероятности тех или иных результатов. Самые слова, применявшиеся при описании явлений атомарного уровня,

оказывались, таким образом, проблематичными. Можно было говорить о волнах или частицах, помня одновременно, что речь при этом идет вовсе не о дуалистическом, но о вполне едином описании явлений. Смысл старых слов в какой-то мере утратил четкость. Известно, что даже столь выдающиеся физики, как Эйнштейн, фон Лауэ, Шрёдингер, оказались не готовыми к этому или не способными изменить структуру своего мышления.

В общем, оглядываясь назад, можно констатировать, что в текущем столетии произошли две великие революции в нашей науке, сдвинувшие самые основания физики и изменившие в результате все здание этой науки. Зададим теперь вопрос, как произошли столь радикальные изменения или — выражаясь более социологически, но вместе с тем и искажая саму суть дела — как небольшой по видимости группе физиков удалось заставить других физиков изменить структуру науки и мышления. Нечего и говорить, что эти физики поначалу оборонялись, да иначе и не могло быть. Именно здесь я должен предупредить одно напрашивающееся возражение, оправданное тем не менее лишь отчасти. Можно было бы сказать, что сравнение революции в науке с революцией в обществе совершенно ложно, потому что в науке речь в конечном счете идет о правильном или ложном, тогда как в обществе — о желаемом или менее желаемом. Возможно, это возражение в какой-то мере справедливо. Следует тем не менее заметить, что по отношению к обществу место понятий «правильное» и «ложное» могли бы занять понятия «возможное» и «невозможное», ибо при данных внешних условиях возможна вовсе не любая форма общественной жизни. Историческая возможность представляет собой такой же объективный критерий правильности, как и эксперимент в науке. Как бы там ни было, нам необходимо ответить на вопрос, как же произошли эти революции.

Пожалуй, мне следует начать с истории квантовой теории, поскольку я знаю ее лучше всего. После того как в последней трети прошлого столетия пришли к убеждению, что как в статистическом учении о теплоте, так и в области электромагнитного излучения все стало понятным, естественно было заключить, что теперь, наверное, удастся вывести также и закон излучения так называемого черного тела. Но здесь выявились неожиданные трудности, пробудившие чувство неуверенности. Прямое применение уже доказавших свою надежность законов статистической термодинамики к теории излучения приводило

к абсурдному результату, который никоим образом не мог быть верным. Из-за этого, разумеется, ни один физик или группа физиков не стали бы бить тревогу и призывать к ниспровержению физики. Об этом не было и речи. Хорошие физики знали, что здание классической физики построено так прочно и столь надежно укреплено тысячами связанных друг с другом экспериментов, что его насильственное изменение могло привести только к противоречиям. Потому и сделали самое разумное, что только можно сделать в подобных случаях: стали выжидать, не появятся ли в процессе дальнейшего развития новые точки зрения, способные привести к разрешению этих трудностей в рамках классической физики. Среди тех, кто занимался этими проблемами, был тогда один физик явно консервативного умонастроения, который не довольствовался одним только выжиданием. Он верил, что путем более тщательного и основательного анализа проблемы, может быть, удастся прийти к этим новым точкам зрения. Это был Макс Планк. Планк также и в мыслях не стремился опровергнуть классическую физику, он хотел только добиться ясности в этой явно не решенной еще проблеме излучения «черного тела». В итоге он, к своему ужасу, обнаружил, что для объяснения такого излучения вынужден выдвинуть гипотезу, не вмещающуюся в рамки классической физики и с точки зрения старой физики казавшуюся, собственно говоря, совершенно безумной. Позднее он попытался смягчить свою квантовую гипотезу, чтобы противоречие с классической физикой стало не столь шокирующим. Но попытки эти были безуспешны.

И лишь затем был сделан следующий шаг,озвестивший начало настоящей революции. Эйнштейн установил, что особенности квантовой теории Планка, противоречащие классической физике, проявляются и в других феноменах, например в удельной теплоемкости твердых тел или в излучении света. Отсюда квантовая теория распространилась на структуру атома, на химию, на теорию твердых тел — повсюду приходили к убеждению, что квантовая гипотеза описывает, по всей видимости, существенную, прежде упусканную из виду особенность природы. Начали мириться с тем, что внутренние противоречия, неизбежные по меньшей мере на первых порах, делают настоящее понимание физики невозможным.

