

# ГЛАВА VII. Кризис и возникновение научных теорий

Все открытия, рассмотренные в VI разделе, были либо причинами изменений в парадигме, либо содействовали этим изменениям. Кроме того, все изменения, которые привели к этим открытиям, были настолько же деструктивными, насколько и конструктивными. После того как открытие осознано, учёные получают возможность объяснять более широкую область природных явлений или рассматривать более точно некоторые из тех явлений, которые были известны ранее. Но этот прогресс достигался только путём отбрасывания некоторых прежних стандартных убеждений или процедур, а также путём замены этих компонентов предыдущей парадигмы другими. Изменения подобного рода, как я стремился показать, связаны со всеми открытиями, достигаемыми нормальной наукой, за исключением тех сравнительно тривиальных открытий, которые можно было хотя бы в общих чертах предвидеть и заранее. Однако открытия не являются единственными источниками деструктивно-конструктивных изменений в парадигме. В этом разделе мы начнём рассматривать подобные, но обычно намного более обширные изменения, которые являются результатом создания новых теорий.

Мы уже показали, что в науках факт и теория, открытие и исследование не разделены категорически и окончательно. Поэтому не исключено, что этот раздел будет в чём-то повторять предшествующий. (Нельзя утверждать, что Пристли первый открыл кислород, а Лавуазье затем создал кислородную теорию горения, как бы ни была привлекательна такая точка зрения. Получение кислорода уже рассматривалось как открытие. Мы вскоре вернёмся к нему, рассматривая его уже как создание кислородной теории горения.) Анализируя возникновение новых теорий, мы неизбежно расширим также наше понимание процесса открытия. Однако частичное совпадение не есть идентичность. Типы открытий, представленные в предыдущем разделе, не были, по крайней мере каждый в отдельности, ответственны за такие изменения парадигмы, как коперниканская, ньютоновская, химическая и эйнштейновская революции. Они не несут ответственности даже за узкоспециальные и потому менее значительные изменения в парадигме, вызванные волновой теорией света, динамической теорией теплоты или электромагнитной теорией Максвелла. Каким образом теории, подобные указанным, могут являться результатом нормальной науки, деятельность которой направлена больше на то, что следует из открытий, чем на поиски этих теорий?

Если осознание аномалии имеет значение в возникновении нового вида явлений, то вовсе не удивительно, что подобное, но более глубокое осознание является предпосылкой для всех приемлемых изменений теории. Имеющиеся исторические данные на этот счёт, как я думаю, совершенно определённы. Положение астрономии Птолемея было скандальным ещё до открытий Коперника[64]. Вклад Галилея в изучение движения в значительной степени основывался на трудностях, вскрытых в теории Аристотеля критикой схоластов[65]. Новая теория света и цвета Ньютона возникла с открытием, что ни одна из существующих парадигмальных теорий не способна учесть длину волны в спектре. А волновая теория, заменившая теорию Ньютона, появилась в самый разгар возрастающего интереса к аномалиям, затрагивающим дифракционные и поляризационные эффекты теории Ньютона[66]. Термодинамика родилась из столкновения двух существовавших в XIX веке физических теорий, а квантовая механика — из множества трудностей вокруг истолкования излучения чёрного тела, удельной теплоёмкости и фотоэлектрического эффекта[67]. Кроме того, во всех этих случаях, исключая пример с Ньютоном, осознание аномалий продолжалось так долго и проникало так глубоко, что можно с полным основанием охарактеризовать затронутые ими области как области, находящиеся в состоянии нарастающего кризиса. Поскольку это требует пересмотра парадигмы в большом масштабе и значительного прогресса в проблемах и технических средствах нормальной науки, то возникновению новых теорий, как правило, предшествует период резко выраженной профессиональной неуверенности. Вероятно, такая неуверенность порождается постоянной неспособностью нормальной науки решать её головоломки в той мере, в какой она должна это делать. Банкротство существующих правил означает прелюдию к поиску новых.

