Пермский государственный педагогический университет

Реферат по теме

**Эволюция представлений**

**о строении атома.**

**Есть ли предел**

**системе элементов Менделеева?**

Выполнил студент 141 группы

Попов Илья

#### Пермь 2002

ОГЛАВЛЕНИЕ

Возникновение атомистики 3

Атомистика в послеаристотелевскую эпоху 5

Дальнейшее развитие атомистики (XIX в.) 5

Периодический закон. Есть ли граница системы элементов Менделеева? 6

Интерпретация периодического закона 9

Aтом Резерфорда-Бора 10

Модели atоma до бора 10

Открытие атомного ядра 11

Atom бора 13

Возникновение квантовой механики (1925— 1930 гг) 16

Трудности теории бора 16

Идеи де Бройля 18

Открытие спина 18

Список использованной литературы 19

# Возникновение атомистики

Вопрос о строении окружающего мира всегда волновал человека. Начало современной науке о строении вещества было положено в античном мире, работами древнегреческих ученых разных школ – ионийской, элеатской, пифагорейской.

Идея первичной материи (праматерии) ионийцев была очень привлека­тельной и неоднократно в той или иной форме возрождалась в физике.

Пытливое мышление древних греков построило концепцию элементов, из которых по­строена Вселенная. Впервые эта кон­цепция была выдвинута Эмпедоклом (около 490—430 гг. до н.э.). «Эмпедокл,—говорил грече­ский философ и историк науки Тео-Фраст, — предполагает четыре матери­альных элемента, а именно: огонь, воз­дух, воду и землю; эти элементы, бу­дучи вечными, изменяются по числу и величине путем соединения и раз­деления. Существуют два начала, при помощи которых элементы при­водятся в движение — Любовь и Вражда, ибо элементы должны подвергаться двоякому дви­жению, а именно: то соединению путем Любви, то разделению путем Вражды».

Таким образом, все разнообразие вещей, по Эмпедоклу, обусловлено сочетанием четырех различных эле­ментов, а причиной изменения в при­роде является действие притягательных и отталкивательных сил, которые у Эмпедокла носят названия—Любовь и Вражда.

Существенно, что Эмпедокл ясно утвер­ждал всеобщее начало сохранения. Его элементы вечны и неразруши­мы. «Ничто не может произойти из ничего, и никак не может то, что есть, уничтожиться». С этого принципа Эмпедокла и начинается история законов сохранения, игра­ющих такую фундаментальную роль в современной физике.

С V в. до н.э. центр греческой науки сконцентрировался в Афинах. Здесь появи­лись первые науч­ные школы. Здесь учил матема­тик Гиппократ, философ и физик Анаксагор (около 500—428 гг. до н. э.), создавший учение о «семенах» всех вещей и движущем начале «нус» (дух), сообщившем элементам мате­рии вращательное движение, в ре­зультате которого образовалась Земля и все вещи.

Анаксагор был современником основателей атомистики Левкиппа и Демокрита (около 460-370 гг. до н.э.).

Демокрит написал множество про­изведений по различным отраслям науки: математике, физике, фило­софии и др. Основные положения теории Демо­крита воспроизводятся во многих современных книгах по физике и философии почти одними и теми же словами:

1. Из ничего не происходит ничего. Ничто существующее не может быть разрушено. Все изменения происходят благодаря соединению и разложению частей.

2. Ничто не совершается случайно, но все совершается по какому-нибудь основанию и с необходимостью.

3. Не существует ничего, кроме ато­мов и чистого пространства, все другое только воззрение.

4. Атомы бесконечны по числу и бесконечно разнообразны по форме. В вечном падении через бесконечное пространство большие, которые падают скорее, ударяются о меньшие; возни­кающие из этого боковые движения и вихри служат началом образования мира. Бесчисленные миры образу­ются и снова исчезают одни рядом с другими и одни после других.

5. Различие между вещами проис­ходит от различия их атомов в числе, величине, форме и порядке; качествен­ного различия между атомами не су­ществует. В атоме нет никаких «внут­ренних состояний»; они действуют друг на друга только путем давления и удара.

6. Душа состоит из тонких, гладких и круглых атомов, подобных атомам огня. Эти атомы наиболее подвижны, и движения их, проникающие в тело, производят все жизненные явления.

Атомное учение, пройдя через века, выдержало ожесточенную борьбу с идеализмом и стало основой всего современного естествознания.

В учении атомистов играет сущест­венную роль принцип сохранения, ко­торый, как мы видим, был уже у ионийцев. Новым моментом является допущение пустоты. Ни у ионий­цев, ни у пифагорейцев, ни у элеа-тов пустоте нет места.

В системе Демокрита нет места для какого-то «разума», производящего дви­жение частиц, движение атомов веч­но и не нуждается в особом нача­ле. Движущиеся в пустом бесконеч­ном пространстве атомы, сталкива­ясь друг с другом, производят все вещи и бесчисленные миры. Пустое бесконечное пространство Демок­рита - это совершенно новый эле­мент картины мира, и его появле­ние вызвано успехами геометрии.

Сам Демокрит был крупным ма­тематиком. В математических доказательствах Де­мокрита огромную роль играла ато­мистика. Атомами линии были точ­ки, атомами поверхности — линии, атомами объемов—тонкие листки.

Успехи геометрии формировали представление о пустом пространстве, лишенном каких-либо чувственно осязаемых свойств. Линии, поверхности, геометрические тела ста­новились абстрактными образами, чи­стой формой. Пространство, свойства которого в дальнейшем описал Евклид, является чистой протяженностью, лишенной материального содержа­ния, и ареной движения атомов, вместилищем всех тел природы. Со­гласно учению атомистов бесконеч­но пустого пространства и атомов достаточно для описания разно­образных явлений мира, в том, числе социальных и психических. Учение атомистов—монистическое учение, по которому материя и дви­жение—основы бытия.

К 431—404 гг. до н.э. наступил упадок Афин и афин­ской демократии. Происходили глубо­кие изменения в идеологии. Матери­алистическая система ионийцев и ато­мистов вытеснилась идеалистической философией Сократа (469—399 гг. до н.э.) и его ученика Платона (427—347 гг. до н.э.). Обще­ство ощущало потребность в систе­матизированном научном знании, и на долю ученика Платона, знаменитого мыслителя древности Аристотеля выпа­ла задача составить систематический свод научных знаний своего времени.

Научное наследие Аристотеля огромно. Оно образует полную энцикло­педию научных знаний своего вре­мени. Пожалуй, ни один ученый не оказы­вал такого длительного и глубокого вли­яния на развитие человеческой мысли, как Аристотель. Его воззрения прини­мались за истину в течение ряда столе­тий. В средневековых европейских уни­верситетах естествознание излагалось по Аристотелю, которого называли предтечей Христа в истолковании природы.

Он признавал объективное существо­вание материального мира и его по­знаваемость. Но одновременно он верил в существование богов, про­тивопоставлял земной и небесный миры, искал высшую цель приро­ды и т. п.

Аристотель был крестным отцом науки о мире. Название его книги, посвященной исследованию природы («физика»), стало названием физиче­ской науки.

Существенным моментом в пред­ставлении Аристотеля о материи явля­ется то, что она сама по себе служит только возможностью возникновения реальной вещи, некоторым пассивным началом природы. Для того чтобы вещь стала реальностью, она должна полу­чить форму, которая превращает воз­можность в действительность. Вся­кая вещь есть единство материи и формы, в природе происходят по­стоянные переходы материи в форму, формы в материю. Отсюда возни­кает учение Аристотеля о четырех действующих причинах: 1) мате­риальной; 2) формальной; 3) произво­дящей; 4) конечной. Активная произ­водящая причина есть движение, ко­нечная — цель.

Учение о четырех причинах полу­чило большое распространение в сред­ние века, став краеугольным камнем схоластики.

В своей «физике» Аристотель по­дробно разбирает взгляды своих пред­шественников — ионийцев, элеатов, Анаксагора, Левкиппа и Демокрита на первоначала мира. Он критикует воз­зрения атомистов, признающих пу­стоту и бесчисленное множество ато­мов и миров, так как, по его мнению, эта точка зрения приводит к логи­ческим противоречиям. Бесконечное мыслимо только в возможности («по­тенциальная бесконечность»), ре­альный мир конечен и ограничен и построен из конечного числа эле­ментов.

