



***В помощь изучающим
историю и философию науки***

НАУЧНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ КОНЦА XIX – НАЧАЛА XX ВЕКА

И.О. Орлов

В истории науки конец XIX и особенно начало XX в. – это время, когда произошел значительный качественный скачок практически во всех областях естествознания. Фундаментальные научные открытия, развитие новых теорий, выявляющих новые стороны, казалось бы, очевидных и понятных фактов, привели к революции в мировоззрении не только научного сообщества, но и простого обывателя.

В середине XIX в. авторитетнейший ученый того времени, лорд Кельвин, в одной из своих лекций сравнил физику с кораблем, благополучно миновавшим подводные рифы и мели и вошедшим в спокойную гавань. Лишь два небольших облачка, по мнению Кельвина, омрачали небосвод науки, – это затруднения, с которыми столкнулись теория излучения и электродинамика движущихся тел. Но, как выяснилось впоследствии, именно эти два облачка явились причиной той «бури», которая перевернула представления об основах физики.

«Имеются признаки серьезного кризиса, и нам как будто следует ждать близких перемен», – писал на рубеже веков известный французский ученый и философ Анри Пуанкаре в своей книге «Ценность науки» [1]. При этом под сомнение ставились самые основы всей физики – ее принципы.

Развитие естествознания

Накопление экспериментальных данных, которые было сложно или даже невозможно объяснить с помощью старых физических теорий, привело

к постановке нескольких фундаментальных проблем, определивших дальнейшее развитие науки. Некоторые из этих проблем были разрешены практически сразу же, некоторые из них остаются актуальными и сегодня.

Электромагнитная природа света

Проблемы объяснения физических явлений начали проникать в ньютоновскую физику и философию с принятием волновой теории света (после 1815 г.), хотя они не вызвали никакого кризиса вплоть до 90-х годов XIX в. Если свет представляет собой волновое движение, распространяющееся 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 звезд обещали быть достаточно точными для получения надежной 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 выявили никакого наблюдаемого «эфирного ветра», и поэтому проблема перешла от экспериментаторов и наблюдателей к теоретикам. В середине XIX в. Френель, Стокс и др. 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. Но масштабного конфликта все еще не было, имелись лишь конфликты между различными толкованиями. К тому же из-за отсутствия соответствующей экспериментальной техники эти конфликты никогда не были острыми.

Открытие Фарадеем в 1845 г. связи между магнетизмом и светом указывало на строгую поперечность световых колебаний. Все это плохо укладывалось в старую форму механического эфира. Фарадей выдвинул идею о существовании силовых линий, в которых происходят поперечные колебания. Ученый указал, что колебания, происходящие в линиях сил, представляют собой не механический процесс, а новую форму движения. Подобные колебания поперечны и потому ими можно объяснить явление поляризации. Появление изменения на одном конце силы заставляет предполагать последующее изменение на другом. Распространение

света требует времени, и, чтобы колебанием линий силы можно было объяснить явления излучения, необходимо, чтобы такое колебание также занимало время.

Поиски привели Фарадея к формированию важного представления о поперечных магнитных колебаниях, распространяющихся, как и свет, с конечной скоростью. Эта мысль, возникшая еще в 1832 г., и есть центральная идея электромагнитной теории света.

Ситуация вновь изменилась только благодаря постепенному принятию электродинамической теории Максвелла в последние два десятилетия XIX в. Сам Максвелл был ньютономцем 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 ученый все еще верил, что его электромагнитная теория совместима с некоторым вариантом механической точки зрения Ньютона. От Максвелла и его последователей требовалось соответствующим образом четко сформулировать эту точку зрения. Однако на практике, как это не раз случалось в развитии науки, ясная формулировка теории встретила необычайные трудности. Теория Максвелла, вопреки своему ньютоновскому происхождению, вызвала кризис парадигмы, из которой она произошла. Кроме того, пункт, в связи с которым кризис разгорелся с наибольшей силой, касался как раз только что упомянутых проблем – проблем движения относительно эфира.

Исследования, произведенные Максвеллом, привели его к выводу, что в природе должны существовать электромагнитные волны, скорость распространения которых в безвоздушном пространстве равна скорости света. Возникнув, электромагнитное поле распространяется в пространстве со скоростью света, занимая все больший и больший объем. Максвелл утверждал, что *волны света имеют ту же природу, что и волны, возникающие вокруг провода, в котором есть переменный электрический ток*. Они отличаются друг от друга только длиной. Быстропеременные электрические и магнитные поля, распространяющиеся со скоростью света, образуют электромагнитное поле. Электромагнитное поле распространяется в пространстве от точки к точке, создавая электромагнитные волны.

В каждой точке электромагнитное поле характеризуется напряженностью электрического и магнитного полей. Векторы напря-

женности полей взаимно перпендикулярны и перпендикулярны к направлению распространения.