Рассмотрим прежде всего один из наиболее известных случаев изменения парадигмы — возникновение коперниканской астрономии. Её предшественница — система Птолемея, — которая сформировалась в течение последних двух столетий до новой эры и первых двух новой эры, имела необычайный успех в предсказании изменений положения звёзд и планет. Ни одна другая античная система не давала таких хороших результатов; для изучения положения звёзд астрономия Птолемея всё ещё широко используется и сейчас как техническая аппроксимация; для предсказания положения планет теория Птолемея была не хуже теории Коперника. Но для научной теории достичь блестящих успехов ещё не значит быть полностью адекватной. Что касается положения планет и прецессии, то их предсказания, получаемые с помощью системы Птолемея, никогда полностью не соответствовали наиболее удачным наблюдениям. Дальнейшее стремление избавиться от этих незначительных расхождений поставило много принципиальных проблем нормального исследования в астрономии для многих последователей Птолемея — точно так же, как попытка согласовать наблюдение небесных явлений и теорию Ньютона породила нормальные исследовательские проблемы для последователей Ньютона в XVIII веке. Но некоторое время астрономы имели полное основание предполагать, что эти попытки могут быть столь же успешными, как и те, что привели к системе Птолемея. Если и было какое-то расхождение, то астрономам неизменно удавалось устранять его, внося некоторые частные поправки в систему концентрических орбит Птолемея. Но время шло, и учёный, взглянув на полезные результаты, достигнутые нормальным исследованием благодаря усилиям многих астрономов, мог увидеть, что путаница в астрономии возрастала намного быстрее, чем её точность, и что корректировка расхождения в одном месте влекла за собой появление расхождения в другом[68].

Из-за того, что астрономическая традиция неоднократно нарушалась извне, а также из-за того, что при отсутствии печати коммуникации между астрономами были ограничены, эти трудности осознавались очень медленно. Но так или иначе они были осознаны. В XIII веке Альфонс X мог заявить, что если бы бог посоветовался с ним, когда создавал мир, то он получил бы неплохой совет[69]. В XVI веке коллега Коперника Доменико де Новара пришёл к выводу, что ни одна система, такая громоздкая и ошибочная, как система Птолемея, не может претендовать на выражение истинного знания о природе. И сам Коперник писал в предисловии к «De revolutionibus»[70], что астрономическая традиция, которую он унаследовал, в конце концов породила только псевдонауку. В начале XVI века увеличивается число превосходных астрономов в Европе, которые осознают, что парадигма астрономии терпит неудачу в применении её при решении собственных традиционных проблем. Это осознание было предпосылкой отказа Коперника от парадигмы Птолемея и основой для поисков новой парадигмы. Его прекрасное предисловие к «De revolutionibus» до сих пор служит образцом классического описания кризисной ситуации[71].

Неспособность справиться с возникающими в развитии нормальной науки техническими задачами по решению головоломок, конечно, не была единственной составной частью кризиса в астрономии, с которым столкнулся Коперник. При более подробном рассмотрении следует также принять во внимание социальное требование реформы календаря, которое сделало разгадку прецессии особенно настоятельной. Кроме того, более полное объяснение должно учесть критику Аристотеля в средние века, подъём неоплатонизма в эпоху Возрождения и, помимо сказанного, другие важные исторические детали. Но ядром кризиса всё же остаётся неспособность справиться с техническими задачами. В зрелой науке — а астрономия стала таковой ещё в эпоху античности — внешние факторы, подобные приведённым выше, являются принципиально важными при определении стадий упадка. Они позволяют также легко распознать упадок нормальной науки и определить область, в которой этот упадок наметился впервые. Данное обстоятельство заслуживает особого внимания. Но хотя все эти факторы необычайно важны, предмет обсуждения такого рода выходит за рамки данной работы.

Так как пример с коперниканской революцией достаточно ясен, перейдём от него ко второму, в ряде моментов отличному по значению примеру кризиса, который предшествовал появлению кислородной теории горения Лавуазье. К 70-м годам XVIII века целый комплекс факторов создал кризис в химии, но не все историки согласны друг с другом относительно его природы и относительно важности тех или иных факторов в его возникновении. Однако два фактора обычно считаются наиболее значительными: возникновение химии газов и постановка вопроса о весовых соотношениях. История химии газов начинается в XVII веке с создания воздушного насоса и его применения в химическом эксперименте. В течение следующего столетия, применяя насос и ряд других пневматических устройств, химики вскоре приходят к выводу, что воздух, вероятно, является активным ингредиентом в химических реакциях. Но за редкими исключениями — такими сомнительными, что их можно было бы не упоминать вообще, — химики продолжают верить, что воздух — только вид газа. До 1756 года, когда Джозеф Блэк показал, что «тяжёлый воздух» ( $\text{CO}_2$ ) может быть путём чёткой процедуры выделен из обычного воздуха, считалось, что две пробы газа могут различаться только благодаря различному содержанию загрязняющих примесей[72].

