

Олег Фейгин

PRO **К**ВАНТОВЫЕ чудеса



Просто... (Страта)

Олег Фейгин

PRO квантовые чудеса

«Страта»

2017

УДК 530.145
ББК 22.31

Фейгин О. О.

PRO квантовые чудеса / О. О. Фейгин — «Страта»,
2017 — (Просто... (Страта))

ISBN 978-5-9500888-2-7

В книге рассказывается об истории возникновения и ключевых проблемах современной квантовой науки, пытающейся проникнуть в невообразимые глубины материи и найти пути в иные миры, пространства и времена. Обсуждаются чудеса строения микромира, в котором перестают действовать привычные нам законы обыденной реальности, а частицы проявляют «корпускулярный дуализм», становясь чем-то средним между волнами и частицами, приобретая фантастические возможности проникать сквозь барьеры, образовывать удивительные пары, движущиеся без электросопротивления, и вообще «растворяться» в окружающей среде, оставляя после себя лишь «всплески» электромагнитного поля. Книга рассчитана на самый широкий круг читателей, интересующихся успехами современной физики и научными представлениями о строении окружающей квантовой реальности.

УДК 530.145
ББК 22.31

ISBN 978-5-9500888-2-7

© Фейгин О. О., 2017
© Страта, 2017

Содержание

От автора	6
Введение	7
Глава 1. Лучистая материя	9
Глава 2. Тайны катодных лучей	17
Глава 3. Парадокс АЧТ	21
Глава 4. Гипотеза Планка	25
Конец ознакомительного фрагмента.	26

Олег Фейгин

Pro квантовые чудеса

© Фейгин О. О., текст, 2017

© ООО «Страта», 2018

От автора

Если вы о квантовой механике знаете только то, что она «...разрешила вековую загадку таинственной страны микромира» и еще: «...перевернула все наше мировоззрение», вы знаете о ней примерно столько же, сколько знают путешественники по незнакомой стране, не изучив предварительно ее культуру и язык: они видят вокруг людей, которые спешат, смеются, машут руками, но цель их движений туристам неизвестна, а радость – непонятна. В результате же память путешественников сохраняет только яркие пятна рекламы на незнакомом языке.

Л. И. Пономарев.

По ту сторону кванта

После выхода в свет моих первых книг о драматической истории возникновения новой физики микромира – «Великая квантовая революция», «Тайны квантового мира», «Парадоксы квантового мира» и «Наука будущего» – я с сожалением думал о том, что данная тема практически исчерпана и пора переходить к популяризации других страниц бесконечно прекрасного естествознания.

Однако поток электронных писем читателей через некоторое время снова заставил вернуться к вопросам:

- Из чего же состоят элементарные частицы, такие как электрон, протон и нейтрон?
- Что будет, если бесконечно дробить частички материи, и есть ли у такого дробления предел?
- Как смогла родиться из первоатома или даже некоей элементарной частицы наша необозримая Вселенная?
- Существуют ли миры из антивещества, антигравитирующие и зеркальные?
- Что такое квантовый апокалипсис и когда его следует ожидать?
- Что может произойти при работе сверхмощного ускорителя частиц в Швейцарии? Не возникнет ли черная дыра, в которой исчезнет Земля?
- Можно ли с помощью собственного сознания управлять ходом событий в микромире и как это может изменить окружающую реальность?

Все это, к большой радости, показывает, что интерес к общедоступным научным знаниям все же не пропал. Особенно отрадно, что множество любознательных читателей не только спрашивают, но спорят и даже советуют, как лучше рассказать о современных исследованиях удивительных глубин вещества – мира квантов, атомов и элементарных частиц.

Разумеется, объяснять «на пальцах», как выглядит сотканная из суперструн и мембран вероятностная текстура пространства – времени, далеко не просто. Главным образом это связано с глубоко парадоксальным образом новой физической реальности, очень сильно отличающейся от привычной повседневности. Здесь мне постоянно приходилось лавировать между «сциллой» доступности и «харибдой» научности...

Надо заметить, что сама идея общедоступного изложения квантовых «чудес» родилась в ходе переписки с известным физиком-экспериментатором, а в то время председателем комиссии РАН по борьбе со лженаукой, академиком Эдуардом Павловичем Кругляковым (1934 – 2012).

В заключение хотелось бы подчеркнуть литературный вклад таких известных ученых-популяризаторов, как Артур Давидович Чернин, Игорь Дмитриевич Новиков, Александр Владимирович Виленкин, Андрей Дмитриевич Линде, Стивен Хокинг, Роджер Пенроуз, Мичио Каку, Брайан Грин, Ли Смолин и Дэвид Дойч.

Введение

Самое, пожалуй, удивительное в современной физике – это неожиданная связь между космосом, где галактики и звездные скопления разбросаны подобно редким пылинкам, и тесным, исчезающе малым микромиром элементарных частиц. Два полюса мироздания! На одном огромная, расширяющаяся Вселенная, на другом – не видимые ни под каким микроскопом, почти эфемерные «кирпичики» вещества. И вот оказывается, что при определенных условиях Вселенная может обладать свойствами микрочастицы, а некоторые микрообъекты, возможно, содержат внутри себя целые космические миры. Во всяком случае, так говорит теория. Большое и малое, сложное и простое – здесь все переплелось.
В. С. Барашенков. Кварки, протоны, Вселенная

Нет сомнения, что вне зависимости от профессии, возраста и образования современного человека в его культурный багаж обязательно должен входить некоторый объем физических сведений. Ведь постижение научного знания вырабатывает особый аналитический склад ума, логическое мышление и критическое отношение к действительности.

Предлагаемая книга чем-то напоминает сборник репортажей с передовой научного фронта познания тайн природы, где каждая победа над неведомым расширяет круг знания, возвеличивая человеческий разум. В отличие от страниц школьных учебников, описывающих то, что уже достоверно установлено наукой и что обязан знать каждый учащийся, в настоящей книге доступно рассказывается не только о современном окончательном состоянии какого-либо научного вопроса, но и о неоднозначных поисках, ошибках, сомнениях искателей истины.

Одним из неприятных парадоксов школьного курса физики является то, что на современную науку, включающую теорию относительности и квантовую механику, выделяется всего лишь несколько уроков. Это положение является совершенно недопустимым и отчасти объясняет значительные пробелы в знаниях выпускников средней школы и даже абитуриентов физико-математических специальностей вузов. Настоящая книга призвана хотя бы отчасти исправить сложившуюся ситуацию, будучи во многом рассчитанной на внимание учащейся молодежи. Тем не менее автор искренне надеется, что многое в ней будет интересно педагогам и читателям всех возрастов и профессий, интересующихся историей возникновения и сутью современных взглядов на окружающую реальность.

В ходе работы над рукописью, вполне естественно, как и предсказывал Козьма Прутков, объять необъятное не удалось, ведь даже выборочный перечень интересных задач современной квантовой физики с краткими комментариями составил бы отдельный солидный труд. Поэтому автор надеется еще продолжить общение со своими читателями на страницах будущих книг, рассказывающих о фантастических параллельных вселенных, квантовом Мультиверсе, подпространственных измерениях и прочих трудновообразимых вещах квантовой реальности.