Дальнейшее вам известно. Лишь позже, к середине 20-х годов, стало ясно, сколь радикальной перестройке должно подвергнуться все здание физики, и в особенностях

его фундамент. И только к тому времени со всей силой обнаружилось упорное сопротивление уже оформленшейся теории. До тех пор квантовую теорию вовсе не обязательно было принимать всерьез. Она была полна внутренних противоречий, что, несомненно, не позволяло считать ее окончательно установленной. Однако со второй половины 20-х годов она обрела законченную и свободную от противоречий форму. Всякий желавший ее понять должен был изменить структуру своего мышления по меньшей мере в сфере физики; он должен был ставить другие вопросы и использовать иные, чем прежде, наглядные образы. Вы знаете, что для многих физиков это оказалось крайне затруднительным. Даже Эйнштейн, фон Лауэ, Планк, Шрёдингер не могли признать окончательность нового послереволюционного состояния. Но я еще раз подчеркиваю, что за всю историю квантовой механики никогда не было такого физика или такой группы физиков, которые стремились бы к ниспровержению физики.

Сравним, однако, развитие квантовой теории с другими, более ранними революциями в истории физики. Спросим, например, как возникла теория относительности. Отправной точкой здесь была электродинамика движущихся тел. Поскольку герцевские волны считались колебаниями гипотетической среды, эфира, поскольку, иными словами, их следовало рассматривать в системе ньютоновских понятий, неизбежно возникал вопрос, что произойдет в эксперименте с телами, движущимися относительно эфира. Было выдвинуто необозримое количество проектов, уже в силу одной только сложности казавшихся ложными. Разумеется, очень заманчиво поразмышлять здесь о том, когда предложенная формула заранее кажется ложной, а когда нет, но я воздержусь от этого. Напомню лучше, что понятие «движение относительного эфира» уже в то время казалось многим физикам подозрительным, потому что ни разу еще не удавалось наблюдать эфир. Физики чувствовали себя заблудившимися в чаще леса и были поэтому рады, когда знаменитые майкельсоновские эксперименты позволили исследовать движение Земли относительно эфира. Результатом, как известно, было то, что и тут никакого эфира не обнаружилось. Как следствие среди физиков распространился общий скептицизм по отношению к понятию эфира и всех связанных с ним расчетов. Однако и после этого не появилось такой группы физиков, которая била бы тревогу и возвещала крушение физики. Напротив, решение старались найти в

рамках существовавшей физики, внося в нее наивозмож-
но малые изменения. Поэтому Лоренц предложил ввести
для движущихся систем отсчета кажущееся время, свя-
занное с временем, измеренным в покоящейся системе
отсчета с помощью знаменитых преобразований Лоренца,
и допустить, что это кажущееся время определяет раз-
ность хода световых лучей. И только после этого Эйн-
штейн заметил, что картина бесконечно упрощается, если
в преобразовании Лоренца отождествить кажущееся вре-
мя с действительным. Но тем самым Лоренцовы преобра-
зовования приобретали характер высказывания о структу-
ре пространства и времени, и если это высказывание счи-
тать правильным, слова «пространство» и «время» означа-
ли уже нечто иное, чем в ньютоновской физике. Понятие
одновременности было релятивизировано, и структура
нашего физического мышления, в основания которого
непременно входят понятия «пространство» и «время»,
изменилась. Эта революция также натолкнулась впослед-
ствии на сильное сопротивление, вызвавшее бесчисленные
дискуссии о теории относительности. Но сейчас мне важ-
но лишь подчеркнуть, что и эта революция в физике
произошла отнюдь не потому, что некто вознамерился
разрушить или радикально перестроить здание классиче-
ской физики.