После работы Блэка исследование газов протекало ускоренно, особенно благодаря Кавендишу, Пристли и Шееле, которые разработали ряд новых приборов, позволивших отличить одну пробу газа от другой. Все исследователи, начиная от Блэка и до Шееле, верили в теорию флогистона и часто использовали её при проведении и интерпретации эксперимента. Шееле фактически первый получил кислород с помощью тщательно разработанной последовательности экспериментов, намереваясь дефлогистировать теплоту. К тому же общим результатом, полученным благодаря их экспериментам, было множество проб газа и свойств газа, полученных таким образом, что теория флогистона практически не «вписывалась» в проведение лабораторного опыта. Хотя ни один из названных химиков не допускал мысли, что теория должна быть заменена, они не могли применять её постоянно. Ко времени, когда Лавуазье начал свои эксперименты с воздухом в начале 70-х годов XVIII века, было почти столько же вариантов теории флогистона, сколько было химиков-пневматиков[73]. Такое быстрое умножение вариантов теории есть весьма обычный симптом её кризиса. В предисловии к своей работе Коперник также выражал недовольство подобным обстоятельством.

Однако возрастание неопределённости и уменьшение пригодности теории флогистона для пневматической химии[74] не были единственным источником кризиса, с которым столкнулся Лавуазье. Он также сильно был озабочен проблемой объяснения увеличения веса, которое наблюдалось у большинства веществ при сжигании или прокаливании, а эта проблема тоже имеет большую предысторию. По крайней мере нескольким арабским химикам было известно, что некоторые металлы увеличивают свой вес в процессе прокаливании. В XVII веке ряд исследователей сделали из того же факта вывод, что при прокаливании металла происходит поглощение некоторого ингредиента из атмосферы. Но в то время такой вывод для большинства химиков казался не необходимым. Если химические реакции могли изменять объём, цвет и плотность ингредиентов, то почему, спрашивается, они не могут точно так же изменять и вес? Вес не всегда рассматривался как мера количества материи. Кроме того, прирост веса при прокаливании оставался изолированным явлением. Большинство природных веществ (например, древесина) теряют вес при прокаливании, как и должно было быть в согласии с более поздним вариантом теории флогистона.

Однако в течение XVIII века ранее удовлетворявшие учёных ответы на проблему изменения веса вызывают всё более серьёзные трудности. Частично вследствие того, что весы всё чаще использовались как необходимое экспериментальное средство для химика, а частично вследствие того, что развитие пневматической химии сделало возможным и желательным сохранение газообразного продукта реакций, химики открывали всё больше случаев увеличения веса при прокаливании. Одновременно постепенное внедрение теории тяготения Ньютона привело химиков к мнению, что увеличение в весе должно означать увеличение количества материи. Эти выводы не являются следствием отказа от теории флогистона, ибо данная теория могла быть согласована многими различными способами с такими выводами. Например, можно было предположить, что флогистон имеет отрицательный вес, либо частицы огня или чего-то ещё проникают в прокаливаемое вещество, как только флогистон покидает его. Были и другие объяснения. Но если проблема приращения веса не приводила к отказу от теории флогистона, то всё же она привела к большому числу специальных исследований, где эта проблема становилась основной. Одно

из них, озаглавленное «Флогистон как субстанция, имеющая вес и [анализируемая] на основе изменения веса, производимого флогистоном в веществах в процессе его соединения с ними», было доложено на заседании Французской Академии в начале того самого 1772 года, в конце которого Лавуазье передал свою знаменитую запечатанную записку в Академию. До того, как эта записка была написана, проблема, такая острая для химиков, много лет оставалась неразрешимой головоломкой[75], и для того, чтобы справиться с ней, было разработано много различных версий теории флогистона. Подобно проблемам пневматической химии, проблемы изменения веса всё больше и больше затрудняли понимание того, что собственно представляет собой теория флогистона. Всё ещё признаваемая и принимаемая в качестве средства исследования, парадигма химии XVIII века тем не менее постепенно теряла свой статус в качестве единственного способа объяснения этих явлений. Чем дальше, тем больше исследование, направляемое ею, напоминало то исследование, которое проводилось под контролем конкурирующих школ допарадигмального периода. Это являлось другим типичным следствием кризиса.