Исследование Максвеллом электромагнитного поведения движущихся тел не затрагивало вопроса о сопротивлении эфирной среды, и ввести представление об этом сопротивлении в его теорию оказалось чрезвычайно трудным. В результате получилось, что целый ряд ранее осуществленных наблюдений, направленных на то, чтобы обнаружить «эфирный ветер», указывал на аномалию. Поэтому период после 1890 г. 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 ученые сочли их результаты неопределенными. Что же касается теоретических попыток, то они дали ряд многообещающих импульсов, особенно исследования Лоренца и Фитцджеральда, но в то же время они вскрыли и другие трудности.

Справедливость максвелловских представлений об электромагнитном поле опытным путем доказал Генрих Герц в эксперименте с электромагнитным вибратором. Он обнаружил, что если расстояние от приемника до вибратора составляет менее 1 м, то характер распространения электрической силы аналогичен полю диполя и убывает обратно пропорционально кубу расстояния. Однако на больших расстояниях поле убывает значительно медленнее и не одинаково в различных направлениях. В направлении оси вибратора действие убывает значительно быстрее, чем в направлении, перпендикулярном оси.

В ряде последующих работ Герц неопровержимо доказал существование электромагнитных волн, распространяющихся с конечной скоростью.

Итоги своих опытов Герц подводит следующим образом: «Результаты опытов, поставленных мною над быстрыми электрическими колебаниями, показали мне, что теория Максвелла обладает преимуществом перед всеми другими теориями электродинамики... Все эти опыты очень просты в принципе, но, тем не менее, они влекут за собой важнейшие следствия. Они рушат всякую теорию, которая считает, что электрические силы перепрыгивают пространство мгновенно. Они означают блестящую победу теории Максвелла» [2].

Таким образом, была сформулирована и экспериментально подтверждена теория единства электрических, магнитных и опти-

ческих явлений – теория, которая впоследствии привела к появлению уравнений Максвелла, ставших базисом для специальной теории относительности.

Специальная теория относительности

К рубежу XIX–XX вв. одним из результатов развития физики стало осознание противоречий и несовместимости трех принципиальных оснований классической механики:

- 1) скорость света в пустом пространстве всегда постоянна, независимо от движения источника или приемника света;
- 2) в двух системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно относительно друг друга, все законы природы строго одинаковы, и нет никакого средства, которое позволяло бы обнаружить абсолютное прямолинейное и равномерное движение (принцип относительности);
- 3) координаты и скорости преобразуются от одной инерциальной системы к другой согласно классическим преобразованиям Галилея.

Было ясно, что эти три положения не могут быть логически объединены друг с другом, поскольку они несовместимы. Долгое время многие физики направляли все свои усилия на то, чтобы попытаться каким-либо образом изменить первые два из этих положений, оставив неизменным третье как само собой разумеющееся. С другой стороны, немалые усилия были потрачены на то, чтобы опытным путем, постановкой множества экспериментов доказать верность, истинность первых двух положений. В конце концов появилась даже идея заменить преобразования Галилея, но она предстала лишь в виде гипотезы *ad hoc*.

Французский математик и физик Анри Пуанкаре (1854–1912) обратился к проблемам, рассмотренным Лоренцем. В отличие от последнего Пуанкаре сразу исходил из принципа относительности, который он распространил на оптические и любые другие явления природы. Он ближе всех подошел к основным представлениям теории относительности, а в разработке математического аппарата был даже впереди Эйнштейна. Но Пуанкаре так и не решился на полный разрыв с классическими принципами и представлениями, хотя и был близок к этому.

В 1905 г. в немецком журнале «Annalen der Physik» появилась небольшая статья Альберта Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел», в которой почти полностью была изложена специальная теория

относительности. В том же году в этом же журнале была опубликована его статья «Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии?», дополняющая первую.

Специальная теория относительности возникла не на пустом месте, она выросла из решения электродинамической проблемы движущихся тел, над которой работали многие физики. Согласно воззрениям Ньютона, во Вселенной существуют «нормальные часы», которые отсчитывают ход абсолютного времени с любой точки. Кроме того, существует абсолютное движение – перемещение тела из одного абсолютного места в другое абсолютное место. Первым, кто начал открыто критиковать ньютоновские принципы абсолютного пространства, стал Эрнст Мах. В своем труде «История механики» он, в частности, утверждает, что понятия классической механики выражают не абсолютные, а относительные величины. В экспериментальной физике ньютоновские догмы также были поставлены под сомнение. Движение тел сквозь неподвижный эфир должно вызывать заметный «эфирный ветер», который можно обнаружить экспериментально. Первый опыт по обнаружению «эфирного ветра» был поставлен в 1881 г. Майкельсоном. Однако ни это, ни последующие измерения не подтвердили существования «эфирного ветра».