Удивительно, но современные квантовые теоретики часто обращаются к творческому наследию древних мудрецов. К примеру, видный современный разработчик суперструнных сценариев эволюции Вселенной Хуан Малдасена черпает свое вдохновение в творчестве древних элеатов, создавших одну из первых античных философских школ в итальянском городе-государстве Элее.

Философские взгляды первых античных атомистов привнесли в наш мир принцип неделимых фундаментальных кирпичиков мироздания. В конце позапрошлого века «пара и электричества» возникли начала новой атомистики, родившейся из экспериментов с катодным и

рентгеновским излучением, а также радиоактивными элементами. Вскоре была открыта и первая элементарная частица – электрон.

Затем последовала «великая квантовая революция», неразрывно связанная с именем немецкого физика-теоретика Макса Планка (1858–1947). В 1919 году Планк стал нобелевским лауреатом по физике «в знак признания его заслуг в деле развития физики благодаря открытию квантов энергии». Теоретические исследования 1896–1900 годов, приведшие Планка к открытию квантов (термин «квант» также ввел он), стали толчком к созданию одного из важнейших разделов современного естествознания – квантовой физики. Именем Планка названа введенная им фундаментальная физическая константа h – «постоянная Планка», связавшая макро- и микромиры и входящая в ряд уравнений и законов в различных разделах физики. Элементарные представления о планковских квантах энергии включены в современные программы школьной физики, а о постоянной Планка сочиняют анекдоты.

Можно образно сказать, что как прошлый, так и нынешний век прошли «под знаком кванта», начиная с первой работы отца-основателя, вышедшей в 1901 году. Через несколько лет еще один выдающийся участник «квантовой революции» Альберт Эйнштейн применил гипотезу квантов энергии для объяснения фотоэффекта. Эта работа стала первым шагом к изобретению квантовых оптических генераторов (лазеров), без которых невозможно представить себе современную технику. К началу Второй мировой войны в эксперименте были обнаружены два макроскопических квантовых эффекта – сверхпроводимость и сверхтекучесть. Лазерный луч можно считать третьим таким эффектом, но его люди впервые увидели только в 1960-м. А к этому времени уже появилась такие обширные области приложений квантовой физики, как электроника и физика твердого тела.

В множестве книг и статей, посвященных Планку, отмечается, что, хотя его работы в значительной степени революционизировали физику, сам Планк в науке был скорее консерватором. Тем не менее именно глубокая приверженность принципам классической физики привела Планка к его революционному открытию. Один из создателей квантовой механики, Вернер Гейзенберг (1901–1976) писал, что революции в науке вызываются не внезапными открытиями или гениальными идеями, а, наоборот, предельной последовательностью в применении традиционных понятий. Революции, по мнению Гейзенберга, делают те ученые, которые стремятся вносить как можно меньше изменений в прежнюю науку, так как именно стремление минимизировать изменения делает очевидным, что к введению принципиально новых представлений нас толкает сама природа, а не жажда славы или оригинальности.

Именно к таким гениальным «радикальным консерваторам» и можно было бы отнести одного из основателей современной физики Макса Планка.

Настоящая книга предназначена преимущественно для массового читателя, который еще не полностью позабыл остатки школьных знаний и жаждет понять, как неизбежность квантового мира дает стимул развитию современных сложнейших, а иногда и спорных концепций физической реальности. Как и в других своих книгах: «Взорванное мироздание», «Механика машины времени», «Удивительная относительность», автор старался повсюду сосредоточиться на сути научных идей, исключив громоздкие математические детализации в пользу метафор, аналогий, исторических экскурсов и литературных иллюстраций. Таким образом, читателю предстоит заново пройти путь открытия квантового мира, получив ни с чем не сравнимое удовольствие расширения своего горизонта мировоззрения...

Глава 1. Лучистая материя

Каждая наука является зданием, воздвигнутым ценою бесчисленных усилий многих поколений исследователей. В среднем вклад каждого – это лишь крохотный камушек для строительства целого. Но иногда приходит человек, который возводит целый этаж или сносит часть здания и строит ее заново.

Г. Тирринг.

Путь теоретической физики от Ньютона до Шредингера

Двадцатого января 1896 года выдающийся французский физик, математик и философ Анри Пуанкаре (1854-1912) на очередном заседании Парижской академии наук сделал доклад об открытии еще одного вида необычного излучения. При этом он демонстрировал снимки, напоминающие рентгеновские, но полученные вблизи флуоресцирующих солей тяжелых металлов.

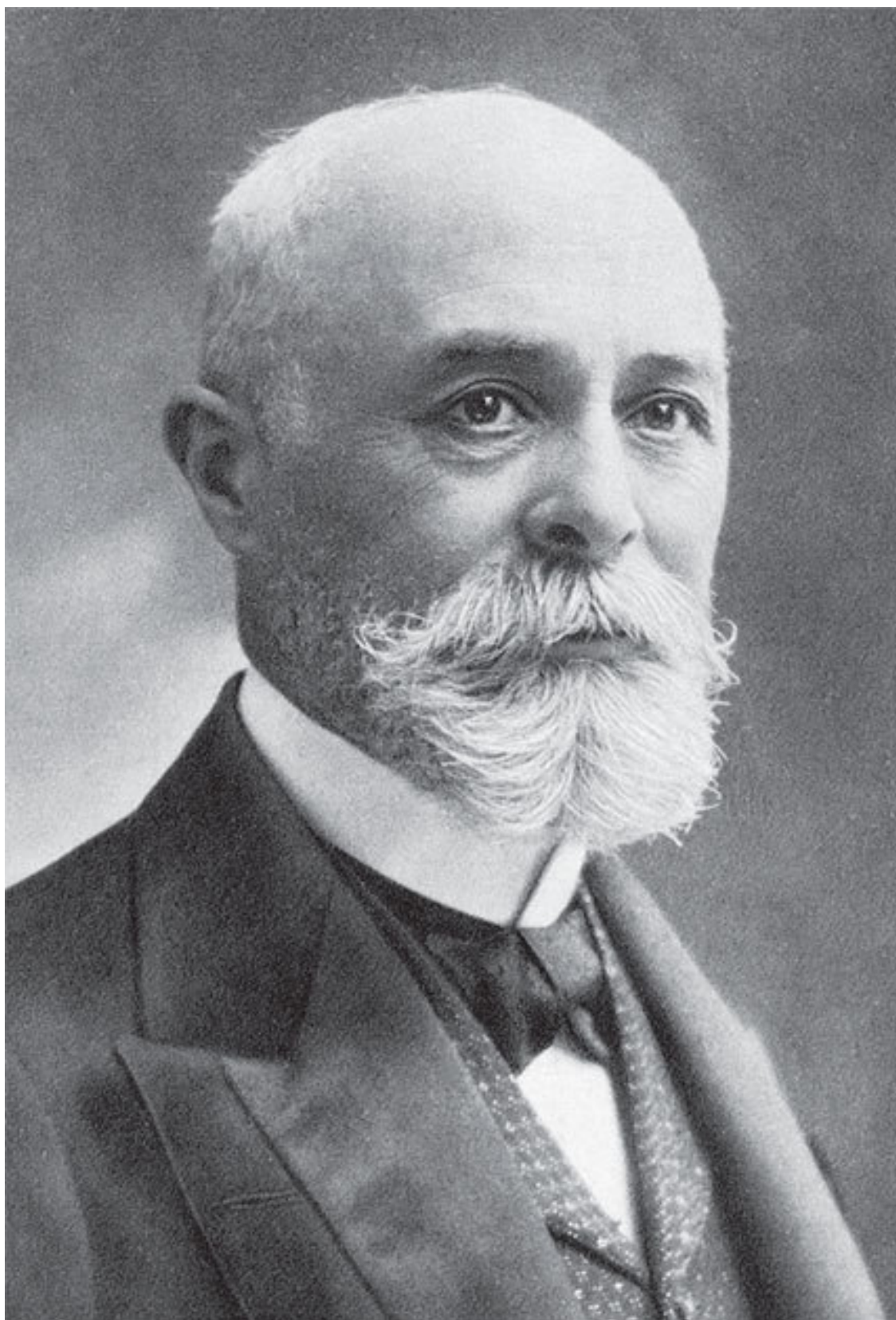
На этом знаменательном ученом собрании присутствовал Анри Беккерель, представляющий целую династию исследователей флуоресценции и фосфоресценции. Беккерель тут же взялся за проверку гипотезы Пуанкаре и вскоре уже демонстрировал парижским академикам действие люминофора сернистого цинка на фоточувствительную эмульсию, завернутую в черную бумагу. Зная о сильной флуоресценции солей урана, Беккерель использовал двойной сульфат уранита калия; обернув фоточувствительную пластинку плотной черной бумагой, он положил на нее металлический экран с причудливым узором из соли урана. После многочасовой экспозиции в прямых солнечных лучах пластинка была проявлена, и на ней очень четко запечатлелись «урановые узоры». Проверочные опыты полностью подтвердили результаты Беккереля. Двадцать четвертого февраля 1896 года он в присутствии самого Пуанкаре сделал доклад на очередном заседании академии.