Понятие пустоты, по Аристотелю, также ведет к противоречиям с действи­тельностью. Правильно подметив, что среда оказывает сопротивление движе­нию и тем большее, чем она плотнее, Аристотель приходит к выводу, что бесконечное разреженное пустое про­странство приводило бы к бесконеч­ному движению. Это, по его мнению, невозможно. В отсутствие сопротив­ления скорость тела была бы беско­нечной, что также невозможно. Лю­бопытно, что другим аргументом против пустоты является совершен­но правильный вывод Аристотеля об одинаковой скорости падения всех тел в пустоте, равно как и вы­вод о бесконечном инерциальном дви­жении. В реальных условиях движе­ние конечно и тела падают с разной скоростью. Аристотель полагает, что, чем тяжелее тело, тем быстрее оно падает.

Пустота, невесомость, по Аристо­телю, неестественны, невозможны. Аристотелевский физик—это человек, живущий в воздушной среде на непод­вижной Земле, в поле тяготения этой Земли и не мыслящий мир без этих атрибутов. В соответствии с повседнев­ными представлениями Аристотель принимает геоцентрическую систему мира и концепцию ограниченной Все­ленной, расслоенной на сферы движе­ния небесных светил.

Естествознанию предстояло пройти длительный путь поисков и борьбы, чтобы прийти к иному миропони­манию.

## Атомистика в послеаристотелевскую эпоху

Войны Александра Македонского изменили лицо древнего мира и при­вели в соприкосновение греческую и восточную цивилизации. Из этого кон­такта возник сплав культуры, игра­ющий большую роль в мировой истории.

В истории науки и культуры древ­него мира начался новый период, полу­чивший название эллинистического, продолжавшийся от образования эллинистических госу­дарств (конец IV—начало III в. до н.э.).

Последним блестящий представитель афинской науки был Эпикур (341—270 гг. до н. э.), развивший учение Демокрита о при­роде.

Учение Эпикура о природе основано на концепции атомов Демокрита, но несколько отличном. Значителен размах атомной теории. Существованием атомов Эпи­кур, а за ним и Лукреций пытаются объяснить все естественные, психиче­ские и социальные явления. Само представление об атомах выводится из хорошо известных фактов. Так, белье сохнет потому, что под действием солнца и ветра от него отрываются невидимые частицы воды, рука медной статуи у городских ворот, к которой прикасаются в поцелуе губы входя­щих в город, заметно тоньше по сравнению с другой рукой, так как при поцелуе губы уносят частицы меди.

Атомы находятся в беспорядочном движении, и Лукреций рисует модель движения атомов, уподобляя его дви­жению пылинок в солнечном луче, ворвавшемся в темную комнату. Это первая в истории науки картина моле­кулярного движения, написанная древним автором. Само хаотическое движение атомов Эпикур объясняет иначе, чем Демокрит. Эпикур не признает различия в ско­рости падения малых и больших ато­мов; в пустом пространстве все частицы движутся с одинаковой скоростью. Но в некоторые моменты самопроиз­вольно возникают случайные небольшие отклонения той или иной частицы от прямолинейного пути. Эти отклонения Эпикур считал необходимыми, чтобы объяснить свободную волю людей, так что атомы как бы также обладают некоей «свободой воли».

Гениальные догадки древних атомистов предопределили будущий успех атомной теории материи.

Атомистика Эпикура — Лукреция продолжала линию научного развития доаристотелевского периода. Но атомистика послеаристотелевской эпохи носит и существенно новые черты: она более конкретна, более «физична», чем теория Аристотеля и атомистика Демокрита. Атомы Де­мокрита по существу чисто геометри­ческие образы, они характеризуются только формой и объемом. У Эпикура и Лукреция атомы обладают весом, плотностью (твердостью) и, наконец, внутренней способностью к само­произвольным отклонениям от пря­молинейного движения.

Естествознание в эту эпоху стало переходить из сферы отвлеченно­го, философского размышления о природе в сферу конкретных фактов и явлений.

Евклид (жил в III в. до н.э.) подыто­жил и систематизировал математичес­кие знания своих предшественников, из коих его учителем был знаменитый ученый Евдокс Книдский. «Начала» Евклида представляют собой изложе­ние той геометрии, которая известна и поныне под названием евклидовой геометрии.

Евклидово пространство пустое, безгра­ничное, изотропное, имеющее три измерения. Евклид придал мате­матическую определенность атомис­тической идее пустого пространства, в котором движутся атомы. Простей­шим геометрическим объектом у Ев­клида является точка, которую он определяет как то, что не имеет частей. Другими словами, точка— это неделимый атом пространства.

## Дальнейшее развитие атомистики (XIX в.)

Всеобъемлемость принципов термо­динамики, открытых и разработанных к этому времени и, в частности, второго начала, заставляла физиков-теоретиков искать причины универсальной мощи термодинамики.

В результате в науке возникли два направления: феноме­нологическое и атомистическое. Фено­менологическое направление не счи­тало необходимым искать более глубо­ких причин физических процессов, оно ограничивало задачу изучения приро­ды описанием явлений на основе экс­периментально установленных принци­пов. Энергетики Гельм, Оствальд и другие считали энергию основным по­нятием науки, а такие понятия, как «ма­терия», «сила», производными и даже излишними.

Что касается представления об ато­мах и молекулах, то энергетики, а так­же венский физик Эрнст Мах, один из видных сторонников феноменологи­ческого направления, считали эти пред­ставления продуктами чистой фанта­зии, аналогичными представлениям о ведьмах и привидениях.

Однако такие видные представители науки, как Клаузиус, Максвелл, а затем Больцман, с успехом разрабатывали молекулярно-кинетическую теорию.

Максвелл, Клаузиус, Больцман, Гиббс, развивая физическую атомистику, иска­ли законы, управляющие поведением коллектива атомов и молекул, делая по возможности простые гипотезы о строе­нии самих атомов. В XIX в. единствен­ным средством наблюдать взаимодей­ствия атомов и определять их индивиду­альные особенности были химические реакции. Именно в недрах химической атомистики родилась первая гипотеза о строении всех атомов из атомов водо­рода (Проут, 1815).

В 1859 г. было сделано важное открытие в оптике, физик Густав Кирхгос (1824-1887) и химик Роберт Бунзен (1811—1899) открыли спектральный ана­лиз, давший в руки химикам новое мощное средство исследования.

# Периодический закон. Есть ли граница системы элементов Менделеева?

В 1869 г. уже было известно 63 химических элемента. В этом же году Д.И.Менделеев открыл фундаменталь­ный закон распределения элементов в систему, которую он назвал периоди­ческой системой химических элементов.

До этого на протяжении более ста лет в научном мире господствовала картина мира, которую вполне выразил 1808 году своим трудом «Новая система химической философии» Джон Дальтон.

Уже было известно, что водород, кислород, сера и другие вещества – простые тела состоят из атомов одного сорта, а вода, аммиак, углекислый газ и др. – сложные, созданы комбинацией атомов разных веществ. Это вполне подтверждалось опытами того времени.

Химические реакции, по Дальтону, заключаются в том, что атомы вступают друг с другом в разные комбинации, образуя «сложные атомы» (молекулы), затем эти молеку­лы распадаются, образуются новые молекулы и т. д., по­добно тому как танцоры, переходя от одного танца к другому; образуют новые комбинации. Но сами атомы при этом остаются неизменными и вечными: меняется только их распределение.

«Каждая частица воды,— гово­рит Дальтон в своей „Химической философии",— в точ­ности похожа на любую другую частицу воды; каждая частица водорода в точности похожа на любую другую частицу водорода и т. д. Химическое разложение и хи­мическое соединение означают лишь то, что атомы уда­ляются друг от друга или же снова сцепляются вместе. Но химик не способен уничтожить материю или создать ее вновь. Пытаться создать или уничтожить хотя бы один атом водорода так же безнадежно, как пытаться приба­вить еще одну планету к Солнечной системе или уничто­жить какую-нибудь из существующих планет. Все, что мы можем сделать,— это разъединить атомы, соединив­шиеся или сцепившиеся друг с другом, или же соеди­нить те атомы, которые сейчас находятся на большом расстоянии друг от друга».

«Химическая философия», изложенная в этих строках Дальтона, действительно стала философией целого ряда поколений химиков и физиков. Невозможность создания хотя бы одного нового атома данного химического эле­мента, невозможность превращения одних атомов в дру­гие — все это было необходимым выводом из всего огром­ного опытного материала, на котором основывалась науч­ная химия.