Выход из создавшегося кризиса был предложен Эйнштейном. Согласно его теории, скорость света, представляющая собой максимальную скорость передачи сигналов, конечна и одинакова для всех наблюдателей. Поэтому понятие абсолютной скорости лишено всякого физического смысла. Одновременность пространственно разделенных событий относительна.

Первый и главный постулат Эйнштейна гласит, что во всех системах отсчета, движущихся по отношению друг к другу равномерно и прямолинейно, действуют одни и те же законы природы. Если же нужно перейти от одной системы отсчета к другой, необходимо воспользоваться преобразованиями Лоренца. Вторым постулат Эйнштейна гласит, что скорость света в вакууме одинакова для всех инерциальных систем отсчета. Она не зависит от скоростей источника и приемника сигнала.

Теория относительности утверждает эквивалентность массы и энергии в соответствии с теперь знаменитой формулой: $E_0 = mc^2$. Формула Эйнштейна в 30-е годы XX в. получила блестящее подтверждение в реакциях деления урана.

Специальная теория относительности была революционной концепцией в механике. Макс Планк писал: «Эйнштейновская концепция времени превосходит по смелости все, что до этого времени было создано в умоглядном естествознании и даже в философской теории познания» [3].

Термодинамика

В 1871 г. Людвиг Больцман указал, что второй закон термодинамики может быть выведен из классической механики только с помощью теории вероятности. В 1877 г. появилась знаменитая статья Больцмана о соотношении между энтропией и вероятностью термодинамического состояния. Ученый показал, что энтропия термодинамического состояния пропорциональна вероятности этого состояния и что вероятности состояний могут быть рассчитаны на основании отношения между численными характеристиками соответствующих этим состояниям распределений молекул.

Необратимые процессы в природе суть процессы перехода из менее вероятного состояния в более вероятное. Обратимые переходы не невозможны, а маловероятны. Такой ход мыслей привел Больцмана к новой точке зрения на второй закон термодинамики: *когда произвольная система тел будет предоставлена самой себе и не подвержена действию других тел, всегда может быть указано направление, в котором будет происходить каждое изменение состояния.* Это направление может быть характеризовано изменением некоторой функции состояния – энтропией, которая изменяется с изменением состояния системы в сторону возрастания.

Больцман впервые дал статистическую интерпретацию второго закона термодинамики. Его теория стала первым чувствительным ударом по принципу механического детерминизма. «Введение теории вероятностей в рассмотрение механических систем, – пишет П.С. Кудрявцев, – кажется противоречивым. Динамическая закономерность, с которой имеет дело механика, представлялась настолько определенной, что уже Лаплас считал, что если бы уму было доступно знание расположения всех частиц Вселенной в данный момент и сил, действующих между ними, то он... смог бы с достоверностью предвидеть будущее Вселенной, равно как и усмотреть ее прошедшее. Каким же образом законы механики в кинетической теории приводят к статистике? Больцман отвечает на этот вопрос: причина статистики заключается в самой

механике, в начальных условиях. Ничтожные шероховатости стенок сосуда... достаточны, чтобы внести хаос в первоначальный порядок, если бы он имел место. Законы сохранения при соударении двух молекул оставляют полный простор для направления скоростей после удара. Все это приводит к тому, что вследствие механических взаимодействий молекул упорядоченное их движение становится невероятным, а хаотическое наиболее вероятным» [4].

Рентгеновское излучение

В январе 1896 г. появилось первое сообщение об открытии немецким ученым Вильгельмом Конрадом Рентгеном нового типа излучения.

В 1894 г. Рентген приступил к экспериментальным исследованиям электрического разряда в стеклянных вакуумных трубках. В ноябре 1895 г., занимаясь изучением катодных лучей, он заметил свечение в темноте экрана из синеродистого бария, появляющееся при включении катодной трубки. Рентген начал исследовать обнаруженное явление и новые лучи, названные им икс-лучами.

Большинство ученых немедленно опубликовали бы такое открытие. Рентген же считал, что сообщение произведет большее впечатление, если удастся привести какие-то данные о природе открытых им лучей, измерив их свойства. Поэтому он 50 дней напряженно работал, проверяя все возможные предположения. Рентген не мог обнаружить ни преломления, ни отражения исследуемых лучей. Однако он установил важный факт рассеяния этих лучей веществом.

В марте 1896 г. Рентген выступил со вторым сообщением. В этом сообщении он описывает опыты по изучению ионизирующего действия лучей и возбуждения икс-лучей различными телами. В результате этих исследований он констатировал, что не оказалось ни одного твердого тела, которое под действием катодных лучей не возбуждало бы икс-лучи.