Это сообщение было воспринято как безусловное подтверждение теории Пуанкаре, но Беккерель интуитивно чувствовал тут какую-то недосказанность и продолжал свои исследования. Как-то раз он приготовил все для очередной солнечной экспозиции, но погода испортилась, и ученый отложил оборудование до лучших времен. Через несколько дней Беккерель решил возобновить свои опыты, но предварительно он, руководствуясь импульсом, решил проявить неиспользованные пластинки, прошедшие несколько дней в темном шкафу вблизи солей урана. Каково же было его восторженное изумление, когда на проявленных фотопластинках четко выступили контуры образцов минералов!

Получалось, что данный минерал засвечивал фотопластинку некими совершенно невидимыми лучами, которые испускались без всякой внешней подсветки и к тому же легко проникали через непрозрачные экраны. После длинной серии повторных опытов 2 марта 1896 года Беккерель решился сообщить о своем удивительном открытии на очередном заседании Парижской академии наук. Во множестве последующих экспериментов, где кроме Беккереля принимали участие и другие физико-химики, было открыто, что таинственные лучи могут испускать только различные соединения урана. Отсюда и возникло их название – «урановые лучи», или «излучение Беккереля». Кроме всего прочего, излучение оказалось феноменально устойчивым и могло месяцами ионизировать воздух и разряжать заряженные лепестки электроскопа. Поздней осенью 1896 года Беккерель подвел первые итоги своих исследований и со всей определенностью констатировал, что излучательной способностью в разной мере обладают как практически все урановые соединения, так и сам уран. Причем их излучательные свойства совершенно не зависят от химического и физического состояния урансодержащих препаратов.

В 1897 году к исследованиям Беккереля присоединились и другие ученые, прежде всего супруги Пьер и Мария Кюри. Мария Склодовская-Кюри даже сделала радиоактивные явления главной темой своей докторской диссертации. А уже в апреле 1898 года была опубликована первая статья супругов Кюри по радиоактивности, где собственно и вводился данный термин, быстро завоевавший всеобщее признание. Позднее в своей докторской диссертации Мария Склодовская-Кюри писала, что с самого начала поставила себе цель поиска иных радиоактивных веществ, аналогичных по своим излучающим свойствам урану.

Супруги Кюри превратили заброшенный сарай парижской школы промышленной физики и химии в самую настоящую радиологическую лабораторию, проводя в ней титаническую работу по обогащению урановой руды. Это был очень опасный и изнурительный труд, хотя вначале исследователи только смутно догадывались о вредоносном воздействии радиоактивного излучения. В конечном итоге именно смертельная передозировка «урановых лучей Беккереля» и привела к безвременной кончине Марии Склодовской-Кюри.



Антуан Анри Беккерель (1852–1908)

...26 и 27 февраля солнце появлялось лишь изредка, так что я прекратил эксперименты и поместил незавернутые пластинки в ящик стола, а соли урана оставил на том же месте.

Солнце не появлялось в течение нескольких последующих дней, поэтому я проявил пластинки 3 марта, ожидая увидеть лишь слабые изображения. А силуэты медного экрана, напротив, оказались чрезвычайно отчетливыми...

С 3 марта по 3 мая эти соли урана находились в свинцовом контейнере, который хранился в темноте... Но и при этих условиях соли продолжали активно излучать... Все урановые соли, которые я исследовал, независимо от того, фосфоресцировали они или нет на свету или в растворе, дали сходные результаты. Тогда я вынужден был сделать заключение, что наблюдаемый эффект связан с присутствием в этих солях элемента урана.

А. Беккерель.

Фосфоресценция соли урана – бисульфата урана-натрия

Между тем в 1898 году физический раздел июльского выпуска докладов Парижской академии наук открывался статьей супругов Кюри «О новом радиоактивном веществе, содержащемся в смоляной руде». В ней приводились методы химической сепарации радиоактивных соединений, без всякого преувеличения положившие начало всей современной радиохимии. Само новое радиоактивное вещество было названо «полоний» в честь родины Марии Кюри. Полоний оказался феноменально активным на то время, поскольку его излучающая способность более чем в четыре сотни раз превосходила активность урана. А в декабре того же года появилась новая работа супругов Кюри, озаглавленная «Об одном новом, сильно радиоактивном веществе, содержащемся в смоляной руде». В ней рассказывалось об открытии нового, очень сильно радиоактивного вещества с химическими свойствами, напоминающими барий, а хлористое соединение нового элемента более чем в 900 раз превышало активность урана. В самом спектре загадочного соединения была обнаружена линия, не принадлежащая ни одному из известных веществ и отождествленная супругами Кюри с новым радиоактивным элементом, названным ими «радий». Согласно точке зрения, высказанной Марией Кюри в этой работе, открытие полония и радия завершило новый этап в истории радиоактивности.



Пьер и Мария Кюри в лаборатории

Я измеряла напряженность урановых лучей, пользуясь их свойством сообщать воздуху электропроводность... При этих измерениях употреблялась металлическая пластинка, покрытая слоем уранового порошка... Торий и его соединения имеют то же свойство... Таким образом, уран, торий и их соединения испускают беккерелевы лучи. Вещества, обладающие этим свойством, я назвала радиоактивными. С тех пор это название стало общепринятым.

М. Кюри.