В этом пункте Дальтон не совсем сходился с Бойлем, который в 1661 году писал, что хотя атомы остают­ся неизменными при всех химических явлениях, но тем не менее когда-нибудь будет найден некий «сильный и тонкий агент», с помощью которого удастся разбить атомы на более мелкие части и превратить одни атомы в дру­гие.

Эта мысль Бойля казалась Дальтону чистой фантази­ей: ни один химический факт не указывал на то, что атомы возможно разбивать на части и превращать друг в друга.

 В 1816 грду неожиданно нашелся один сторонник Бойля, пытавшийся под­твердить ее фактами. Это был Уильям Праут, который напечатал в жур­нале «Философские анналы» статью, где обращал особенное внимание на тот факт, что все атомные массы, которые определил Дальтон, выража­ются целыми числами. Это — очень замечательный факт, говорил Праут, ведь если бы атомы всех химических эле­ментов были первичными, основными частицами, подлин­ными «кирпичами мироздания», неразложимыми на частя и нисколько не связанными друг с другом, то какая могла бы быть причина того, что атом азота ровно в пять раз превосходит по массе атом водорода, а атом кислоро­да — ровно в семь раз?

Мнение Праута вот ка­кое: атом азота, который, по Дальтону, ровно в пять раз превосходит по массе атом водорода,— это и есть пять атомов водорода, очень тесно сцепленных друг с другом; атом кислорода — это семь атомов водорода, тесно сцеп­ленных друг с другом; атом ртути—это 167 тесно при­жавшихся друг к другу водородных атомов и т. д. Выходит, что все на свете состоит в конечном счете из водо­рода.

А чем же объяснить, что все-таки в химических опытах никак не удается, например, разложить кислород на водород? Очень просто, отвечает Праут, все дело в том, что когда семь атомов водорода сцепляются, чтобы образовать атом кислорода, то они сцепляются гораздо теснее, чем тогда, когда, например, атом водорода и атом кислорода сцепляются, чтобы образовать молекулу воды. Поэтому-то в химических опытах и удается разложить мо­лекулу воды на атом водорода и атом кислорода, но ни как не удается разложить атом кислорода на семь атомов водорода.

Статья Праута была очень убедительна,— многие по­верили в то, что водород есть действительно «первичное вещество», из которого состоит все на свете. Одна только была беда — те химические анализы, основываясь на ко­торых Дальтон вычислил свои атомные массы, были очень уж неточны. Если провести анализы тщательнее и вычис­лить атомные массы точнее, то окажутся ли они по-преж­нему целыми числами?

За грандиозную работу точного определения атомных масс взялся знаменитый шведский химик Йене Якоб Берцелиус. Берцелиусу, больше чем кому-нибудь другому, химия обязана тем, что она стала точной наукой. В течение своей жизни Берцели­ус проанализировал больше двух тысяч различных хими­ческих соединений, и результаты его анализов отличаются от самых точных теперешних результатов не больше чем на 1—2%.

Берце­лиус стремился определить состав молекулы так, чтобы удовлетворительно объяснить возможно большее число хи­мических фактов. Таким образом Берцелиус обнаружил, например, что молекула воды состоит не из двух атомов, а из трех — одного кислородного и двух водородных, что молекула аммиака состоит из четырех атомов — одного азотного и трех водородных, и т. д. Все это привело к тому, что хотя работы Берцелиуса и дали блестящее под­тверждение основных идей Дальтона, но полученные Дальтоном конкретные цифры — атомные массы — оказа­лись сплошь неверны.

Таким образом, гипотеза Праута, ко­торая была основана на том, что атомные массы элемен­тов — точные целые числа в то время не подтвердилась.

|  |
| --- |
| Таблица химических элементов, их символов и атомных масс \*) |
| № | Название и символ | Ат. масса | №  | Название и символ | Ат. масса |
| 1 | Водород Н | 1,008 | 37 | Рубидий Rb | 85,468 |
| 2 | Гелий Не | 4,003 | 38 | Стронций Sr | 87,62 |
| 3 | Литий Li | 6,941 | 39 | Иттрий Y | 88,906 |
| 4 | Бериллий Be | 9,012 | 40 | Цирконий Zr | 91,22 |
| 5 | Бор В | 10,811 | 41 | Ниобий Nb | 92,906 |
| 6 | Углерод С | 12,011 | 42 | Молибден Мо | 95,94 |
| 7 | Дзот N | 14,007 | 43 | Технеций Те | 98,906 |
| 8 | Кислород 0 | 15,9994 | 44 | Рутений Ru | 101,07 |
| 9 | Фтор F | 18,998 | 45 | Родий Rh | 102,905 |
| 10 | Неон Ne | 20,179 | 46 | Палладий Pd | 106,4 |
| 1112 | Натрий Na Магний Mg | 22,990 24,305 | 47 48 | Серебро Ag Кадмий Cd | 107,868 112,40 |
| 13 | Алюминий AI | 26,981 | 49 | Индий In | 114,82 |
| 14 | Кремний Si | 28,086 | 50 | Олово Sn | 118,69 |
| 15 | Фосфор Р | 30,974 | 51 | Сурьма Sb | 121,75 |
| 16 | Сера S | 32,06 | 52 | Теллур Те | 127,60 |
| 17 | Хлор С1 | 35,453 | 53 | Йод I | 126,905 |
| 18 | Аргон Аг | 39,948 | 54 | Ксенон Хе | 131,30 |
| 19 | Калий К | 39,098 | 55 | Цезий Cs | 132,905 |
| 20 | Кальций Са | 40,08 | 56 | Барий Ва | 137,33 |
| 21 | Скандий Sc | 44,956 | 57 | Лантан La | 138,906 |
| 22 | Титан Ti | 47,90 | 58 | Церий Се | 140,12 |
| 23 | Ванадий V | 50,941 | 59 | Празеодим Рг | 140,908 |
| 24 | Хром Сг | 51,996 | 60 | Неодим Nd | 144,24 |
| 25 | Марганец Мп | 54,938 | 61 | Прометий Рш | 146 |
| 26 | Железо Fe | 55,847 | 62 | Самарий Sm | 150,4 |
| 27 | Кобальт Со | 58,933 | 63 | Европий Ей | 151,96 |
| 28 | Никель^ Ni | 58,70 | 64 | Гадолиний Gd | 157,25 |
| 29 | Медь Си | 63,546 | 65 | Тербий ТЬ | 158,925 |
| 30 | Цинк Zn | 65,38 | 66 | Диспрозий Dy | 162,50 |
| 31 | Галлий Ga | 69,72 | 67 | Гольмий Но | 164,930 |
| 32 | Германий Ge | 72,59 | 68 | Эрбий Ег | 167,26 |
| 33 | Мышьяк As | 74,922 | 69 | Туллий Тш | 168,934 |
| 34 | Солен Se | 78,96 | 70 | Иттербий Yb | 173,04 |
| 35 | Бром Вг | 79,904 | 71 | Лютеций Lu | 174,97 |
| 36 | Криптон Кг | 83,80 | 72 | Гафний Hf | 178,49 |

Заметим все же, что очень многие атомные массы, особенно в начале табли­цы, весьма близки к целым числам, иногда в точности им равны, например, у фтора и углерода, а иногда от­личаются от них меньше чем на 0,01, например, у водо­рода, гелия, азота, натрия и т. д. Это странное обстоя­тельство заставляет как будто отнестись с некоторым вни­манием к гипотезе Праута, так как трудно себе предста­вить, чтобы это могло быть результатом чистого случая, но тем не менее такие атомные массы, как у магния или хлора, не говоря уже о многочисленных элементах с большими атомными массами, все-таки принуждают от­бросить предположение о том, что все атомы состоят из атомов водорода.

Поэтому в XIX столетии совершенно укрепилось и распространилось представление о том, что все тела в мире состоят из этих нескольких десятков сортов атомов которые являются совершенно независимыми друг от дру­га основными элементами мироздания. Атомы вечны и неразрушимы и не могут превращаться друг в друга.

И все же, несмотря на все это, среди физиков и хи­миков продолжало жить смутное убеждение в том что между атомами различных химических элементов имеют­ся какие-то связи, что эти атомы образуют какую-то ес­тественную систему.