Открытие рентгеновских лучей вновь вызвало споры между сторонниками корпускулярной и волновой теорий излучения. Было проведено множество экспериментов в защиту обеих теорий. И только в 1912 г. Максом Лауэ было обнаружено явление дифракции рентгеновских лучей.

Радиоактивность

Открытие Рентгена замечательно не только появившейся возможностью понять строение вещества и многочисленными практическими применениями. Это открытие стимулировало мысль ученых, уже было

решивших, что здание физики построено и в природе больше нет ничего неизвестного человеку.

Анри Беккерель в своем докладе на конгрессе отметил, что ему казалось очень маловероятным, чтобы рентгеновские лучи могли существовать в природе только в тех сложных условиях, в каких они получаются в опытах Рентгена.

Беккерель обратил внимание на тот факт, что катодные лучи в опытах Рентгена производили при ударе одновременно и люминесценцию стекла, и невидимые икс-лучи. Это привело его к идее, что всякая люминесценция сопровождается испусканием рентгеновских лучей. Впервые эту мысль высказал Пуанкаре.

Несколько дней Беккерель обдумывал намеченный им эксперимент, затем выбрал из своей коллекции двойную сернокислую соль урана и калия, спрессованную в небольшую лепешку, положил соль на фотопластинку, спрятанную от света в черную бумагу, и выставил на солнце. Под влиянием солнечных лучей двойная соль стала ярко светиться, но на защищенную фотопластинку это свечение не могло попасть. После проявления на пластинке явственно проступило изображение лепешки из соли. Неужели соль под действием солнечных лучей испускает не только свет, но и рентгеновские лучи? Беккерель проверял это предположение вновь и вновь.

Наступили пасмурные дни, и он спрятал приготовленную фотопластинку с солью в стол. Между лепешкой соли и пластинкой он положил медный крестик. Не дождавись появления солнца, Беккерель вынул из ящика фотопластинку и проявил ее. Каково же было его удивление, когда он увидел на проявленной фотопластинке четкое изображение крестика и лепешки с солью. Значит, солнце и флуоресценция здесь ни при чем.

Как первоклассный исследователь, Беккерель не поколебался подвергнуть свою теорию серьезному испытанию и начал изучать действие солей урана на пластинку в темноте. Последовательными опытами он доказал, что уран и его соединения непрерывно излучают без ослабления лучи, действующие на фотопластинку и способные также разряжать электроскоп, т.е. создавать ионизацию.

Изучая свойства новых лучей, Беккерель попытался объяснить их природу. Однако он не мог прийти к четким выводам и долгое время придерживался ошибочной точки зрения, считая радиоактивность формой длительной фосфоресценции.

Вскоре в исследование нового явления включились Пьер и Мария Кюри. Мария Склодовская-Кюри начала исследования с изучения большого числа химических элементов: не являются ли они источниками «лучей Беккереля»? Опыты Склодовской-Кюри показали, что некоторые урановые и ториевые руды обладают аномальной радиоактивностью: она оказалась гораздо сильнее того, что можно было ожидать от урана и тория. Тогда была выдвинута гипотеза, что минералы с ураном и торием содержат небольшое количество вещества, гораздо более радиоактивного, чем уран и торий. Это должен был быть новый химический элемент.

После напряженного труда 18 июля 1898 г. Пьер и Мария Кюри выступили с сообщением «О новом радиоактивном веществе, содержащемся в смоляной обманке». Ученые заявили, что вещество, выделенное из смоляной обманки, содержит еще не описанный металл. В этом сообщении впервые данное явление названо радиоактивностью, а лучи – радиоактивными. Активность нового элемента (полония) оказалась в 400 раз выше активности урана.

В 1899 г. А. Дебьерн проверял гипотезу М. Кюри о наличии в урановой смолке других радиоактивных элементов кроме радия и полония. Он сделал очередное открытие: из смолки можно выделить новое высокордиоактивное вещество (актиний). Его активность в 100 тыс. раз превышала активность урана.

Таким образом, к началу XX в. было известно пять радиоактивных веществ: уран, торий, полоний, радий, актиний.

Электрон

В 1874 г. ирландский физик Стоней на заседании Британской ассоциации обратил внимание на существование в природе трех «естественных единиц»: скорости света, постоянной тяготения и заряда «электрического атома».

5 апреля 1881 г. Гельмгольц в своей речи заявил: «Если мы допускаем существование атомов, то принуждены заключить отсюда далее, что также и электричество, как положительное, так и отрицательное, разделяется на определенные элементарные количества, которые играют роль атомов электричества».

