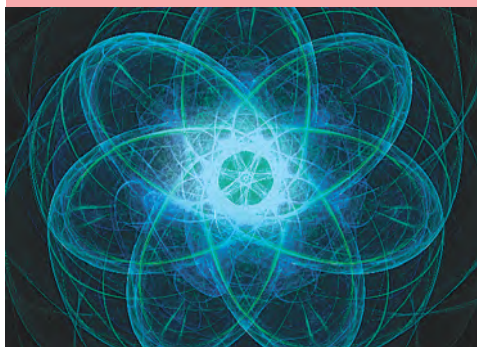




Глава 6

Физика атома

§ 30. Явления, подтверждающие сложное строение атома. Ядерная модель атома

Еще, быть может, каждый атом —
Вселенная, где сто планет;
Там все, что здесь, в объеме сжатом,
Но также то, чего здесь нет.

В. Брюсов

Попытки объяснить структуру материи привели античных исследователей к формулировке идей атомизма. Атом в переводе с греч. $\alpha\tau\omicron\mu\omicron$ (атом) означает «неделимый». Поэтому в рамках этих представлений он не имел никакой внутренней структуры. Однако по мере накопления экспериментальных данных стало понятно, что атом совсем «не прост», поскольку имеет свои составные части. Как устроен атом? Какие модели атома были предложены физиками? В чем их различия?



Атом гелия содержит положительно заряженное ядро и два электрона, которые обращаются вокруг него. Ядро атома гелия (${}^4_2\text{He}$) является α -частицей.

Древнегреческий ученый Демокрит в V в. до н. э. пришел к идее о существовании мельчайших и неделимых частиц, которые он назвал **атомами**. Спустя более 2,4 тыс. лет было доказано, что атом имеет сложную структуру. Последнее десятилетие XIX в. ознаменовалось крупнейшими открытиями в физике. Практически одновременно были открыты явление естественной радиоактивности (А. Беккерель, 1896 г.) и первая элементарная частица — электрон (Дж. Дж. Томсон, Э. Вихерт, 1897 г.). Поскольку радиоактивное излучение содержало положительно и отрицательно заряженные частицы, то естественно было предположить, что

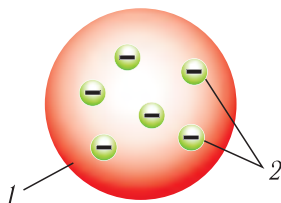
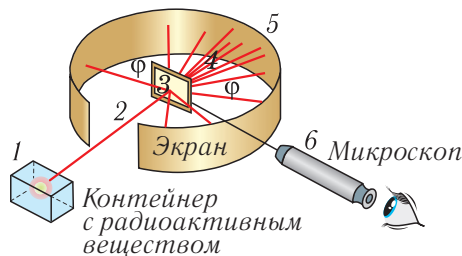


Рис. 186. Модель атома Томсона:

1 — положительно заряженный шар; 2 — электроны

Рис. 187. Схема экспериментальной установки Резерфорда по рассеянию α -частиц:

1 — источник α -частиц; 2 — α -частицы;
3 — золотая фольга; 4 — рассеянные α -частицы; 5 — сцинтилляционный экран;
6 — микроскоп

такие частицы входят в состав атомов. А с открытием электрона стало ясно, что именно электроны входят в состав атома.

В начале XX в. широкое распространение получила «пудинговая» модель атома английского физика Джозефа Джона Томсона. Согласно этой модели положительный заряд равномерно распределен по всему объему атома в виде некой однородной массы, которую Томсон называл «сферой однородной положительной электризации». Так как атом электрически нейтрален, то электроны «плавают» в этой положительно заряженной среде (как изюминки в пудинге) и полностью компенсируют ее положительный электрический заряд (рис. 186).

Для проверки справедливости этой модели атома английский физик Эрнест Резерфорд с сотрудниками в 1911 г. выполнил эксперименты, результаты которых оказались в противоречии с моделью атома Томсона.

Пучок α -частиц направлялся на тонкую золотую фольгу толщиной около 400 нм (рис. 187), что соответствовало примерно 1600 слоям атомов.

Световые вспышки от частиц, прошедших через фольгу, регистрировались на экране, покрытом специальным веществом, с помощью микроскопа.