В 1786 году немец Н. Г. Марне напечатал книгу, озаглавленную «О числе элементов». В этой книге мистической и странной, он выражает свое глубокое убеждение в том, что «от мельчайшей пылинки солнечного луча до святейшего серафима можно воздвигнуть целую лестницу творений» и что атомы химических элементов тоже являются ступенями этой лестницы.

Эта идея Марне не могла привести ни к каким по­следствиям, пока химические элементы не были в доста­точной мере выделены и изучены. Но после того, как Каннипцаро опубликовал (в 1858 году) свою таблицу атомных масс, стремление к естественной классификации химических элементов должно было принести свои плоды.

В 1863 году англичанин Дж. А. Ньюлендс, воспользовав­шись атомными массами Канниццаро, нашел, что если расположить элементы в порядке возрастания их атомных масс, то такой список элементов естественно разлагается на октавы, т. е. на строчки по семь элементов в каж­дой, где каждый элемент обладает большим сходством с одинаковым по номеру элементом предыдущей и после­дующей октав. Приведем первые три октавы Ньюлендса:

Н, Li, Be, В, С, N, О;

F, Na, Mg, Al, Si, P, S;

С1, К, Са, Сг, Ti, Mn, Fe.

Аналогия проявляется в том, что все элементы, стоящие на втором месте в своей октаве (литий, натрий, калий), являются так называемыми щелочными металлами, обра­зующими соединения по одному и тому же типу, напри­мер дающими соли LiCI, NaCl, KC1; элементы, стоящие на третьем месте в октаве (бериллий, магний, кальций), являются так называемыми щелочноземельными металла­ми, дающими тоже похожие друг на друга, но уже иного типа соединения, например соли BeCl,MgCl, CaCl. Фтор весьма похож по своей химической природе на стоя­щий под ним хлор, азот обнаруживает некоторые анало­гии с фосфором, кислород — с серой и т. д. Заметим, впро­чем, что все получается так хорошо и убедительно лишь в первых октавах Ньюлендса: в дальнейших октавах было гораздо больше путаницы, и в некоторых случаях для ее устранения Ньюлендс позволил себе отступить от приня­того им плана и располагать элементы не совсем в поряд­ке возрастания атомной массы.

Через несколько лет после этой попытки Ньюлендса она была повторена двумя другими учеными, работав­шими над вопросом естественной классификации элемен­тов совершенно независимо друг or друга. Одним из них был Юлиус Мейер, другим—Дмитрий Ивано­вич Менделеев, профессор университета в Санкт-Петербурге. И Мейер, и Менделеев сообразили, что могут существовать и элементы, еще не открытые химиками, а поэтому, если этого требует классификация, можно оставлять в таблице пропуски, соответствующие еще не открытым элементам.

Кроме того, они сочли схему Ньюлендса с ее одинаковыми строчками чрезмерно узкой и допустили, что строчки (пе­риоды) могут становиться длиннее к концу таблицы.

Уже в четвертой строке таблицы классифика­ция потребовала оставления пустых мест. На этих пустых местах должны находиться какие-то еще не открытые эле­менты. Три таких элемента Менделеев заочно точно описал и позже они были открыты.

Также нет ничего невозможного в существовании в природе элементов с атомной массой, большей урана. В наши дни такие «трансурановые» элементы были получены искусственно.

Вполне можно утверждать, что предела таблицы не существует и получение или нахождение других трансурановых элементов – это дело будущего.

Таково, в общих чертах, учение об атомах химических элементов, созданное Дальтоном и определившее все даль­нейшее развитие химии в XIX столетии.

, с помощью которого в итоге был рас­шифрован периодический закон. Испускание а-частицы приводит к смещению радиоэлемента на два места влево в периодической си­стеме (в направлении уменьшения массы). Но прохождение радио­активных рядов через периодическую систему не прямолинейное, а зигзагообразное, так что превращающийся радиоэлемент часто возвращается назад—на то же место, которое занимал ранее в периодической системе его материнский продукт. Когда это происходит, то оказывается, что материнский радиоэлемент и его последующий продукт распада — изотоп (занимающий то же с, мое место в периодической системе) имеют одинаковые химические свойства, несмотря на различие в их атомных массах.

## Интерпретация периодического закона

В 1911 г. был сформулирован закон ра­диоактивных смещений (периодический закон), который в его законченной формули­ровке оказался чрезвычайно простым и не допускающим никаких исключений. Он стал подлинным фундаментом. Согласно этому закону, испускание β-частицы ведет к смещению радиоэлемента на одно место вправо в перио­дической системе, а испускание а-частицы — к смещению радиоэле­мента на два места в обратном направлении. Поскольку многие а-распады сопровождаются двумя последующими (β-распадами, то в таких случаях третий продукт распада всегда возвращается — на фоне периодической системы — на место исходного а-излучателя, являясь химически тождественным с ним, несмотря на разницу в четыре единицы в их атомных массах. В 1913 г. они были названы *изотопами* или *изотопными элементами;* этот термин означает, что они занимают одно и то же место в периодической системе. Изотопы двух разных элементов могут иметь одинаковую атом­ную массу, и тогда их называют *изобарами.* Реже изотопы одного и того же элемента могут иметь одинаковую атомную массу, но разную стабильность, т. е. один из них радиоактивен, а другой— нет.

Поскольку а-частица обладает зарядом в две положительные единицы, а заряд β-частицы равен единице со знаком минус, то сразу стало очевидным, что периодический закон отражает связь между химическими свойствами н внутриатомным зарядом, но не массой. В настоящее время периодический закон является in cxtcnto (повсюду) выражением, во-первых, атомной (дискрет­ной) природы электричества и, во-вторых, нового вида атомисти­ки.

# Aтом Резерфорда-Бора

## Модели atоma до бора

Но вернемся к последовательному изложению развития представлений о строении атома.

Развитие исследований радиоактив­ного излучения, с одной стороны, и квантовой теории — с другой, привели к созданию квантовой модели атома Резерфорда — Бора. Но созданию этой модели предшествовали попытки по­строить модель атома на основе пред­ставлений классической электродина­мики и механики. В 1904 г. появились публикации о строении атома, при­надлежащие одна японскому физику Хантаро Нагаока, другая— английскому физику Д. Томсону.

Нагаока исходил из исследований Максвелла об устойчивости колец Са­турна и представил строение атома ана­логичным строению солнечной систе­мы: роль Солнца играет положительно заряженная центральная часть атома, вокруг которой по установленным коль­цеобразным орбитам движутся «плане­ты»—электроны. При незначительных смещениях электроны возбуждают электромагнитные волны, периоды которых, по расчетам Нагаоки, того же порядка, что и частоты спектральных линий некоторых элементов.

В атоме Томсона положительное электричество «размазано» по сфере, в которую вкраплены, как изюм в пудинг, электроны. В простейшем атоме водо­рода электрон находится в центре положительно заряженной сферы. При смещении из центра на электрон действует квазиупругая сила электро­статического притяжения, под действи­ем которой электрон совершает колеба­ния. Частота этих колебаний опреде­ляется радиусом сферы, зарядом и мас­сой электрона, и если радиус сферы имеет порядок радиуса атома, частота этих колебаний совпадает с частотой колебания спектральной линии атома. В многоэлектронных атомах электроны располагаются по устойчивым конфигурациям, рассчитанным Томсоном. Томсон считал каждую такую конфигурацию определяющей химические свойства атомов. Он предпринял пытку теоретически объяснить периодическую систему элементов Д. И. Менделеева. Эту попытку Бор позднее назвал «знаменитой» и указал, что со времени этой попытки «идея о разделении электронов в атоме на группы сделалась исходным пунктом и более новых воззрений». Отметив, что теория Томсона оказалась несовместимой с опытными фактами, Бор тем не менее считал, что эта теория «содержит много оригинальных мыслей и оказала большое влияние на развитие атомной теории».

В 1905 г. В. Вин выступал с докладом об электронах на съезде немецких естествоиспытателей и врачей в Мюнхене. Здесь он, в частности, указывал на трудность объяснения линейчатых спектров атомов с точки зрения электронной теории. Он говорил: «Проще всего было бы понимать каждый атом как планетную систему, которая состоит из положительно заряженного центра, вокруг которого обращаются электроны как планеты. Но такая система не может быть устойчивой вследствие излучаемой электронами энергии. Поэтому мы вынуждены обратиться к системе, в которой электроны находятся в относительном покое или обладают ничтожными скоростями, хотя такое представление содержит много сомнительного».