Английский физик Джозеф Джон Томсон вошел в историю науки как человек, открывший электрон. В трубке, сконструированной Томсоном, катодные лучи Рентгена притягивались к положительно

заряженной пластине и явно отталкивались от заряженной отрицательно. То есть вели себя так, как и полагалось потоку быстролетающих крошечных корпускул, заряженных отрицательным электричеством.

«После длительного обсуждения экспериментов, – пишет в своих воспоминаниях Томсон, – оказалось, что мне не избежать следующих заключений.

- Что атомы не неделимы, так как из них могут быть вырваны отрицательно заряженные частицы под действием электрических сил, удара быстро движущихся частиц, ультрафиолетового света или тепла.

- Что эти частицы все одинаковой массы, несут одинаковый заряд отрицательного электричества, от какого бы рода атомов они ни происходили, и являются компонентами всех атомов.

- Масса этих частиц меньше, чем одна тысячная массы атома водорода. Я в начале назвал эти частицы корпускулами, но они теперь называются более подходящим именем “электрон”».

Атомы, фундаментальные кирпичики материи, перестали быть элементарными, непроницаемыми и неделимыми, частицами без всякого внутреннего строения. Если из них могли вылетать отрицательно заряженные частицы, значит, они должны были представлять собой какую-то сложную систему, состоящую из чего-то заряженного положительным электричеством и из отрицательно заряженных корпускул – электронов.

Модель атома

После открытия электрона решительно изменились представления о строении атома. Все атомы должны содержать электроны, но как электроны в них расположены? Постепенно все сошлись на одной модели, предложенной Дж. Дж. Томсоном. Согласно этой модели, атом состоит из положительно заряженного вещества, внутрь которого вкраплены электроны (возможно, интенсивно движущиеся), так что атом напоминает пудинг с изюмом. Томсоновскую модель атома нельзя было непосредственно проверить, но в ее пользу свидетельствовали всевозможные аналогии.

Немецкий физик Филипп Ленард в 1903 г. выдвинул идею о «пустом» атоме, внутри которого «летают» какие-то никем не обнаруженные нейтральные частицы, составленные из взаимно уравновешенных положи-

тельных и отрицательных зарядов. Ленард даже дал название этим несуществующим частицам – «динамиды».

Однако единственной моделью, право которой на существование доказывалось строгими, простыми и красивыми опытами, стала модель Резерфорда. В 1909 г. Резерфорд предложил Эрнесту Марсдену выяснить, могут ли альфа-частицы отражаться от золотой фольги. Резерфорд был абсолютно убежден в том, что массивные альфа-частицы должны испытывать только незначительные отклонения, проходя сквозь фольгу. Большинство из них действительно проходило сквозь фольгу, лишь слабо отклоняясь. Но некоторые альфа-частицы (примерно одна из 20 тыс., как заметил Марсден) отклонялись на углы больше 90 градусов. Марсден даже боялся рассказать об этом Резерфорду и сначала тщательно удостоверился в том, что в его опытах не было ошибки. Резерфорд почти не поверил в этот результат наблюдений.

Много лет спустя Резерфорд вспоминал: «Это было, пожалуй, самым невероятным событием, которое я когда-либо переживал в моей жизни. Это было столь же неправдоподобно, как если бы вы произвели выстрел по обрывку папиросной бумаги 15-дюймовым снарядом, а он вернулся бы назад и угодил в вас». Но в неправдоподобное пришлось поверить, и в 1911 г. Резерфорд пришел к убеждению, что результаты опытов по рассеянию альфа-частиц золотой фольгой можно объяснить, только предположив, что альфа-частицы проходят на весьма малом расстоянии от других положительно заряженных частиц с размерами, много меньшими размеров атомов. Атом золота должен состоять из малого положительно заряженного ядра и окружающих его электронов. Это было рождением идеи об атомном ядре и новой отрасли физики – ядерной физики.

Результаты опытов, которые привели Резерфорда к мысли о планетарном строении атома, ученый опубликовал в мае 1911 г. Физики всего мира могли теперь оценить на сей раз убедительно подтвержденную экспериментально модель строения атома.

Что же удерживает электрон от падения на массивное ядро? Конечно, быстрое вращение вокруг него. Но в процессе вращения с ускорением в поле ядра электрон должен часть своей энергии излучать во все стороны и, постепенно тормозясь, все же упасть на ядро. Эта мысль не давала покоя авторам планетарной модели атома.

Дефект планетарной модели атома исправил датский физик Нильс Бор. В 1913 г. он опубликовал результаты длительных раз-

мышлений и расчетов, важнейшие из которых стали с тех пор именовать постулатами Бора:

- в атоме всегда существует большое число устойчивых и строго определенных орбит, по которым электрон может мчаться бесконечно долго, ибо все силы, действующие на него, оказываются уравновешенными;
- электрон может переходить в атоме только с одной устойчивой орбиты на другую, столь же устойчивую;
- если при таком переходе электрон удаляется от ядра, то необходимо сообщить ему извне некоторое количество энергии, равное разнице в энергетическом запасе электрона на верхней и нижней орбитах;
- если электрон приближается к ядру, то лишнюю энергию он «сбрасывает» в виде излучения.