Сделаем еще шаг назад в этой истории и вернемся к
максвелловской теории и статистическому учению о теп-
лоте. Сегодня нам трудно осознать, что речь уже и тогда
шла о глубинных изменениях в структуре физического
мышления. Но в наши дни вряд ли можно говорить об
этих изменениях независимо от позднейших изменений в
теории относительности и квантовой теории. Введенное
Фарадеем и Максвеллом понятие поля было, так сказать,
первым шагом к тому, чтобы, отбросив впоследствии пред-
ставление об эфире, понять поле как самостоятельную
физическую реальность; а в той форме, которую учение
о теплоте приняло у Гиббса, было уже предвосхищено по-
нятие условий наблюдения, сыгравшее столь важную
роль в квантовой теории. Помимо всего прочего, пожалуй,
самым ярким свидетельством того, что речь здесь шла о
существенных изменениях в структуре физического мыш-
ления, может служить опять-таки то сопротивление, на
которое длительное время наталкивались эти теории.
Впрочем, мы коснемся этой стороны проблемы позже.
В обоих этих случаях также справедливо то, что было
сказано ранее по поводу теории относительности и кван-

товой теории: ни один физик ни на каком этапе развития не думал о крушении существующей физики. Напротив, долгое время сохранялась надежда на то, что новые феномены удастся понять в рамках ньютоновской физики, и только потом обнаружилось, что сдвиг произошел в самих основах физики.

А теперь несколько слов о том упорном сопротивлении, с которым сталкивалось всякое изменение в структуре мышления. Работающий в науке человек знакомится на протяжении своей жизни с новыми явлениями или с новыми интерпретациями явлений, а может быть, даже и сам находит их. К этому привыкаешь, и ученый всегда готов наполнить свою мысль новым содержанием. Для него, стало быть, вовсе не характерно консервативное — в обычном смысле слова — стремление держаться только издавна привычных образцов. Поэтому прогресс в науке обходится, как правило, без сопротивления и пререканий. Дело, однако, оборачивается иначе, когда новая группа явлений заставляет произвести изменения в структуре мышления. Здесь даже наиболее выдающиеся физики испытывают величайшие затруднения, ибо требование изменить структуру мышления вызывает такое ощущение, будто почва уходит из-под ног. Ученый, которому усвоенная с юности структура мышления позволяла затем на протяжении ряда лет добиваться в своей науке немалых успехов, просто не может перестроить свое мышление на основании нескольких новых экспериментов. Изменение сознания, открывающее путь к новому образу мышления, может произойти в лучшем случае после многолетнего продумывания новой ситуации. Мне представляется, что серьезность возникающих здесь трудностей невозможно переоценить. Напротив, когда опустишь всю глубину отчаяния, с которым умные и доброжелательные люди науки реагируют на требование изменить структуру мышления, приходится, собственно, только удивляться тому, что революции в науке вообще оказались возможны.

Но как же в таком случае они произошли? Тут направляется ближайший, но, по всей видимости, еще неудовлетворительный ответ: они произошли потому, что в науке существует «правильное» и «ложное», и новые представления оказались правильными, а старые — ложными. Говоря так, мы подразумеваем, что в науке всегда торжествует правильное. Однако это вовсе не так. Например, выдвинутое Аристархом правильное представление о гелиоцентрическом строении планетной системы было

отвергнуто в пользу геоцентрической модели Птолемея, хотя она и была ложной. Разумеется, еще неудачнее было бы другое объяснение успеха революций: они одерживают победу, поскольку физики охотно признают авторитет сильной революционной личности, например Эйнштейна. Об этом, конечно же, не может быть и речи, поскольку внутреннее сопротивление изменению структуры мышления слишком сильно, чтобы его мог одолеть авторитет одиночки. Пожалуй, правильное объяснение таково: научные деятели понимают, что новая структура мышления позволяет добиться в науке большего, чем старая, то есть новое оказывается более плодотворным. Ибо тот, кто однажды решил стать ученым, прежде всего стремится двигаться вперед, он хочет участвовать в открытии новых путей. Он не довольствуется повторением старого, не раз уже сказанного. Вот почему он интересуется такими проблемами, где ему, так сказать, «есть, чем заняться», где перед ним открывается перспектива успешной деятельности. Именно поэтому одержали победу теория относительности и квантовая теория. Конечно, место высшей инстанции занимает тем самым критерий pragматической ценности, и поэтому нельзя быть абсолютно уверенным в том, что всегда одерживает верх правильное. Знаменитым контрпримером служит опять-таки птолемеевская астрономия. Но по крайней мере здесь действуют силы, способные одолеть внутреннее сопротивление изменению структуры мышления.