Такой статической моделью был атом Кельвина — Томсона. И эта модель была общепринятой по причинам, указанным Вином.

В конце концов оказалось, что новые опытные факты опровергают модель Томсона и, наоборот, свидетельствуют в пользу планетарной модели, факты эти были открыты Резерфордом.

24 мая 1907 г. в Манчестере Резерфорд развернул огромную, привлекая молодых ученых из разных стран мира. Одним из его деятельных сотрудников был немецкий физик Ганс Гейгер, создатель первого счетчика элементарных частиц — счетчика Гейгера. В Манчестере с Резерфордом работали Э. Марсден, К. Фаянс, Г. Мозли, Г. Хевеши и другие физики и химики.

В Манчестер в 1912 г. приехал Нильс Бор.

В этой атмосфере коллективного научного творчества родились крупные научные достижения Резерфорда, из которых в первую очередь следует отметить разгадку природы а-час­тиц и открытие ядерного строение атома.

Сюда же следует присоединить знаменитые статьи Бора по квантовой теории планетарного атома. В Манчестере было положено начало квантовой и ядерной физике.

## Открытие атомного ядра

Уподобление атома планетной системе делалось еще в самом начале XX в. Но эту модель было трудно со­вместить с законами электродинамики, и она была оставлена, уступив место модели Томсона. Однако в 1904 г. на­чались исследования, приведшие к ут­верждению планетарной модели.

Одна из тем, выдвинутая Резерфордом в Манчестере,—рассеяние а-частиц. Она была поручена Гейгеру и Марсдену.

Метод, применявшийся для исследования, заключался в следующем: а-частицы, испускаемые источ­ником, диафрагмировались щелью попадали на экран из сернистого цинка. на котором получалось изображение щели в виде узкой полоски. Затем между щелью и экраном помещали тон­кую металлическую пластинку, изобра­жение щели размывалось, что указывало на рассеяние а-частиц веществом пластинки. Исследуя угол рассеяния, Гейгер установил, что наиболее вероятный угол рассеяния пропорционален атомному весу и обратно пропорционален кубу скорости частицы.

Но наиболее поразительным ока­зался факт, открытый Гейгером и Марсденом в 1909 г., — существование боль­ших углов рассеяния. Некоторая, очень небольшая часть а-частиц (примерно 1/8000) рассеивается на угол, больший прямого, отбрасываясь, таким образом обратно к источнику. Тонкая пластине отбрасывала частицы, летящие с боль­шой скоростью. Как раз в том же, 1909 году Резерфорд и Ройдс неопровержимо доказали, что а-частицы являются дважды ионизированными атомами ге­лия. Для таких тяжелых быстро движу­щихся частиц рассеивание на углы большие прямого, казалось весьма не­вероятным. Резерфорд говорил, что это так же невероятно, как если бы пуля отскакивала от листа папиросной бумаги.

Одно из возможных объяснений аномального рассеяния состояло в том что оно складывается из многих неболь­ших углов отклонений, вызванные атомами рассеивающего вещества.

Исходя из модели Томсона, Резер­форд подсчитал, что это не может да­вать больших отклонений даже при многих столкновениях с частицей. И здесь Резерфорд обратился к плане­тарной модели.

Когда а-частица проходит мимо заряженного ядра, то под воздействием кулоновской силы, пропорциональной заряду ядра и заряду а-частицы и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними, она движется по гиперболе, удаляясь по ее ветви после прохождения мимо ядра. Ее прямолинейный путь, таким обра­зом, искривляется, и она отклоняется на угол рассеяния *ф.*

1 марта 1911 г. Резерфорд сделал в философском обществе в Манчестере доклад «Рассеяние а- и β-лучей и строение атома». В докладе он говорил: «Рассеяние заряжен­ных частиц может быть объяснено, если предположить такой атом, кото­рый состоит из центрального электри­ческого заряда, сосредоточенного в точке и окруженного однородным сфе­рическим распределением противо­положного электричества равной ве­личины. При таком устройстве атома а- и β-частицы, когда они проходят на близком расстоянии от центра атома, испытывают большие отклонения, хотя вероятность такого отклонения мала».

Резерфорд рассчитал вероятность такого отклонения и показал, что она пропорциональна числу атомов *п* в еди­нице рассеивающего материала, тол­щине рассеивающей пластинки и вели­чине b2*,* выражаемой следующей фор­мулой:

где *Ne—* заряд в центре атома, Е—за­ряд отклоняемой частицы, *т—ее* масса, *и—ее* скорость. Кроме того, эта вероят­ность зависит от угла рассеяния ф, так что число рассеянных частиц на едини­цу площади пропорционально cosec4 (Ф/2).

Важным следствием теории Резерфорда было указание на заряд атом­ного центра, который Резерфорд поло­жил равным ± *Ne.* Заряд оказался про­порциональным атомному весу.

 В 1913 г. Гейгер и Марсден предпри­няли новую экспериментальную про­верку формулы Резерфорда, подсчитывая рассеяние частиц по производимым ими сцинтилляционным вспышкам. Из этих исследований и возникло представле­ние о ядре как устойчивой части атома, несущей в себе почти всю массу атома и обладающей положительным зарядом. При этом число элементарных зарядов оказалось пропорциональным атомному весу.

В 1913 г. Ван ден Брук показал, что заряд ядра совпадает с номером элемента в таблице Менделеева. В том же1913 г. Ф. Содди и К. Фаянс пришли закону смещения Содди—Фаянса, ее гласно которому при а-распаде радио­активный продукт смещается в менделеевской таблице на два номера выше а при β-распаде—на номер ниже. К этому же времени Содди пришел представлению об изотопах как разновидностях одного и того же элемент ядра атомов которых имеют одинаковый заряд, но разные массы.

В богатом событиям 1913 г. были опубликованы три знаменитые статьи Бора «О строении атомов и молекул», открывшие путь к атомной квантовой механике.

Томас Рис Вильсон (1869-1959) изо­брел замечательный прибор, известный ныне под названием «камера Виль­сона». Этот прибор позволяет видеть заряженную частицу по оставляемому ею туманному следу.

Позднее ученик и сотрудник Резерфорда Блэккет (1897—1974) получил вильсоновскую фотографию расщеп­ления ядра азота а-частицей, первой ядерной реакции, открытой Резерфордом.

В этом же году Бор, имевший возможность поработать с автором первой модели атома, а затем с автором планетарной модели, на основе последней создает свою теорию атома Резерфорда-Бора.

Знаменитая статья Бора, в которой были заключены основы этой теории, начиналась с указания на модели Резерфорда и Томсона и обсуждения их особенностей и различий.

Резерфорд сразу понял ре­волюционный характер идей Бора и высказал критические замечания по самым фундаментальным пунктам теории Бора. После длительных ди­скуссий статья Бора и две его после­дующие статьи были опубликованы. Однако окончательный ответ на возра­жения Резерфорда был дан только со­зданием квантовой механики.

В 1915 г. Бор опубли­ковал работы «О сериальном спектре водорода и строении атома» и «Спектр водорода и гелия», «О квантовой теории излучения в структуре атома». Он развил исследования, выполненные им в Манчестере в августе 1912 г., и опу­бликовал их под названием «Теория торможения заряженных частиц при их прохождении через вещество».

В декабре 1915 и январе 1916 г. Ар­нольд Зоммерфельд (1868—1951) развил теорию Бора, рассмотрев дви­жение электрона по эллиптическим орбитам и обобщив правила квантова­ния Бора. Зоммерфельд дал также теорию тонкой структуры спектральных линий, введя релятивистское измене­ние массы со скоростью. В его расчеты вошла безразмерная универсальная по­стоянная тонкой структуры:

Теория атома после открытия Зоммерфельда стала назы­ваться теорией Бора — Зоммерфельда.

Продолжая развивать свои идеи, Бор сформулировал принцип соответ­ствия (1918), означавший шаг вперед в ответе на вопросы, поставленные Резерфордом.

В 1922 г. Бор получил Нобелевскую премию по физике. В нобелевском докладе он развернул картину с стояния атомной теории к этому времени. Одним из наиболее существенных успехов теории было нахождения. ключа к периодической системе элементов, которая объяснялась наличие электронных оболочек, окружающих ядра атомов.