Рассмотрим теперь в качестве третьего и заключительного примера кризис в физике конца XIX века, который подготовил путь для возникновения теории относительности. Один источник кризиса можно проследить в конце XVII века, когда ряд натурфилософов, особенно Лейбниц, критиковали Ньютона за сохранение, хотя и в модернизированном варианте, классического понятия абсолютного пространства[76]. Они довольно точно, хотя и не всегда в полной мере, смогли показать, что абсолютное пространство и абсолютное движение не несли какой бы то ни было нагрузки в системе Ньютона вообще. Больше того, они высказали догадку, что полностью релятивистское понятие пространства и движения, которое и было открыто позднее, имело бы большую эстетическую привлекательность. Но их критика была чисто логической. Подобно ранним сторонникам Коперника, которые критиковали доказательства Аристотелем неподвижности Земли, они не помышляли о том, что переход к релятивистской системе может иметь осязаемые последствия. Ни в одном пункте они не соотнесли свои точки зрения с теми проблемами, которые возникали в результате применения теории Ньютона к природным явлениям. В результате их точки зрения умерли с ними вместе в течение первых десятилетий XVIII века и вновь воскресли только в последние десятилетия XIX века, когда они приобрели совершенно иное отношение к практике физических исследований.

Технические проблемы, с которыми релятивистская философия пространства в конечном счёте должна была быть соотнесена, начали проникать в нормальную науку с принятием волновой теории света примерно после 1815 года, хотя они не вызвали никакого кризиса вплоть до 90-х годов XIX века. Если свет является волновым движением, распространяющимся в механическом эфире, и подчиняется законам Ньютона, тогда и наблюдение небесных явлений, и эксперимент в земных условиях дают потенциальные возможности для обнаружения «эфирного ветра». Из небесных явлений только наблюдения за абберацией звёзд обещали быть достаточно точными для получения надёжной информации, и обнаружение «эфирного ветра» с помощью измерения аббераций становится общепризнанной проблемой нормального исследования. Однако подобные измерения, несмотря на большое число специально сконструированных приборов, не обнаружили никакого наблюдаемого «эфирного ветра», и поэтому проблема перешла от экспериментаторов и наблюдателей к теоретикам. В середине века Френель, Стокс и другие

разработали многочисленные варианты теории эфира, предназначенные для объяснения неудачи в наблюдении «эфирного ветра». Каждый из этих вариантов допускал, что движущееся тело увлекает за собой частички эфира. И каждый из вариантов достаточно успешно объяснял отрицательные результаты не только наблюдения небесных явлений, но также экспериментов на земле, включая знаменитый эксперимент Майкельсона и Морли[77]. Но конфликта всё ещё не было, исключая конфликты между различными толкованиями. К тому же из-за отсутствия соответствующей экспериментальной техники эти конфликты никогда не были острыми.

Ситуация вновь изменилась только благодаря постепенному принятию электродинамической теории Максвелла в последние два десятилетия XIX века. Сам Максвелл был ньютонианцем и верил, что свет и электромагнетизм вообще обусловлены изменчивыми перемещениями частиц механического эфира. Его наиболее ранние варианты теории электричества и магнетизма были направлены на использование гипотетических свойств, которыми он наделял данную среду. Эти свойства были опущены в окончательном варианте его теории, но он всё ещё верил, что его электромагнитная теория совместима с некоторым вариантом механической точки зрения Ньютона[78]. От него и его последователей требовалось соответствующим образом чётко сформулировать эту точку зрения. Однако на практике, как это не раз случалось в развитии науки, ясная формулировка теории встретила с необычайными трудностями. Точно так же, как астрономический план Коперника, несмотря на оптимизм автора, породил возрастающий кризис существовавших тогда теорий движения, теория Максвелла вопреки своему ньютонианскому происхождению создала соответственно кризис парадигмы, из которой она произошла[79]. Кроме того, пункт, в котором кризис разгорелся с наибольшей силой, был связан как раз с только что рассмотренными проблемами — проблемами движения относительно эфира.

Исследование Максвеллом электромагнитного поведения движущихся тел не затрагивало вопроса о сопротивлении эфирной среды, и ввести это сопротивление в его теорию оказалось чрезвычайно трудно. В результате получилось, что целый ряд ранее осуществлённых наблюдений, направленных на то, чтобы обнаружить «эфирный ветер», указывал на аномалию. Поэтому период после 1890 года был отмечен долгой серией попыток — как экспериментальных, так и теоретических — определить движение относительно эфира и внедрить в теорию Максвелла представление о сопротивлении эфира. Экспериментальные исследования были сплошь безуспешными, хотя некоторые учёные сочли результаты неопределёнными. Что же касается теоретических попыток, то они дали ряд многообещающих импульсов, особенно исследования Лоренца и Фицджеральда, но в то же время они вскрыли и другие трудности; в конечном итоге произошло точно такое же умножение теорий, которое, как мы обнаружили ранее, сопутствует кризису[80]. Всё это противоречит утверждениям историков, что специальная теория относительности Эйнштейна возникла в 1905 году.