От конечной стадии революции в науке обратимся теперь еще раз к ее начальной стадии. Приведенные мною примеры, думается, убеждают в том, что в истории никогда не существовало стремления радикально перестроить здание физики. Наоборот, все всегда начинается с весьма специальной, узко ограниченной проблемы, не находящей решения в традиционных рамках. Революцию делают ученые, которые пытаются действительно решить эту специальную проблему, но при этом еще и стремятся вносить как можно меньше изменений в прежнюю науку. Как раз желание изменять как можно меньше и делает очевидным, что к введению нового нас вынуждает предмет, что сами явления, сама природа, а не какие-либо человеческие авторитеты заставляют нас изменить структуру мышления.

Позволительно ли переносить подобный анализ и на другие революции, например в искусстве или обществе? То есть, в заключение я хочу вернуться к вопросу, постав-

ленному мною вначале: «Как делаются революции?» На время, так сказать, в порядке опыта, не вступая в дискуссию с историками, попробую допустить, что один ответ имеет силу одновременно во всех областях. В таком случае ответ будет таков: революции делаются, когда мы стремимся изменить как можно *меньше*. А именно, убедившись, что мы имеем дело с проблемой, неразрешимой в традиционных рамках, мы должны, по-видимому, сосредоточить все силы на решении только этой одной проблемы, не думая пока об изменениях в других областях. Тогда-то — по меньшей мере в науке — и возникает наивысшая вероятность того, что отсюда может развиться настоящая революция, если только вообще имеется необходимость в новом фундаменте. Но это мы как раз и предположили, а без такой необходимости, вне всякого сомнения, не произойдет ничего, что было бы сравнимо с революцией. Я бы охотно предоставил присутствующим здесь историкам поразмышлять о том, годится ли данный мною ответ также и для истории. Все же в качестве примера, подтверждающего подобное мнение, можно привести, скажем, лютеровскую реформацию. Лютер и его приверженцы видели, что тогдашняя церковь нуждалась в реформе, но до поры до времени это не влекло за собой никаких особых последствий. Лютер, однако, сознавал, что продажа индульгенций представляет собой издевательство над религиозными убеждениями людей, и считал абсолютно необходимым исправить положение. В намерение Лютера никогда не входило изменить религию или же расколоть церковь. Поначалу Лютер направил все силы на решение одной проблемы, проблемы торговли индульгенциями, а уже отсюда с очевидной исторической неизбежностью последовала реформация.

Но почему же ошибочно требовать ниспровержения всего существующего, если потом все равно происходит революция? Все ранее сказанное позволяет дать ответ, почти не задумываясь: потому что при этом возникает опасное стремление к произвольным изменениям даже там, где законы природы полностью исключают возможность изменений. Просто игнорировать существующие законы природы пытаются в науке только писатели-фантасты и глупцы вроде изобретателей вечного двигателя; естественно, из этих попыток ничего не выходит. На успех может рассчитывать лишь тот, кто старается изменить как можно *меньше*, показывая этим, что изменения вынуждены самим предметом, а те малые изменения,

абсолютную необходимость которых ученый наконец доказал, заставляют затем изменить структуру мышления, то есть произвести фундаментальные сдвиги, что может занять годы и даже десятилетия.

Я развернул перед вами этот анализ исторического развития физики, поскольку меня беспокоит то обстоятельство, что модное ныне слово «революция» может в самых разных отношениях сбивать с толку, и изучение истории новейшей физики могло бы оказаться весьма полезным, чтобы этого избежать. Впрочем, как я уже говорил, я предоставляю вам размышлять о том, сколь далеко может заходить сопоставление революции в науке и революции в обществе. Подобная аналогия может быть правильной всегда лишь наполовину, но она и намечена здесь, конечно же, только для того, чтобы побудить к размышлению.