В 1925 г. работой Гейзенберга нача­лось создание квантовой механики. В том же году Уленбек и Гаудсмит, работавшие у Эренфеста, открыли спин электрона, а Паули открыл принцип, носящий ныне его имя. После открытия Гейзенбергом в 1927 г. принципа неопределенности Бор выдвинул в качестве основной теоретической идеи квантовой теории принцип дополнительности.

В 1936 г. Бор выступил со статьей «Захват нейтрона и строение ядра», в которой предложил капельную модель ядра и механизм захвата нейтрона ядром. Ядерной физике была посвя­щена также работа 1937 г. «О превра­щении атомных ядер, вызванных столк­новением с материальными частица­ми».

В конце 1938—начале 1939 г. было открыто деление урана.

## Atom бора

Бор, как и Томсон до него, ищет такое расположение электронов в атоме, которое объяснило бы его физические и химические свой­ства. Бор уже знает о модели Резерфорда и берет ее за основу. Ему известно также, что заряд ядра и число электро­нов в нем, равное числу единиц заряда, определяется местом элемента в перио­дической системе элементов Менделее­ва. Таким образом, это важный шаг в понимании физико-химических свой­ств элемента. Но остаются непо­нятными две вещи: необычайная устой­чивость атомов, несовместимая с пред­ставлением о движении электронов по замкнутым орбитам, и происхождение их спектров, состоящих из вполне опре­деленных линий. Такая определенность спектра, его ярко выраженная химиче­ская индивидуальность, очевидно, как-то связана со структурой атома.

Устойчивость атома в целом противоречит зако­нам электродинамики, согласно кото­рым электроны, совершая периодиче­ские движения, должны непрерывно излучать энергию и, теряя ее, «падать» на ядро. К тому же и характер движения электрона, объясняемый законами электродинамики, не может приводить к таким характерным линейчатым спектрам, которые наблюдаются на са­мом деле.

Линии спектра группируются в серии, они сгущаются в коротковолно­вом «хвосте» серии, частоты линий соот­ветствующих серий подчинены стран­ным арифметическим законам.

Так, Иоганн Бальмер в 1885 г. нашел, что четыре линии водо­рода На, Нβ, Нγ, Hσ имеют длины волн, которые могут быть выведены из одной формулы:

Позже было найдено еще два десят­ка линий в ультрафиолетовой части, и их длины волн также укладывались в формулу Бальмера.

Иоганн Ридберг в 1889-1900 гг. нашел, что и линии спектров щелочных металлов могут быть распре­делены по сериям. Частоты линий каж­дой серии могут быть представлены в виде разности двух членов—термов. Так, для главной серии



где *R —* некоторое постоянное число, получившее название постоянной Ридберга, s и р — дробные поправки, меняю­щиеся от серии к серии.

«Основным результатом тщатель­ного анализа видимой серии линейча­тых спектров и их взаимоотношений, — писал Бор,—было установление того факта, что частота v каждой линии спектра данного элемента может быть представлена с необыкновенной точ­ностью формулой v =T’—T”, где T' и T" — какие-то два члена из множества спектральных термов T, характеризую­щих элемент».

Бору удалось найти объяснение этого основного закона спектроскопии и вычислить постоянную Ридберга из таких фундаментальных величин, как заряд и масса электрона, скорость света и постоянная Планка. Но для этого ему пришлось ввести в физику атома представления о стационарных состояниях атомов, находясь в которых электрон не излуча­ет, хотя и совершает периодическое движение по круговой орбите.

Для таких состояний момент им­пульса равен кратному от h/2π. При пе­реходе с одной орбиты на другую электрон излучает и поглощает энергию, равную кванту. В заключительных заме­чаниях к трем своим статьям «О строе­нии атомов и молекул» Бор формули­рует свои основные гипотезы следую­щим образом:

«I. Испускание (или поглощение) энергии происходит не непрерывно, как это принимается в обычной элек­тродинамике, а только при переходе системы из одного «стационарного» со­стояния в другое.

2. Динамическое равновесие систе­мы в стационарных состояниях опре­деляется обычными законами механи­ки, тогда как для перехода системы между различными стационарными состояниями эти законы не действи­тельны.

3. Испускаемое при переходе систе­мы из одного стационарного состояния в другое излучение монохроматично, и соотношение между его частотой v и общим количеством излученной энер­гии *Е* дается равенством *E=hv,* где *h —* постоянная Планка.

4. Различные стационарные состоя­ния простой системы, состоящей из вращающегося вокруг положительного ядра электрона, определяются из усло­вия, что отношение между общей энер­гией, испущенной при образовании данной конфигурации, и числом обо­ротов электрона является целым крат­ным h/2π*.* Предположение о том, что орбита электрона круговая, равнозначно требованию, что момент им пульса вращающегося вокруг ядра электрона был бы целым кратным h/2π*.*

*5.* «Основное» состояние любой атомной системы, т. е. состояние, при котором излученная энергия макси­мальна, определяется из условия, чтобы момент импульса каждого электрона относительно центра его орбиты рав­нялся h/2π*».*

Далее Бор пишет: «Было показано, что при этих предположениях с по­мощью модели атома Резерфорда можно объяснить законы Бальмера и Ридберга, связывающие частоты раз­личных линий в линейчатом спектре».

Именно Бор получил для спектра водорода формулу:

где τ — целые числа.

«Мы видим,—пишет Бор,—что это соотношение объясняет закономер­ность, связывающую линии спектра во­дорода. Если взять τ2 = 2 и варьировать τ1, то получим обычную серию Бальмера. Если взять τ2=3, получим в инфра­красной области серию, которую наблю­дал Пашен и еще ранее предсказал Ритц. При τ2=1и τ2=4,5,... получим в крайней ультрафиолетовой и соответ­ственной крайней инфракрасной обла­стях серии, которые еще не наблюда­лись, но существование которых можно предположить ».

Действительно, серия в ультрафиолетовой области, соответствующая τ2= 1, была найдена Лайманом в 1916 г., серия в инфракрасной области, соответствующая τ2=4 была найдена Брэкетом в 1922 г., и серия τ2=5 была найдена Пфундом в 1924 г.

Используя известные в то время зна­чения *е, т, h,* Бор вычислил значение постоянной в спектральной' формуле:

тогда как экспериментальное значение равно 3,290\*1015. «Соответствие между теоретическим и наблюдаемым значе­ниями лежит в пределах ошибок изме­рений постоянных, входящих в теорети­ческую формулу», — писал Бор.

После опубликования статей Бора Фаулер обнаружил новые линии при разряде в трубке, заполненной водоро­дом и гелием, которые, по его мнению, не укладываются в серию Бора. Бор уточнил теорию, введя движение ядра и электрона около общего центра массы. Тогда:

в точном соответствии с эксперимен­том.

В последующих работах Бор непре­рывно уточнял основы своей теории. Она была дополнена принципом соот­ветствия (1918), позволяющим делать определенные выводы об интенсив­ности и поляризации спектральных линий.

Сам Бор не­однократно занимался вопросом о вли­янии магнитных и электрических полей на спектры атомов. Он же впервые включил в квантовую теорию атома и рассмотрение рентгеновских спектров, считая, что «характеристическое рент­геновское излучение испускается при возвращении системы в нормальное со­стояние, если каким-либо воздейст­вием, например катодными лучами, были предварительно удалены элект­роны внутренних колец» (1913).

Генри Мозли в 1913—1914 гг. открыл закон смещения длин волн характери­стических лучей, принадлежащих к одной и той же серии, при переходе от элемента к элементу. Частота рентге­новских лучей, определяющая их «жест­кость», возрастает с возрастанием по­рядкового номера элемента.

Первое теоретическое истолкование рентгеновских спектров на основе идей Бора состоит в том, что они обязаны переходам электронов на вакантные места во внутренних оболочках. Оно бы­ло дано Зоммерфельдом в его фунда­ментальной работе 1916 г. В том же 1916 г. П. Дебай и П. Шеррер разработа­ли новую методику рентгеновского ана­лиза кристаллов в порошке, получив­шую широкое распространение в рентгеноструктурном анализе.