Исходя из модели атома Томсона вследствие равномерного распределения заряда по всему объему атома ожидалось, что при столкновении α -частиц с атомами они легко пройдут через фольгу и будут незначительно отклоняться от прямолинейной траектории (рассеиваться). При

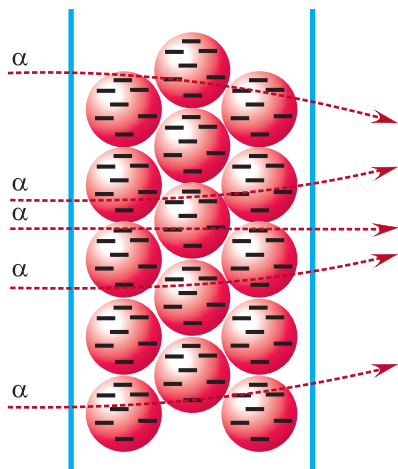


Рис. 188. Предполагаемое рассеяние α -частиц атомами золота согласно модели Томсона

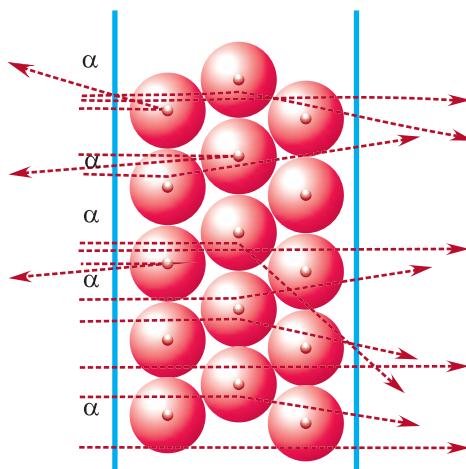


Рис. 189. Наблюдаемое рассеяние α -частиц в опытах Резерфорда

этом картина их рассеяния должна была быть примерно такой, как на рисунке 188.

Однако полученные результаты экспериментов совершенно не соответствовали результатам расчетов Резерфорда. В экспериментах значительная часть α -частиц действительно отклонялась от направления своего начального движения на малые углы θ от нуля до (4° — 6°). Но были и такие частицы, которые рассеивались на углы больше 90° (рис. 189) или даже возвращались назад. Как писал Резерфорд: «Это было почти столь же неправдоподобным, как если бы вы произвели выстрел по кусочку папиросной бумаги 15-дюймовым снарядом, а он вернулся бы назад и угодил в вас».

Примерно одна из 20 000 α -частиц испытывала отклонение на угол больше 90° , одна из 40 000 — на угол больше 120° , а одна из 70 000 — на угол больше 150° .

Из результатов экспериментов следовало, что внутри атома имеется очень сильное электрическое поле, которое создается положительным зарядом, сконцентрированным в очень малом объеме. Резерфорд предложил для этого заряда термин «ядро». Размер ядра мал, но в нем сосредоточена практически вся масса атома. При приближении положительно заряженной α -частицы к ядру, в соответствии с законом Кулона, возникает большая сила отталкивания, которая существенно изменяет траекторию α -частиц (рис. 190, а).

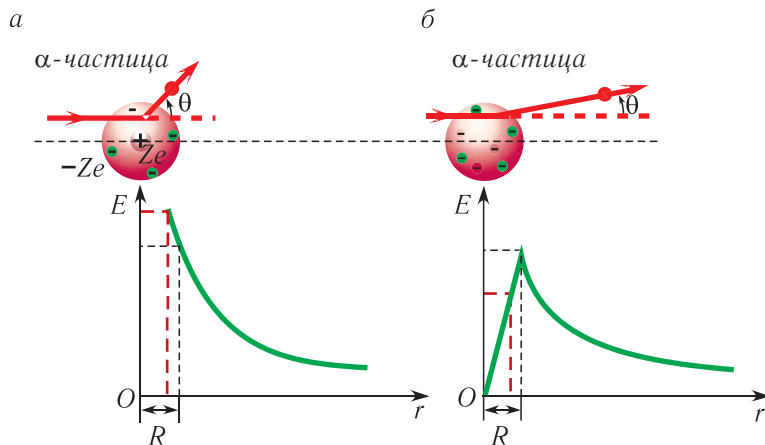


Рис. 190. Модели атома и зависимости модуля напряженности электрического поля от расстояния: *а* — ядерная модель; *б* — модель атома Томсона

В модели атома Томсона электрическое поле соответствует электрическому полю равномерно заряженного по объему шара (рис. 190, *б*), и при приближении к центру атома модуль его напряженности стремится к нулю. Таким образом, в этом случае не было бы α -частиц, рассеянных на большие углы.