Пьер Кюри

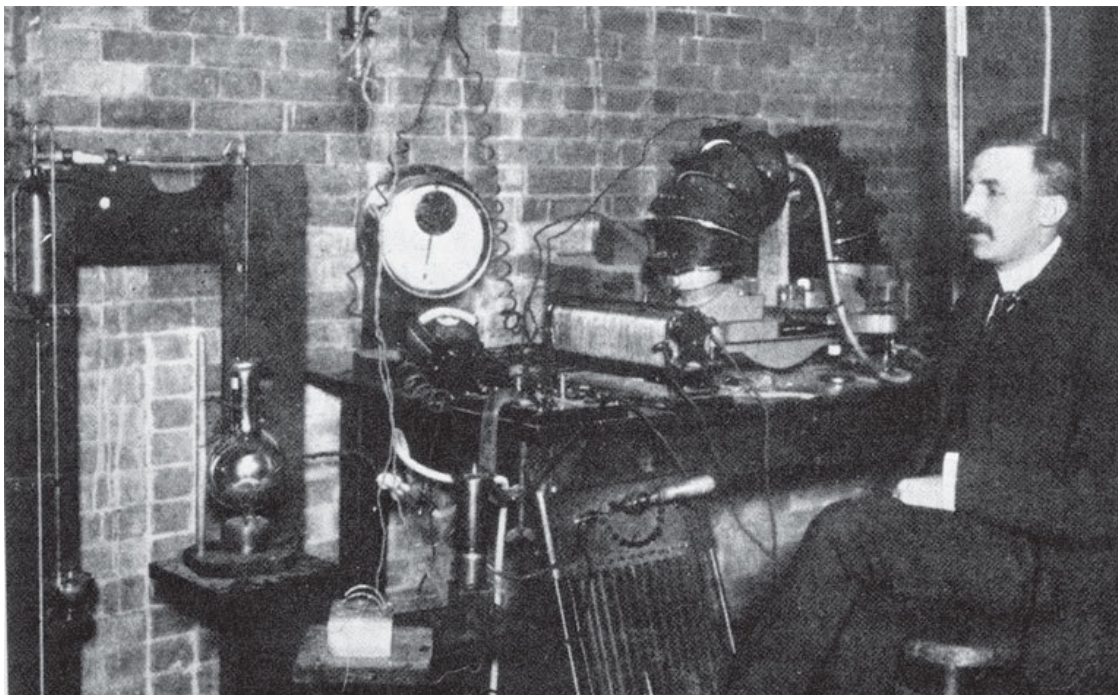
Супруги Кюри отмечали по этому поводу, что радиоактивность является свойством атомов, сохраняющимся во всех химических и физических состояниях вещества. Затем в одной из работ, написанных после смерти Пьера, Склодовская-Кюри уточняла, что радиоактивность урановых и ториевых соединений представляется именно спецификой их атомных свойств, связанных с наличием именно атомов радиоактивных элементов, которая не уничтожается ни переменной физической состоянием, ни химическими преобразованиями.

Научное сообщество полностью разделяло этот вывод выдающихся ученых, и уже в декабре 1903 года Беккерель и супруги Кюри стали лауреатами Нобелевской премии.

После подтверждения в сотнях опытов радиоактивности атомов урана, тория, полония и радия ученые вплотную занялись исследованием природы радиоактивного излучения. Первым достиг успеха молодой физик-экспериментатор из Новой Зеландии Эрнест Резерфорд (1871–1937). После переезда в Кембридж ему удалось обнаружить сложный состав радиоактивных лучей, и в публикации 1899 года «Излучение урана и вызываемая им электропроводность» он наглядно показал электрическими методами, что излучение урана имеет довольно сложный состав. В своих опытах Резерфорд использовал массивный воздушный конденсатор, пластины которого были покрыты порошком солей урана. Измеряя скорость разряда, исследовалось ионизирующее действие урановых лучей. Впоследствии Резерфорд подчеркивал, что именно эти опыты убедительно доказали, что излучение урана принципиально неоднородно по составу и в нем присутствуют по крайней мере два типа радиационного излучения. Одно из них, характеризующее сравнительно интенсивным поглощением, ученый назвал для удобства «альфа-излучение», а другое, с высокой проникающей способностью – «бета-излучение».

После открытия радиоактивности тория Резерфорд сразу же приступил к исследованию нового элемента и вскоре обнаружил, что альфа-излучение тория обладает большей проникающей способностью, чем аналогичное излучение урана. Кроме этого оказалось, что радиация тория довольно неоднородна по своему составу и в ней присутствуют какие-то странные лучи большой проникающей способности. Однако точного анализа излучения тория Резерфорд проводить не стал, и позже уже другие исследователи окончательно выделили сильно проникающее слабое излучение, названное «гамма-лучами».

Оказалось, что все три разновидности радиоактивного излучения отличаются не только проникающей способностью. В 1900 году сразу несколько экспериментаторов показали, что бета-лучи отклоняются магнитным полем в ту же сторону, что и катодное излучение. Это позволило Резерфорду прямо говорить о бета-лучах как о потоках электронов. А в феврале 1903 года он успешно показал, что и неотклоняемые альфа-лучи на самом деле испытывают воздействие достаточно сильных магнитных и электрических полей. По сравнению с катодными лучами альфа-излучение отклонялось в противоположную сторону, что позволило сделать вывод о их составе из положительно заряженных частиц, к тому же движущихся с очень высокой скоростью.



Эрнест Резерфорд экспериментирует с радиоактивным излучением

Соединения тория непрерывно испускают какие-то радиоактивные частицы, сохраняющие радиоактивные свойства в течение нескольких минут...

По своим фотографическим и электрическим действиям эманация похожа на уран. Она способна ионизировать окружающий газ и действует в темноте на фотопластинку при экспозиции в несколько дней...

Эманация возбуждает в любом твердом веществе, расположенном рядом, радиоактивность, которая со временем исчезает, и в некотором смысле это и есть непосредственная причина возбуждения радиоактивности...

Э. Резерфорд, Ф. Содди.

Радиоактивное превращение

Подытожив все известные факты, Склодовская-Кюри в 1903 году привела в своей докторской диссертации «Исследования о радиоактивных веществах» знаменитую «веерную» схему структуры радиоактивного излучения, испытывающего разное отклонение в магнитном поле. Затем последовали открытия супругами Кюри полония и радия, в ходе которых было установлено, что лучи, испускаемые этими веществами, действуя на радиационно-неактивные вещества, способны сообщить им радиоактивность и что эта наведенная радиоактивность сохраняется в течение достаточно длительного времени.

Несколько позже Резерфорд, изучая радиоактивность соединений тория, писал, что эти соединения, кроме обычных радиоактивных лучей, выделяют еще и некие частицы, которые он назвал «радиационной эманацией». Резерфорд на опытах с соединениями тория подтвердил явление наведенной радиоактивности, наблюдаемой за год до этого Склодовской-Кюри. Далее он показал, что между эманацией тория и индуцированной радиоактивностью имеется определенная связь, а его последователи наглядно продемонстрировали, что радий может точно так же испускать эманацию, как и торий.

В 1902 году вышла совместная статья Резерфорда и английского радиохимика Фредерика Содди «Причина и природа радиоактивности». В работе исследовалась способность соединений тория генерировать радиоактивную эманацию, которую авторы выделяли химическими способами из гидроокиси тория. В заключение отмечалось, что получен активный компонент, «обладающий специфическими химическими свойствами и активностью по меньшей мере в 1000 раз большей активности вещества, из которого он был выделен».