Идеи Бора получили эксперимен­тальное подтверждение в опытах Джеймса Франка (1882—1964) и Густава Герца, которые начиная с 1913 г. изучали соударения электронов с атомами паров и газов. Оказалось, что электрон может сталкиваться с атомами газов упруго и неупруго. При упругом ударе электрон отскакивает от тяжелого атома (напри­мер, ртути), не теряя энергии, при не­упругом ударе его энергия теряется и передается атому, который при этом либо возбуждается, либо ионизирует­ся. Порции энергии, затрачиваемые на возбуждение атома, вполне определен­ные: так, электрон при столкновении с атомами ртути теряет энергию 4,9 эВ, что соответствует энергии кванта ультра­фиолетового света длиной волны 2537 А.

Квантовый характер поглощения энергии атомом был продемонстриро­ван в опытах Франка, Герца и других физиков с поразительной нагляд­ностью. За эти исследования, которые продолжались ряд лет, в 1925 г. Франк и Герц были удостоены Нобелевской премии.

Квантовый характер излучения и по­глощения энергии атомом лег в основу теоретического исследования о свето­вых квантах, выполненного Эйнштей­ном в 1916—1917 гг. В этом исследо­вании Эйнштейн вывел формулу Планка, исходя из представления о на­правленном излучении. Атом излучает и поглощает энергию квантами. Выстреливая квант в определенном направлении, атом сообщает ему не только энергию *hv ,* но и импульс .

При излучении молекула газа переходит из энергетического состояния Zm c энер­гией εm в состояние Zn с энергией εn излучая энергию εm - εn. Поглощая такую же энергию, молекула переходит из состояния Zn в состояние Zm. Моле­кула может перейти из состояния Zm в состояние Zn самопроизвольно, спон­танно. Вероятность такого перехода за время *dt* пропорциональна этому про­межутку времени *dt:*

Но, кроме этого спонтанного перехода, впервые введенного Бором при объя­снении спектров, по Эйнштейну, для молекул и атомов, находящихся в свето­вом поле, возможны индуцированные переходы под действием светового излучения. Вероятность такого «ин­дуцированного излучения»:

где p —объемная плотность световой энергии. Точно так же вероятность по­глощения энергии молекулой, находя­щейся в состоянии Zn и перехода ее на высший энергетический уровень Zm будет:

В равновесном состоянии атом в среднем столько же поглощает энергии, сколько и излучает. Поэтому:

где по закону статистики Больцмана число молекул, находящихся в состоя­нии Zn, пропорционально:

Из предыдущего равенства получается:

Положим *ет — en =hv,* для высоких частот, применяя закон Вина, получим формулу Планка:

Идея Эйнштейна об индуцирован­ном излучении нашла в современной физике и технике важное применение в лазерах.

Как было уже сказано, в 1916 г. Зоммерфельд обобщил теорию Бора, введя правила квантования для систем с не­сколькими степенями свободы в виде .

Он рассмотрел движение по эллип­су, введя азимутальные и радиальные квантовые числа. Введя далее простран­ственное квантование и третье кванто­вое число, он дал теорию нормального эффекта Зеемана. Наконец, он дал те­орию тонкой структуры спектральных линий и объяснение рентгеновских спектров. Все эти результаты были по­дробно разработаны им в классической монографии «Строение атомов и спект­ры», первое издание которой вышло в 1917 г. До 1924 г. включительно эта книга выдержала четыре издания. Последнее издание ее уже в двух томах вышло в 1951 г. и русский перевод— в 1956 г.

Таким образом, к 1917 г. идеи Бора получили всестороннее развитие как в работах самого Бора, так и других авто­ров. Они были экспериментально под­тверждены, и теория Бора получила всеобщее признание. Но те трудные во­просы, которые были поставлены Резерфордом, еще не были сняты, а многие трудности, с которыми сталкивалась теория в попытках рассмотреть много­электронные атомы, аномальный эффект Зеемана и многое другое, пока­зали, что в теории Бора при всех ее успехах есть серьезные недостатки принципиального характера. Трудности и противоречия накопились, и надо было искать выход.

# Возникновение квантовой механики (1925— 1930 гг)

## Трудности теории бора

Теория Бора с самого начала вызы­вала многие вопросы, остававшиеся без ответа. Эти вопросы были постав­лены Резерфордом еще при обсужде­нии рукописи его первой статьи. Как понимать сочетание идей Бора и классической механики, в кото­рой нет места для квантовых скачков, и откуда электрон знает, на какую орби­ту ему следует перескакивать?

В 1896 г. голландский физик Питер Зееман (1865—1943) произвел опыт, который пытался осуществить еще Фарадей. Пламя натриевой горелки он помещал между полюсами электромаг­нита и наблюдал в спектроскоп ее спектр. По оси электромагнита был просверлен канал, так что явление можно было наблюдать не только пер­пендикулярно силовым линиям поля (поперечный эффект), но и вдоль поля (продольный эффект). При на­блюдении поперек поля, кроме линии с частотой колебаний vo, равной часто­те колебаний в отсутствие поля, на­блюдались две линии с частотами v1=v0-Δv и v2=v0-Δv. Все три линии линейно поляризованы. Несмещенная линия соответствует колебаниям вдоль силовых линий, смещен­ные — колебаниям, перпендикулярным силовым линиям. При наблюдении вдоль поля несмещенная компонента отсутствует, смещенные линии поляризованы по кругу в проти­воположных направлениях.

Лоренц в 1897 г. дал простую теорию эффекта, исходя из представлений, что в атомах электроны совершают круго­вые движения с циклической часто­той w0. В магнитном поле на них дей­ствует сила Лоренца и частота обра­щения изменяется на величину Δw, рав­ную приближенно:

Лармор (1857-1942) в 1899 г. интер­претировал действие магнитного поля как действие поля тяжести на волчок. Волчок прецессирует вокруг направле­ния силы тяжести с угловой частотой Δw. Точно так же вращающиеся электроны в атоме прецессируют вокруг силовых линий магнитного поля с круговой частотой .

Зоммерфельд, развивая теорию Бора, ввел идею пространственного квантования. Движение электрона по орбите определяется радиальным и азимутальным квантовыми числами или главным квантовым числом *п,* оп­ределяющим энергию электрона, и побочным квантовым числом *k,* опре­деляющим форму орбиты. Положение орбиты в пространстве определяется третьим магнитным квантовым чис­лом *т.* Введение этого числа и кван­тование направлений оси по отноше­нию к магнитному полю позволяет дать объяснение эффекта Зеемана. Однако это объяснение в известном смысле было хуже объяснения, данного Лоренцем. Оно ничего не говорило о поляризации линий. Вообще теория спектров, по Бору и Зоммерфельду, говорила лишь о частотах линий и не могла объяснить их интенсивность и поляризацию. Чтобы теория могла что-то сказать об этом, Бор ввел прин­цип соответствия.

Согласно этому принципу «сущест­вует далеко идущее соответствие» меж­ду квантовым и классическим описа­нием излучения. В квантовом описании линии спектра излучения обусловлены переходами из одного состояния в дру­гое, в классическом эти линии опре­деляются разложением движения электрона в ряд Фурье. При этом, как указывает Н. Бор, «частота излучения, испускаемого при переходе между ста­ционарными состояниями, характери­зуемыми числами *п'* и *п",* большим по сравнению с их разностью, совпадает с частотой одной из компонент излучения, которую можно ожидать при избранном движении электрона в ста­ционарном состоянии на основании обычных представлений. Далее Бор пишет: «Задаваясь вопросом о более глубоком значении найденного соответ­ствия, мы вправе, естественно, ожидать, что соответствие не ограничивается совпадением частот спектральных ли­ний, вычисленных тем и другим мето­дом, но простирается и на их интен­сивности. Такое ожидание равносильно тому, что вероятность определенного перехода между двумя стационарными состояниями связана известным обра­зом с амплитудой, соответствующей гармонической компоненте».

Применение принципа соответст­вия позволило определить и поляриза­цию в нормальном эффекте Зеемана. Квантовый переход, соответствующий изменению магнитного квантового числа на ± 1, дает круговую поляриза­цию в плоскости, перпендикулярной к силовым линиям. Квантовый переход Am *= 0* соответствует линейной поляри­зации, параллельной силовым линиям.

Но нормальный эффект Зеемана представляет скорее исключение, чем норму. На опыте встречается более сложный эффект: расчленение на не­сколько компонентов (мультиплетов). Мультиплетами оказываются и линии спектров элементов. Аномальный эф­фект и мультиплетная структура спект­ров не укладывались в рамки обычной теории Бора.