Кванты

Ученые долго пытались найти формулу, которая точно и в полном согласии с экспериментом описывала бы спектр излучения черного тела. В 90-е годы XIX в. Вильгельм Вин получил формулу, которая хорошо согласовывалась с опытом в области коротких волн, но не годилась для длинноволновой части спектра. В 1900 г. Джон Уильям Релей сделал попытку применить к излучению закон о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Согласно закону излучения Релея, *испускание «лучистой энергии» определенной длины волны прямо пропорционально абсолютной температуре и обратно пропорционально четвертой степени длины волны*. Закон этот согласуется с данными опыта как раз там, где закон Вина перестает быть справедливым.

Таким образом, имелись две формулы: одна для коротковолновой части спектра (формула Вина), другая – для длинноволновой (формула Релея). Задача состояла в том, чтобы состыковать их.

«Ультрафиолетовой катастрофой» назвали исследователи расхождение теории излучения с экспериментом. Логические рассуждения и обоснованные математические расчеты неизменно приводили к формулам, выводы из которых совершенно расходились с экспериментом. Из этих формул следовало, например, что раскаленная печь должна с течением времени отдавать все больше тепла в окружающее пространство и яркость ее свечения должна все больше возрастать.

«Сшить» формулы Вина и Релея и вывести формулу, совершенно точно описывающую спектр излучения черного тела, удалось немецкому

физику Макс Планку. Проводя свои исследования, Планк обратил внимание на новые физические закономерности. Он установил на основе эксперимента закон теплового излучения нагретого тела. При этом он столкнулся с тем, что излучение имеет прерывный характер. Планк смог обосновать свой закон лишь с помощью замечательного предположения, что энергия колебания атомов не произвольная, а может принимать только вполне определенные значения. Ученый установил, что свет должен испускаться и поглощаться порциями, причем энергия каждой порции равна частоте колебания, умноженной на специальную константу, получившую название постоянной Планка.

14 декабря 1900 г. Планк доложил Берлинскому физическому обществу о своей гипотезе и новой формуле излучения. Гипотеза, предложенная Планком, ознаменовала рождение квантовой теории, совершившей подлинную революцию в физике. Классическая физика, в противоположность современной физике, ныне именуется «физика до Планка».

Из формулы Планка в виде частных случаев могли быть получены и закон Вина, и соотношение Стефана – Больцмана, показывающие, что общая энергия излучения тела пропорциональна его абсолютной температуре в четвертой степени.

Сверхпроводимость

Еще в древности было замечено, что агрегатное состояние вещества зависит от внешних условий. Самый яркий и наглядный пример – превращение воды в лед и пар. Впервые газ (аммиак) был сжижен в 1792 г. голландским физиком М. ван Марумом. Майкл Фарадей начиная с 1823 г. перевел в жидкое состояние несколько газов: хлор, сернистый и углекислый газы. В 1878 г. Р. Пикте и Л. Кальете получили жидкий кислород и жидкий азот.

Теперь казалось, что по уже отработанной схеме легко удастся перевести в жидкое состояние любой другой газ. Действительно, подавляющее большинство газов при расширении охлаждаются. Однако водород, неон и гелий ведут себя «нечестно» – при расширении нагреваются.

Получить жидкий водород одновременно пытались Ольшевский в Кракове, Камерлинг-Оннес в Голландии и Дьюар в Англии. В этом состязании победил Дьюар: 10 мая 1898 г. он получил 20 куб. см жидкого водорода. Еще через несколько месяцев он сумел получить твердый водород.

Лишь 9 июля 1908 г. пришло известие, что доктор Камерлинг-Оннес осуществил сжижение гелия. В конце опыта он предпринял попытку

получить твердый гелий, однако она не удалась. Не удавалось сделать это и потом, когда ученый дошел до температуры 1,38, а затем и до 1,04°К. Не понимая причины этого странного явления, он, однако, заставил себя отступить и перешел к следующему пункту намеченной программы – к исследованию свойств металлов при гелиевой температуре.

Камерлинг-Оннес измерил электросопротивление золота, платины и взялся за ртуть. И тут начались неожиданности. 28 апреля 1911 г. он сообщил Нидерландской королевской академии, что сопротивление ртути достигло столь малой величины, что «приборы его не обнаружили». 27 мая сообщение было уточнено: сопротивление ртути падает не постепенно, а резко, скачком и снижается настолько, что можно говорить об «исчезновении сопротивления».