В результате скрупулезных исследований Резерфорд и Содди пришли к выводу, что «радиоактивность тория в любой момент есть радиоактивность двух противоположных процессов:

- 1) образования с постоянной скоростью соединением тория нового активного вещества;
- 2) уменьшения со временем излучающей способности активного вещества.

Нормальная или постоянная радиоактивность тория есть равновесное состояние, при котором скорость роста радиоактивности, обусловленная образованием нового активного вещества, уравнивается скоростью уменьшения радиоактивности уже образовавшегося вещества».

При этом ученые обращали внимание на связь радиоактивности с гелием, который, по их мнению, мог являться конечным продуктом распада. Весной 1903 года вышли новые работы Резерфорда и Содди: «Сравнительное изучение радиоактивности радия и тория» и «Радиоактивное превращение». В них уже со всей определенностью утверждалось, что все изученные случаи радиоактивного превращения, если не учитывать испускаемые лучи, сводятся к образованию одного вещества из другого. Причем когда происходит несколько превращений, они

происходят не одновременно, а последовательно. Далее Резерфорду и Содди удалось сформулировать закон радиоактивного превращения:

Во всех случаях, когда отделяли один из радиоактивных продуктов и исследовали его активность независимо от радиоактивности вещества, из которого он образовался, было обнаружено, что активность при всех исследованиях уменьшается со временем по закону геометрической прогрессии...

Скорость превращения все время пропорциональна количеству систем, еще не подвергнувшихся превращению...

Относительное количество радиоактивного вещества, превращающегося в единицу времени, есть величина постоянная.

Данную постоянную распада Резерфорд и Содди первоначально называли «радиоактивная константа».

Открытие Резерфорда и Содди позволило сделать важнейший вывод о принципиальной возможности существования еще неоткрытых радиоактивных элементов, которые легко будет опознать по их радиоактивности, даже в весьма незначительных количествах.

В том же 1903 году в Париже Пьер Кюри со своими сотрудниками сумел измерить теплоту, самопроизвольно выделяемую солями радия. «Непрерывное выделение такого количества тепла, – отмечал Кюри, – никак не может быть объяснено только обычными химическими метаморфозами. Если искать причину образования тепла в каких-то внутренних превращениях, то эти превращения должны быть более сложной природы и должны быть вызваны какими-то изменениями самого атома радия». Правда, вначале супруги Кюри допускали возможность и какого-то другого механизма выделения энергии, полагая, что, к примеру, радиоактивные элементы могут черпать энергию из внешнего пространства. В качестве аргумента они предлагали схему, по которой радиоактивные элементы «постоянно пронизывались некими еще неизвестными радиациями, которые при встрече с радиоактивными телами задерживаются ими, с преобразованием в радиоактивную энергию». К сожалению, эта замечательная гипотеза, которая вполне могла бы привести к открытию космических ливней из элементарных частиц, ионов и ядер атомов, высказанная еще в 1900 году, так и не получила дальнейшего развития.

Итак, очередной этап радиационных исследований закончился знаменательной вехой открытия закона радиоактивных превращений и нового вида энергии – атомной, проявляющейся в этих превращениях.

Глава 2. Тайны катодных лучей

Исследования, которые привели к открытию электрона, начались с попыток объяснения расхождения поведения катодных лучей под действием магнитных и электрических сил.

А. Томсон.

Прохождение электричества через газы

В 1897 году в кембриджской лаборатории Кавендиша была решена загадка катодных лучей. Молодой директор лаборатории Джозеф Джон Томсон наглядно показал корпускулярную природу катодного излучения. Неожиданное развитие получили в Кембридже и исследования с X-лучами, в которых Томсон успешно использовал ионизирующее действие рентгеновского излучения для анализа закономерностей прохождения электричества через газы. В результате этой коллективной работы, где кроме самого Томсона участвовали некоторые из его наиболее талантливых сотрудников, в 1903 году появилась классическая монография «Прохождение электричества через газы». Именно данное направление исследований в конечном итоге привело к открытию первой субатомной элементарной частицы – электрона.

В 1874 году ирландский физик и астроном Джордж Стони (1826–1911) выступил в Белфасте с докладом, в котором на основе законов электролиза Фарадея предложил «атомарную» теорию электричества. Стоней пробовал отстаивать приоритет концепции «атомов электричества», но в истории науки сохранилось утверждение, что именно Гельмгольц высказал на примере электролиза гипотезу о связи атомной валентности с минимальным электрическим зарядом. Тем не менее в ходе полемики со сторонниками Гельмгольца Стоней все же стал «крестным отцом» «атомов электричества», в 1891 году назвав носитель элементарного заряда «электроном».

Вернемся теперь к катодным лучам и вспомним, что еще в конце семидесятых годов позапрошлого века в Кавендишской лаборатории были проведены обширные серии экспериментов, показавшие, что проводимость газов скорее всего обусловлена движением потоков ионов, а сами катодные лучи возникают в результате бомбардировки катода ионами газа, ускоренными в мощном электрическом поле. Там же в 1884 году было предложено измерять удельный заряд, равный отношению заряда к массе катодно-лучевых частиц по их отклонению в магнитном поле, как потока молекул или атомов.

Тогда же исследования катодных лучей проводились в Германии, однако там опыты по электрическому отклонению катодных лучей не были признаны достаточно убедительными. В этой обстановке зреющего открытия к экспериментам с катодными лучами в 1894 году приступила «кембриджская команда Томсона», а уже через год во Франции Жан Батист Перрен (1870-1942) предложил удачный метод для определения знака заряда катодного излучения, убедительно продемонстрировав, что лучи действительно переносят отрицательный заряд. Классические эксперименты Томсона и Перрена стали тем последним и решающим аргументом в пользу признания корпускулярной природы катодного излучения как потока, состоящего из мельчайших отрицательно заряженных частиц.

Томсон со своими ассистентами и учениками, шотландским физиком Чарльзом Томсоном Рисом Вильсоном (1869–1959) и Джоном Сили Эдвардом Таунсендом (1868–1957) разработали уникальную методику получения громадного количества ионов в разряженном воздухе и других газах с помощью воздействия на вакуумированные колбы рентгеновских лучей и радиового излучения. Детально изучив диффузию и подвижность ионов, они убедительно доказали, что в пределах погрешностей экспериментов произведение концентрации газовых ионов на заряд электрона близко совпадает с аналогичной величиной для одновалентных

ионов, растворенных в электролите. При этом средний заряд ионов практически не зависел от вида газовой среды самого источника ионизации. Таким образом, элементарный электрический заряд в электролите, переносимый ионами, оказался в точности равным ионному элементарному заряду в газовой среде.

Используя электронно-лучевую трубку собственной конструкции с электродами в виде пластин конденсатора и магнитными катушками, Томсон подвергал катодный пучок попеременному действию электрического и магнитного полей. При этом ученый получил возможность надежно и достаточно точно определять отношение заряда к массе катодных лучей. Подобное отношение оказалось независимым от вида разреженной газовой среды в вакуумированной колбе и в тысячу раз большим, чем такое же отношение для водородных ионов в электролитах, полученное на основе законов электролиза. Этот результат имел ошеломляющие следствия, ведь если допустить, что заряд «катодной корпускулы» равен заряду водорода, то ее масса будет в тысячу раз меньше, чем у легчайшего атома водорода. В 1906 году Томсон сделал окончательный вывод о том, что катодные лучи состоят из заряженных частиц, а их элементарный заряд соответствует аналогичной величине одновалентных ионов и равен $1,03 \times 10^{-19}$ Кулона, при средней массе в $1 / 1700$ атома водорода.