Эти три примера почти полностью типичны. В каждом случае новая теория возникла только после резко выраженных неудач в деятельности по нормальному решению проблем. Более того, за исключением примера со становлением гелиоцентрической теории Коперника, где внешние по отношению к науке факторы играли особенно большую роль, указанные

неудачи и умножение теорий, которые являются симптомом близкого крушения прежней парадигмы, длились не более чем десяток или два десятка лет до формулировки новой теории. Новая теория предстаёт как непосредственная реакция на кризис. Заметим также, хотя это, может быть, и не столь типично, что проблемы, по отношению к которым отмечается начало кризиса, бывают все именно такого типа, который давно уже был осознан. Предшествующая практика нормальной науки дала все основания считать их решёнными или почти решёнными. И это помогает объяснить, почему чувство неудачи, когда оно наступает, бывает столь острым. Неудача с новым видом проблем часто разочаровывает, но никогда не удивляет. Ни проблемы, ни головоломки не решаются, как правило, с первой попытки. Наконец, всем этим примерам свойствен ещё один признак, который подчёркивает важную роль кризисов: разрешение кризиса в каждом из них было, по крайней мере частично, предвосхищено в течение периода, когда в соответствующей науке не было никакого кризиса, но при отсутствии кризиса эти предвосхищения игнорировались.

Единственное полное предвосхищение, которое в то же время и наиболее известно, — предвосхищение Коперника Аристархом в III веке до н. э. Часто говорят, что если бы греческая наука была менее дедуктивной и меньше придерживалась догм, то гелиоцентрическая астрономия могла начать своё развитие на восемнадцать веков раньше, чем это произошло на самом деле[81]. Но говорить так — значит игнорировать весь исторический контекст данного события. Когда было высказано предположение Аристарха, значительно более приемлемая геоцентрическая система удовлетворяла всем нуждам, для которых могла бы предположительно понадобиться гелиоцентрическая система. В целом развитие птолемеической астрономии, и её триумф и её падение, происходит после выдвижения Аристархом своей идеи. Кроме того, не было очевидных оснований для принятия идеи Аристарха всерьёз. Даже более тщательно разработанный проект Коперника не был ни более простым, ни более точным, нежели система Птолемея. Достоверные проверки с помощью наблюдения, как мы увидим более ясно далее, не обеспечивали никакой основы для выбора между ними. При этих обстоятельствах одним из факторов, который привёл астрономов к коперниканской теории (и который не мог в своё время привести их к идее Аристарха), явился осознаваемый кризис, которым в первую очередь было обусловлено создание новой теории. Астрономия Птолемея не решила своих проблем, и настало время предоставить шанс конкурирующей теории. Два других наших примера не обнаруживают столь же полных предвосхищений, однако несомненно, что одна из причин, в силу которых теории горения, объясняемого поглощением кислорода из атмосферы (развитые в XVII веке Реем, Гуком и Майовом), не получили достаточного распространения, состояла в том, что они не устанавливали никакой связи с проблемами нормальной научной практики, представляющими трудности[82]. И то, что учёные XVIII—XIX веков долго пренебрегали критикой Ньютона со стороны релятивистски настроенных авторов, в значительной степени связано с подобной неспособностью к сопоставлению различных точек зрения.

Философы науки неоднократно показывали, что на одном и том же наборе данных всегда можно возвести более чем один теоретический конструкт. История науки свидетельствует, что, особенно на ранних стадиях развития новой парадигмы, не очень трудно создавать такие альтернативы. Но подобное изобретение альтернатив — это как раз то средство, к которому учёные, исключая периоды допарадигмальной стадии их научного развития и

весьма специальных случаев в течение их последующей эволюции, прибегают редко. До тех пор пока средства, представляемые парадигмой, позволяют успешно решать проблемы, порождаемые ею, наука продвигается наиболее успешно и проникает на самый глубокий уровень явлений, уверенно используя эти средства. Причина этого ясна. Как и в производстве, в науке смена инструментов — крайняя мера, к которой прибегают лишь в случае действительной необходимости. Значение кризисов заключается именно в том, что они говорят о своевременности смены инструментов.

---

Версия #2

Зверобой создал 1 января 2026 18:52:14

Зверобой обновил 1 января 2026 19:00:52