В марте 1913 г. Камерлинг-Оннес впервые употребил термин «сверхпроводимость». Явление сверхпроводимости было открыто в начале XX в., однако только в 1957 г. Бардин, Купер и Шриффер сумели дать удовлетворительное объяснение этому явлению, построив теорию, которую ныне называют по их именам (теория БКШ).

Философия науки

Научная революция рубежа XIX–XX вв. кроме собственно качественного скачка в естествознании привела к фундаментальному пересмотру всей, казалось бы, устоявшейся картины мира, существовавших тогда взглядов на науку и научное познание. Результатами этого стали отказ от господствовавшей ранее теории механического детерминизма, изменение взглядов на роль гипотезы и факта в науке, уточнение понятий научного закона, математического пространства и времени. Это послужило базисом для дальнейшего развития точных и естественных наук.

Анри Пуанкаре

Одним из тех немногих, кто принял непосредственное участие в величайшем научном перевороте, произошедшем в начале XX в., был французский математик, механик, физик и философ Анри Пуанкаре. Разум этого ученого мог охватить все, что создано разумом других людей, проникнуть в самую суть всего, что постигла человеческая мысль, увидеть в нем нечто новое. Именно Пуанкаре сформулировал в достаточно полной и ясной математической форме все основные положения

специальной теории относительности. Особое место среди его работ занимают статьи и доклады по общим вопросам науки, которые автор отнес к разделу «Философия науки». Ценность таких произведений заключается вовсе не в суждениях философского характера, а в тех методологических выводах и обобщениях естественно-научного материала, для которых необходимы глубокие специальные знания и склонность к широкому охвату научных теорий и фактов. Именно эти обобщения и выводы ученых составляют ценнейший материал для последующего философского анализа сложных разделов точного естествознания, для историко-научных и логико-методологических исследований.

В своих книгах «Наука и гипотеза», «Ценность науки», «Наука и метод» Пуанкаре анализирует последние достижения физики, математики, механики, астрономии и рассуждает о развитии науки и научных теорий. Он превосхищает будущий методологический принцип соответствия, требующий, чтобы каждая новая физическая теория находилась в определенном соответствии со старыми законами, подтвержденными опытами.

В книге «Наука и гипотеза» Пуанкаре утверждает, что «некоторые основные начала» науки следует понимать как конвенции, т.е. условно принятые соглашения, с помощью которых ученые выбирают конкретное теоретическое описание физических явлений среди ряда различных и одинаково возможных описаний. Эти конвенции, предписания, принимаемые учеными, должны быть непротиворечивыми и должны отражать отношения между вещами.

Пуанкаре разделяет научные законы на постулаты, условные соглашения и определения: «Есть гипотезы разного рода: одни допускают проверку и, подтвержденные опытом, становятся плодотворными истинами; другие, не приводя нас к ошибкам, могут быть полезными, фиксируя нашу мысль; наконец, есть гипотезы, только кажущиеся таковыми, но сводящиеся к определениям или к замаскированным соглашениям».

Любопытны также рассуждения Пуанкаре о пространстве и времени. «Совершенно невозможно представить себе пространство пустым», – пишет он. Пуанкаре показывает, что математические понятия пространства и времени, с помощью которых описывается движение тел, являются крайним обобщением того понятия пространства и времени, которое доступно нашим органам чувств. «Зрительное пространство» не обладает практически ни одним постулируемым свойством

математического пространства: оно не бесконечно, не однородно, не изотропно. Понятия абсолютного расстояния между точками, абсолютной длительности процесса не могут существовать в принципе.

Альберт Эйнштейн

Переворот в физике, совершенный Эйнштейном, коренным образом изменил представление о мире и о познавательных возможностях самой науки. Оказалось, что результаты научного исследования, которое всегда претендовало на объективность, обуславливаются не только изучаемым объектом, но и используемым при этом методом. Но выбор метода во многом зависит от установок самого ученого, поэтому субъективный элемент неустраним из научного познания. Таким образом, наука является лишь вероятностным знанием, а ее прогнозы оказываются весьма проблематичными. Особенно это заметно там, где действуют статистические, а не динамические закономерности.

Творчество Эйнштейна начинается не с предварительной критики ньютоновской физики. Критическому повороту, который оно повлекло за собой, положили начало некоторые эксперименты, оказавшиеся непримиримыми с законами ньютоновской физики. Эти законы основывались на четко сформулированном Ньютоном допущении, что существует абсолютное время, которое течет однообразно само по себе, и постоянное, неподвижное, всегда равное абсолютное пространство и что, следовательно, движение и местоположение тела также абсолютны. Исходя из этих допущений ньютоновская наука претендовала на то, что она создана единственным и вездесущим наблюдателем, божественным оком, которое может постигать события мира в их одновременности или на их абсолютной пространственно-временной отдаленности.