Джозеф Джон Томсон (1856–1940)

Томсон был гениальным ученым, отличался творческим воображением и оригинальностью, его работы имели новаторский характер – они явились исходной точкой для всех дальнейших исследований.

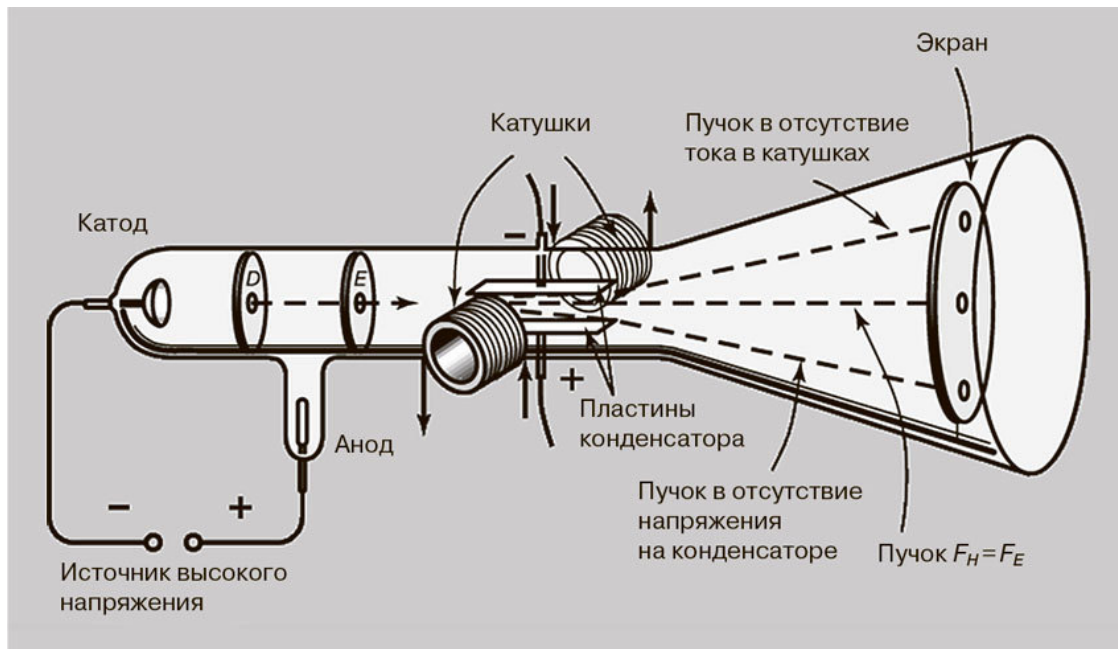
Р. Собесьяк.

Шеренга великих физиков

Между тем Томсон упорно продолжал свои исследования, перейдя к анализу отношений для зарядов к их массам уже для частиц, генерируемых ультрафиолетовым излучением и просто испускаемых накалившимся катодом. Во всех случаях порядок отношения заряд / масса оказался очень близким к катодному излучению. Эти мельчайшие частицы вещества Томсон назвал «катодными корпускулами», однако это несколько громоздкое название не удержалось.

Между тем общее признание факта существования электрона пришло лишь в 1911 году после ряда блестящих измерений элементарного заряда, выполненных американским физиком-экспериментатором Робертом Эндрюсом Миллиkenом (1868-1953), удостоенным

Нобелевской премии 1923 года «За исследования в области элементарных зарядов и фото электрического эффекта». Сам по себе термин «электрон» вошел в широкое повсеместное употребление только после того, как в 1925 году немецкие физики Джеймс Франк (1882-1964) и Густав Людвиг Герц (1887-1975) стали нобелевскими лауреатами «За открытие законов столкновений электронов с атомами».



Электронно-лучевая трубка Томсона

Сегодня считается, что именно Томсон разработал экспериментальную технику управления «электронными лучами», дополнив это физическими методами изучения положительно заряженных частиц. Именно в кембриджской лаборатории Томсона начались первые измерения элементарного электрзаряда путем наблюдения движения потоков заряженных частиц в электромагнитных полях. Так появились методы, составившие основу электронной оптики, конструированию электронных ламп, «электронных пушек» и ускорителей элементарных частиц. Под руководством Томсона были созданы модели первых массспектрометров и разработаны методики анализа и разделения изотопов. Все эти экспериментальные разработки были суммированы и тщательно классифицированы в монографии ученого «Лучи положительного электричества», вышедшей в 1913 году, положившей начало масс-спектроскопии.

Таким образом, роль Томсона и его учеников в становлении и развитии атомной и ядерной физики, а также физики элементарных частиц очень велика. Но сам Джи-Джи, как называли своего учителя и коллегу сотрудники Кавендишской лаборатории, до самого конца своего жизненного пути оставался горячим сторонником «мирового светоносного эфира», разрабатывая всяческие модели движения в этой призрачной среде и пытаясь (увы — безуспешно) найти хоть какие-либо наблюдаемые явления, свидетельствующие о реальности эфирных представлений. Так, одно время Томсон упорно пытался ошибочно интерпретировать отклонение катодного пучка в магнитном поле своей трубки как некую «эфирную прецессию» гироскопической природы, наделяя совокупность электрического и магнитного полей «эфирным вращательным моментом».

Глава 3. Парадокс АЧТ

Этот закон Кирхгофа утверждает, что если в откачанном пустом пространстве, ограниченном полностью отражающими стенками, находятся совершенно произвольные излучающие и поглощающие тела, то с течением времени устанавливается такое состояние, при котором все тела имеют одну и ту же температуру, а излучение по всем своим свойствам, в том числе по спектральному распределению энергии, зависит только от температуры, но не от свойств тел. Это равновесное излучение и есть излучение абсолютно черного тела, закон распределения которого по длинам волн спектра представляет универсальную функцию длин волн и температуры. Это так называемое нормальное распределение энергии представляет собой нечто абсолютное.