С вопросом о сложной структуре линий был тесно связан вопрос о маг­нитных свойствах атома. Еще Д. С. Рож­дественский в своем докладе 15 декаб­ря *1919 г. предполагал, что дублеты п* триплеты спектральных линий обуслов­лены действием магнитных сил, вы званных движением электронов. «Маг­нитная задача должна лежать в основе задачи об атомах»,—говорил Рождест­венский.

О.Штерн (1888-1969) и В. Герлах (род. в 1889 г.) в 1921 г. пропустили молекулярный пучок через неоднород­ное магнитное поле и неопровержимо доказали наличие у атомов магнитного момента. Но детали опыта (расщепле­ние пучка на два) опять не уклады­вались в теорию Бора — Зоммерфельда.

В том же, 1921 г. А.Ланде (1888-1975) дал формальную схему описания мультиплетов с помощью векторной модели и ввел связанный с квантовыми числами *k* и s множитель Ланде. Он также получил «двойной магнетизм»: отношение между магнитным и враща­тельным моментом атомного остова (т.е. ядра и всех электронов, кроме оптического) оказалось вдвое больше того, который следует из теории Бора — Зоммерфельда. Противоречия с теори­ей Бора в ее первоначальном варианте накапливались на каждом шагу, и кван­товое описание спектроскопических фактов все более и более усложнялось.

Особенно тягостное положение со­здалось в теории света. Эйнштейн в своей классической работе 1917 г. о световых квантах сделал дальнейший шаг в сторону корпускулярной теории света. Он предположил, что атом излу­чает, «выстреливая» квант света в том или ином направлении (игольчатое излучение). При этом квант света об­ладает всеми свойствами материаль­ной частицы: энергией *Е = hv,* массой m.

Эта идея нашла блестящее под­тверждение в открытии, сделанном американским физиком Артуром Комптоном. В 1922 г. Комптон, изучая рассеяние рентгеновских лучей веществом, содержащим слабо связан­ные электроны (графитом), установил, что частота (длина волны) рассеянных рентгеновских лучей изменяется в зави­симости от угла рассеяния. С увеличе­нием угла рассеяния она уменьшается (длина волны увеличивается), излуче­ние становится более «мягким».

В 1923 г. А. Комптон и независимо от него П.Дебай дали теорию «эффек­та Комптона». Теория была основана на идее Эйнштейна: квант света сталки­вается с электроном по закону упругого удара. Применяя законы сохранения энергии и импульса, Комптон и Дебай получили формулу для изменения дли­ны волны рассеянного излучения:

Дебай написал эту формулу в несколько изме­ненном виде. Это простое и наглядное объяснение эффекта в сильной степени способствовало укреплению представ­ления о кванте света как частице, для которой Комптоном был предложен термин «фотон», ставший общеупотре­бительным.

К 1924 г. в науке о свете создалось тягостное положение, которое очень наглядно охарактеризовал О. Д. Хвольсон. Разделив мелом доску на две части Л и В, он вписал на одной стороне факты, объясняемые волновой теорией света, на другой— факты, объясняемые квантовой теори­ей. «Ни волновая, ни квантовая тео­рии,—говорил в связи с этим принимав­ший участие в съезде Эренфест,—не в состоянии охватить все области свето­вых явлений». Всеобъемлющей теории света, как это констатировал Хвольсон, не было.

В поисках выхода из тяжелого поло­жения авторы предложили даже отка­заться от требования применения зако­на сохранения энергии к отдельным актам излучения и поглощения света атомом. Однако гипотеза Бора, Крамерса и Слэтера была опровергнута экспериментами, в которых доказы­валось, что каждый акт взаимодей­ствия света с веществом подчиняется закону сохранения энергии.

## Идеи де Бройля

В 1923 г. в докладах Парижской Академии наук были опубликованы три статьи французского физика Луи де Бройля: «Волны и кванты», «Кванты света, дифракция и интерференция». «Кванты, кинетическая теория газов и принцип ферма», в которых выдви­галась совершенно новая идея, перено­сящая дуализм в теории света на сами частицы материи.

Де Бройль рассматривает некоторый волновой процесс, связанный с телом. движущимся со скоростью *v* = βс. Эта волна обладает частотой, определяемой соотношением E= *hv = mc2,* и движется в направлении движения тела со ско­ростью u=cβ.

 «Мы будем рассматривать ее лишь как фиктивную волну, связан­ную с перемещением движущегося те­ла». Де Бройль показывает далее, что для электрона, движущегося по замкну­той траектории с постоянной ско­ростью, меньшей скорости света, траек­тория будет устойчива, если на ней укладывается целое число таких волн. Условие это совпадает с квантовым усло­вием Бора. Скорость частицы *v* = ре является скоростью группы волн, обладающих частотами, мало отличающимися друг от друга и соот­ветствующими частоте — Эта волна, которую де Бройль называл «волной фазы», пилотирует движение частицы, несущей энергию *те2,* сама же фазовая волна энергии не несет. Гипотеза де Бройля позволяет «осуществить синтез волнового движения и квантов». Де Бройль утверждает наличие в природе волновых явлений и для частиц веще­ства. Он пишет: «Дифракционные явления обнаруживаются в потоке электронов, проходящих сквозь доста­точно малые отверстия. Быть может, экспериментальное подтверждение наших идей следует искать в этом направлении ».

Де Бройль указывает, что его новая механика относится к прежней механи­ке, классической и релятивистской, «так же как волновая оптика относится к геометрической». Он пишет, что пред­ложенный им синтез «представляется логическим венцом совместного раз­вития динамики и оптики со времени XVII в.».

## Открытие спина

В 1925 г. в физику было введено новое фундаментальное понятие спина. Это понятие было введено Уленбеком и Гаудсмитом, работавшими летом 1925 г. у Эренфеста в Лейдене. К этому времени В. Паули опубликовал свою ра­боту, содержащую формулировку прин­ципа запрета, носящего его имя. Паули показал, что квантовое состояние элект­рона характеризуется четырьмя (а не тремя) квантовыми числами и что в этом состоянии может быть только один электрон. Статья Паули, содержа­щая формулировку его принципа, была опубликована весной 1925 г. Еще ранее Паули указал, что для характерис­тики состояния электрона необходимо четыре квантовых числа: главное кван товое число *п,* азимутальное квантовое число *I* и два магнитных числа т, и *nif.* Гаудсмит рассказал Уленбеку об этой работе Паули. Узнав это, Уленбек высказал такую мысль, что электрон обладает еще одной степенью свободы, которая соответствует вращению элект­рона (спину).

«После его замечания о спине,— писал Гаудсмит,—мы сразу увидели, что полностью выясняется, почему *т,* всегда равно *+1/2* или *—1/2.* Далее мы увидели, что все случаи расщепления Зеемана могут быть объяснены, если приписать электрону магнитный мо­мент, равный одному целому магнето­ну Бора. Кроме того, стало ясно, что спин находится в полном соответствии с нашим новым толкованием спектра водорода».

Эренфест немедленно отправил статью Уленбека и Гаудсмита в «Die Naturwissenschaften». Она появилась в 13-м номере журнала за 1925 г. Уленбек после консультации с Лоренцем выяснил, что скорость вращения элект­рона на экваторе для требуемого гипо­тезой момента должна быть больше скорости света, и потребовал возвра­щения статьи, но было уже поздно.

Паули очень неодобрительно встре­тил статью Уленбека и Гаудсмита. Еще ранее он отнесся отрицательно к анало­гичной идее, высказанной Кронигом.

Бор и Гейзенберг, наоборот, прояви­ли большой интерес к новой гипотезе, а после того как Томас вычислил на основе гипотезы спина значение дублет­ного расщепления, Паули снял свои воз­ражения.

Таким образом, 1925 г. оказался го­дом рождения квантовой механики Гейзенберга и Дирака, годом рождения новой квантовой статистики Бозе— Эйнштейна, годом рождения принципа Паули и гипотезы спина.

# Список использованной литературы

1. П.С. Кудрявцев. «Курс истории физики» М.1982.
2. М.П. Бронштейн. «Атомы и электроны» М. 1980.
3. Г. Липсон. «Великие эксперименты в физике». М. 1972.
4. Ф. Содди. «История атомной энергетики». М. 1979.
5. К. Маколов. «Биография атома». М.1984.