В противовес этой претензии, Эйнштейн выдвигал требование, что в любом случае нужно учитывать метод, посредством которого физический феномен может быть удостоверен и измерен, и метод всегда включает в себя определенные инструменты, применяемые при проведении наблюдения с определенной точки зрения. Если учесть это замечание, сразу же видно, что два события, оказывающиеся одновременными для одного наблюдателя, не являются таковыми для другого, находящегося в иной позиции, и что в любом случае пространственная или временная отдаленность между событиями зависит от системы отсчета, по отношению к которой она была определена. Это значит, что сама отдаленность является относительной, а не абсолютной,

а потому относительны также и другие физические величины, входящие в определение этой отдаленности, такие как объем, масса, ускорение, сила притяжения, электрический заряд и т.д.

Утверждаемая Ньютоном абсолютность пространства и времени делала ненужным учитывание действительных инструментов, которыми пользуется физик при наблюдении пространственно-временных феноменов. Относительность пространства и времени – неизбежное следствие требования принимать во внимание эти инструменты, т.е. *метод*, посредством которого осуществляется наблюдение. Согласно физике Эйнштейна, существует не божественное око, которое наблюдает мир, а человеческий глаз, сам подчиненный тем пространственно-временным детерминациям, которые он хочет наблюдать в природе. Различие этих детерминаций порождает различие результатов, полученных при наблюдении одного и того же феномена, который в силу этого уже не кажется «одним и тем же» в строгом смысле слова, потому что он выражен иными измерениями. И все же между этими измерениями можно установить отношения, которые позволяют превращать одно в другое, но тогда речь идет о математических отношениях, законах, не имеющих никакого сходства с физическим феноменом, к которому они относятся.

Еще одно сущностное преобразование физики, совершенное Эйнштейном, – устранение силы притяжения и приписывание гравитационных движений изогнутости пространства. Тела – это уже не реальности, отличные от силы, которая их движет, и от пространства, в котором они движутся, а лишь точки, где интенсивность силы является наибольшей. Таким образом, поле действия силы становится истинной реальностью, которую следует принимать во внимание, а управляющие им математические законы оказываются применимыми равным образом и к движению планет, и к движению субатомных частиц.

Макс Планк

Открытие Максом Планком на рубеже XIX и XX вв. кванта действия привело к революционному изменению облика физики и смежных с ней наук. Присущая окружению этого ученого приверженность простым, строгим гармоничным формам мировосприятия сказалась и на его научных построениях, и на его философских взглядах.

Планк утверждал, что для физика идеальная цель – познание реального внешнего мира, но его единственные исследовательские средства, измерения, никогда ничего не говорят ему прямо о реальном мире. Они всегда

для ученого суть только более или менее ненадежные сведения, из которых он потом пытается сделать выводы. При этом он изначально предполагает, что реальный мир подчинен определенным постижимым для нас законам, даже если нет шансов в целом познать эти законы. «Доверяя закономерности реального мира, – пишет Планк, – он (ученый. – *И.О.*) формирует систему понятий и положений, так называемую физическую картину мира, которую он при наилучшем знании и умении оформляет так, что она, будучи поставленной на место реального мира, лучшим образом, чем этот последний, предоставляет ему вышеуказанные известия. В той мере, в какой это ему удастся, он имеет право утверждать, что он действительно познал одну из сторон реального мира, хотя, конечно, это утверждение недоказуемо...» [5]. И далее: «Задача физической картины мира может быть охарактеризована и тем, что нужно установить как можно более тесную связь между реальным миром и миром чувственных переживаний» [6].

* * *

Таким образом, на рубеже XIX–XX вв., как отметил Макс Планк, можно было «повсюду ... проследить, как определенные, сами по себе полноправные, в ходе столетий укоренившиеся и потому зачастую рассматриваемые как сами собой разумеющиеся научные представления колеблются и, в конце концов, оттесняются недавно возникшими продуктивными теориями».

Примечания

1. Пуанкаре А. Ценность науки // Пуанкаре А. О науке. – М.: Наука, 1983. – С. 233.
2. Цит. по: Самин Д.К. 100 великих научных открытий. – М.: Вече, 2002. – С. 98.
3. Там же. – С. 164.
4. Кудрявцев П. С. История физики. – М., 1956. – С. 205.
5. Планк М. Позитивизм и реальный внешний мир // Вопросы философии. – 1998. – № 3. – С. 124.
6. Там же. – С. 132.

Институт ядерной физики СО РАН,
г. Новосибирск

Orlov, I.O. Scientific revolution in the late 1800s – early 1900s

The paper considers the backgrounds and the process of the scientific revolution, which took place in the late 1800s – early 1900s. Its after-effects in the field of both special sciences and philosophy of science are discussed.