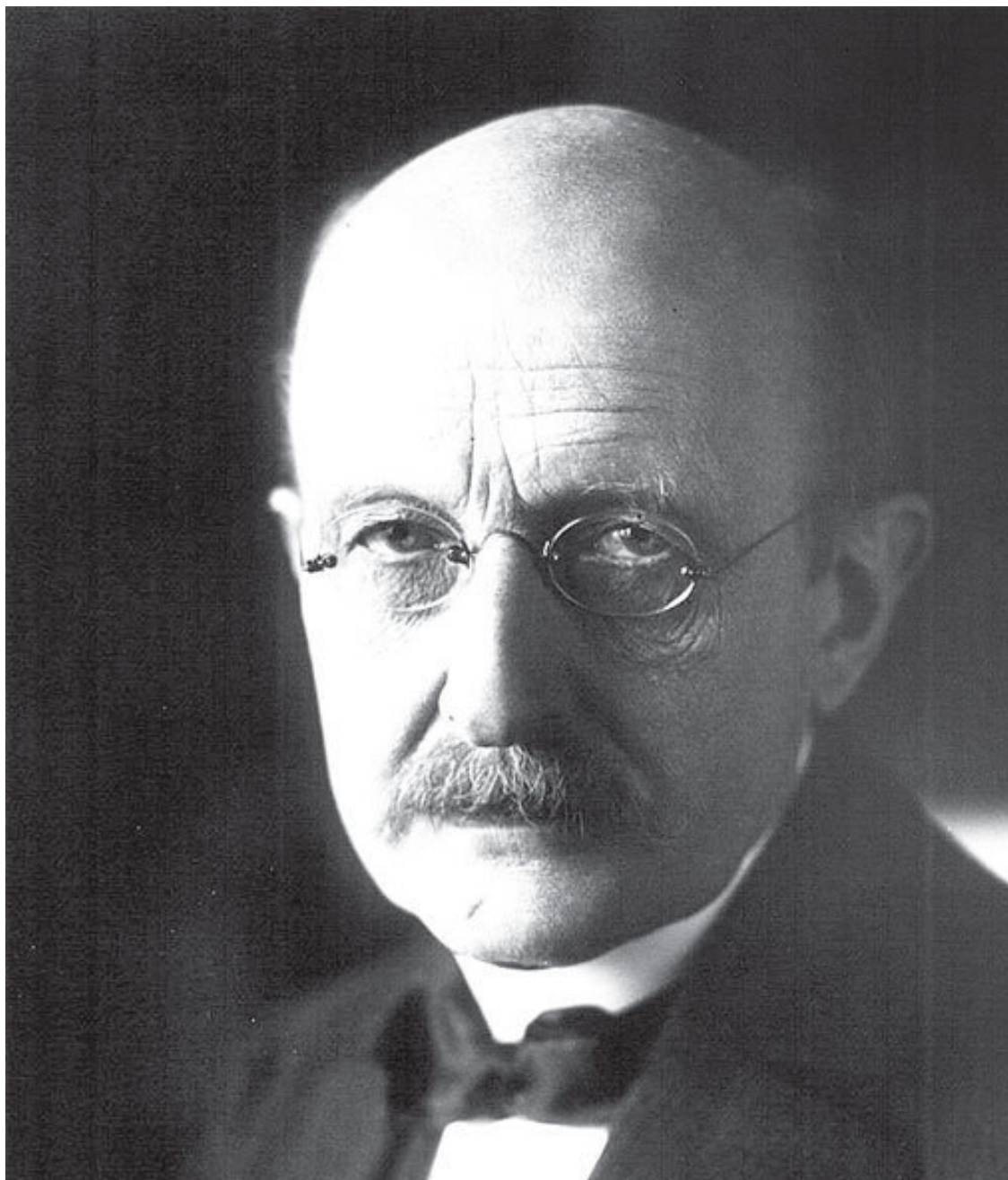
М. Планк.

Научная автобиография

Макс Планк родился 23 апреля 1858 года в городе Киле в семье профессора гражданского права. В 1867 году семья будущего ученого переехала в Мюнхен. Там Макс Планк поступил в Королевскую Максимилиановскую классическую гимназию, прекрасные преподаватели которой сумели пробудить в юноше глубокий интерес как к гуманитарным, так и к естественным и точным наукам. С 1874 по 1878 год Планк изучал физику и математику вначале в Мюнхенском, а затем Берлинском университете.

В 1879 году Планк успешно защитил докторскую диссертацию, посвященную проблемам обоснования второго начала термодинамики, и продолжал вести теоретические исследования в области термодинамики и ее приложений к физической химии и электрохимии.

В 1896 году Планк заинтересовался проблемой теплового излучения так называемого абсолютно черного тела (АЧТ), т. е. тела, которое поглощает все падающее на него излучение и ничего при этом не отражает. Однако АЧТ обязательно должно что-то излучать само, в противном случае его температура росла бы до бесконечности. Из общих соображений ясно, что АЧТ должно излучать тем больше энергии, чем выше его температура. Значит, при некоторых условиях будет достигаться термодинамическое равновесие, когда поглощается столько же, сколько излучает. Отсюда возникла интересная теоретическая задача: найти эту температуру, а главное – спектр излучаемого света. Вот тут-то классическая физика зашла в тупик: даваемый ею теоретический результат оказался практически абсурдным: энергия излучения при любой температуре получалась бесконечной, при этом ее излучалось тем больше, чем короче длина волны. Обыкновенная печка должна была бы «светить» сильнее любой рентгеновской трубки.



Макс Планк (1858-1947)

...Планк стал революционером против собственной воли. Ошеломленный неожиданными с точки зрения классической физики последствиями своего открытия, он долгое время сопротивлялся признанию вытекающих из него следствий.

Ф. Гернек.

Пионеры атомного века

История создания теории теплового излучения началась в 1859 году, когда один из основателей математической физики Густав Роберт Кирхгоф (1824-1887) открыл основные закономерности теплового излучения, обосновав их с помощью принципов термодинамики, и сформулировал понятие абсолютно черного тела. Вскоре пришло понимание, что испускательные способности АЧТ имеют универсальное значение. Грубо говоря, АЧТ все поглощает во всех мыслимых энергетических диапазонах и совершенно ничего не излучает, этим и оправдывая свое название.

Через два десятилетия словенский физик, математик и поэт Жозеф Стефан (1835-1893) на основе измерений, сделанных французскими учеными, обосновал вывод, что в модели АЧТ полная энергия всех длин волн может быть пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры излучающей поверхности. При этом коэффициент подобной пропорциональности является универсальной константой.

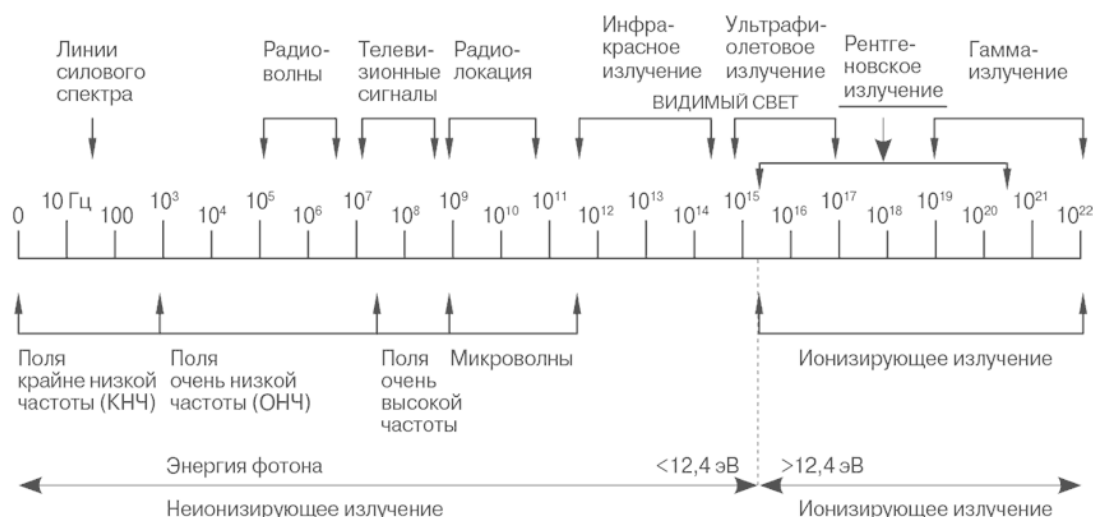
Стефан сформулировал свой закон в 1879 году, а через пять лет его вывел теоретически Людвиг Эдуард Больцман (1844-1906), ученик Стефана. Для этого он применил к излучению хорошо известные законы термодинамики, исходя при этом из понятия светового давления, равного, согласно исследованиям Максвелла, для однородного (изотропного) потока энергии одной трети ее объемной плотности. Так возник закон излучения АЧТ Стефана – Больцмана, а входящая в него универсальная константа названа постоянной Стефана – Больцмана.

Русский физик Владимир Александрович Михельсон (1860-1927) в 1887 году применил принципы термодинамики, электромагнитную теорию света и кинетическую теорию материи для теоретического объяснения распределения энергии в спектре АЧТ. В том же году в «Журнале Русского физико-химического общества» была опубликована его статья «Опыт теоретического объяснения распределения энергии в спектре твердого тела». В своей работе русский ученый широко использовал экспериментальные данные, полученные американским астрофизиком Самуэлем Ланглеем (1834-1906) в ходе исследования инфракрасных лучей с помощью изобретенного им болометра – прибора для измерения энергии электромагнитного излучения, основанного на зависимости электрического сопротивления от температуры. Опираясь на результаты Ланглей и давние работы английского астронома немецкого происхождения Фридриха Вильгельма Гершеля (1738–1822), построившего энергетический спектр солнечного излучения, Михельсон блестяще провел теоретический анализ распределения энергии в непрерывном спектре. При этом он неоднократно подчеркивал, что полученные им теоретические графики «обладают всеми без исключения общими свойствами, какие указывает Ланглей, описывая свои экспериментальные кривые», такими, как наличие максимумов, которые смещаются по мере повышения температуры в сторону коротких волн.

К сожалению, русскому физику не удалось дать точную формулировку закона смещения, это сделал в 1893 году Вильгельм Вин (1864–1928).

В том же году русский теплофизик Борис Борисович Голицын представил в ученый совет Санкт-Петербургского университета диссертацию «Исследования по математической физике», содержащую новые взгляды на теорию теплового излучения. В своей работе ученый впервые доопределил понятие «температура излучения», которая долгое время представлялась весьма спорной, поскольку довольно парадоксальным образом отождествлялась с некоей «равновесной температурой эфирной среды».

Дальнейшее развитие теоретической физики полностью доказало правоту Голицына, а сам эфир был раз и навсегда исключен из научной картины мира как совершенно ложное понятие. Таким образом, Голицыну принадлежит неоспоримая историческая заслуга привнесения в науку важнейшего понятия температуры излучения. Впрочем, в его диссертации содержались и другие серьезные результаты, во многом предвосхитившие более поздние исследования Вина и Рэлея – Джинса. Среди прочего русский ученый, основываясь на выводах Михельсона, дал оригинальную трактовку так называемой «ультрафиолетовой катастрофе», непреложно следовавшей из классической теории излучения. Выяснилось, что чем выше частота и короче длина излучения, тем больше его доля внутри АЧТ. Однако чем выше частота волнового процесса, тем большая энергия им переносится, и, соответственно, мы сразу же приходим к «катастрофическому» выводу о том, что энергия излучения внутри АЧТ должна стремиться к бесконечности. А поскольку высокочастотная часть излучения лежит в ультрафиолетовой области спектра, данный физический парадокс и получил название «ультрафиолетовая катастрофа».



Спектр электромагнитного излучения в современном представлении

Совокупность всех длин электромагнитных волн образует непрерывный спектр излучения от сверхнизких до сверхвысоких частот. В центральной части спектра расположен участок видимого света от инфракрасного до ультрафиолетового излучения.

Чтобы понять этот физический парадокс с таким устрашающим названием (на деле, конечно же, никакой катастрофы не происходит), представим себе модель АЧТ в виде массивной емкости, покрытой сверху черным бархатом, с зеркальной внутренней поверхностью. Луч света может проникнуть в такой объем только через узкую горловину, при достаточно малом входном отверстии он навсегда остается внутри, бесконечное количество раз отражаясь от стенок. С микроскопической точки зрения поглощенный АЧТ свет должен взаимодействовать с атомами внутренней зеркальной поверхности, последовательно захватываясь ими и испускаясь до момента достижения состояния полного равновесного насыщения. В процессе нагрева АЧТ до равновесного состояния баланс интенсивности испускания и поглощения внутреннего излучения и переизлучения постепенно уравнивается, поскольку при поглощении определенного количества энергии определенной частоты одним атомом всегда статистически найдется другой атом, в тот же момент испускающий точно такое же количество энергии той же частоты.

Глава 4. Гипотеза Планка

Представьте себе горняка, который с напряжением всех своих сил ведет разведку благородной руды и которому однажды попадается жила самородного золота, причем при ближайшем рассмотрении она оказывается бесконечно богаче, чем можно было предполагать заранее. Если бы он сам не натолкнулся на этот клад, то, безусловно, вскоре посчастливилось бы его товарищу...

М. Планк.

Речь на торжественном юбилейном заседании Немецкого физического общества

Для решения парадокса «ультрафиолетовой катастрофы» Планк придумал красивый вычислительный прием: не прибегая к «тяжелой артиллерии» в виде интегрального исчисления, как делали все другие занимавшиеся этой проблемой физики, просто просуммировать отдельные порции энергии, полагая их конечными. Он надеялся получить ответ, который не будет зависеть от величины отдельной порции. А вместо этого получил точное значение каждой из них – $h\nu$, где ν – частота излучения, а h – постоянная Планка, имеющая размерность действия, т. е. произведения энергии на время. Сам Планк называл эту постоянную «квантом действия». Согласно современным данным $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Дж \times с. Днем рождения квантовой теории принято считать 14 декабря 1900 года, когда на заседании Прусской королевской академии наук Планк сделал доклад «К теории распределения энергии излучения нормального спектра».

Буквально тут же, следующей ночью, его коллеги, физики-экспериментаторы Рубенс и Курлбаум, проверили формулу Планка и наутро восторженно поздравили ученого с тем, что на всех участках спектра излучения опытные данные вполне удовлетворительно соответствовали его формуле. Впрочем, как впоследствии не раз скромно указывал Планк, метод подбора его формулы содержал «только формальный смысл удачно угаданного закона».

Как физик-теоретик, Планк не мог считать свою работу законченной без объяснения смысла своей формулы. После двух месяцев тяжелых раздумий он пришел к парадоксальному выводу, что элементы внутренней поверхности АЧТ излучают и поглощают энергию порционно! Ну, а сами энергетические порции описываются простейшей формулой: $\Delta E = h\omega$, где h – новый коэффициент пропорциональности, а ω – частота тепловых колебаний. По законам классической физики интенсивность может падать с увеличением их частоты по экспоненте. При этом высокочастотные колебания будут вносить незначительный вклад в общее количество излучаемой тепловой энергии. Так разрешился парадокс несостоявшейся «ультрафиолетовой катастрофы». Закон излучения Планка изумительно точно описывал процессы излучения, что позволило быстро определить значение коэффициента h , получившего название «постоянная Планка».

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

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

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