На основании анализа результатов проведенных экспериментов Резерфорд в 1911 г. предложил **ядерную модель атома** (рис. 191, *а, б*), основные положения которой следующие:

1) в центре атома расположено ядро размером $d \leq 10^{-14}$ м, его заряд $q = +Ze$, где Z — порядковый номер элемента в периодической системе элементов Менделеева (рис. 191, *а*);

2) почти вся масса атома (99,96 %) сосредоточена в положительно заряженном ядре (рис. 191, *б*);

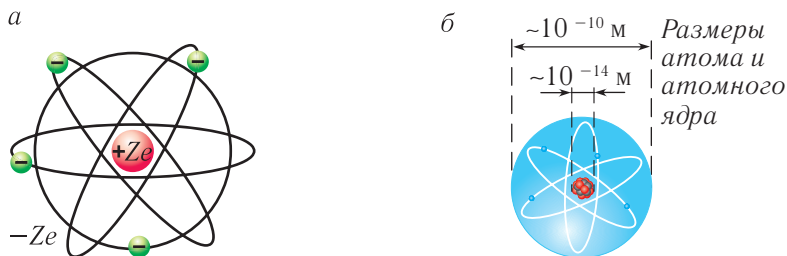


Рис. 191. Модель атома Резерфорда (ядерная модель атома)

3) ядро окружают Z движущихся электронов, образующих электронную оболочку атома. Суммарный заряд электронов $q = Z(-e)$, поэтому атом в целом электрически нейтрален.

Подчеркнем, что электроны не могут покоиться внутри атома, так как в этом случае под действием сил притяжения Кулона к ядру они упали бы на него. Отсюда следует, что электроны вращаются вокруг ядра по определенным орбитам.

Модель атома Резерфорда называют также планетарной, поскольку она напоминает нашу Солнечную систему, в которой планеты вращаются по определенным орбитам вокруг массивного центра — Солнца.

Прогрессивность ядерной модели атома заключалась в том, что на ее основании были объяснены экспериментальные данные, полученные при изучении рассеяния α -частиц. Однако дальнейший анализ показал, что она противоречила законам классической механики и электродинамики, так как не позволяла объяснить факт стабильности существования атома.

Действительно, во-первых, в соответствии с законами классической электродинамики Максвелла при ускоренном движении электронов по орбитам они должны непрерывно излучать электромагнитные волны, частота которых должна быть равна частоте вращения электронов вокруг ядра.

Во-вторых, при излучении электроны должны были терять энергию и «упасть» на ядро за промежуток времени порядка 10^{-13} с (рис. 192). В таком случае атомы должны были быть неустойчивыми и иметь очень короткое время жизни.

В-третьих, частота обращения электрона вокруг ядра (по мере приближения к ядру) должна была изменяться плавно, непрерывно, поскольку частота излучения всегда равна частоте колебаний источника. Однако в проведенных экспериментах наблюдалось скачкообразное изменение частоты излучения, т. е. набор отдельных спектральных линий, разделенных темными промежутками.

Таким образом, объяснение строения и свойств атома на основании механики Ньютона и электродинамики Максвелла не являлось полным, поскольку частично приводило к противоречиям с экспериментом.

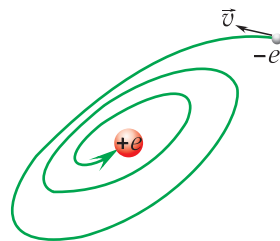


Рис. 192. Траектория «падения» электрона на ядро атома водорода

► Назвать наименьший отрицательный заряд электроном предложил в 1891 г. британский физик Джордж Джонстон Стони, а в 1897 г. ирландский физик Джордж Френсис Фицджеральд предложил использовать этот термин для названия самой частицы.

Модель атома Резерфорда с изображением электронных орбит стала популярной эмблемой XX в. Так, на рисунке 193 показана эмблема физического факультета Белорусского государственного университета.



Рис. 193. Эмблема физического факультета БГУ



1. Объясните сущность модели атома Томсона.
2. Объясните схему экспериментов Резерфорда по рассеянию α -частиц.
3. Почему фольга в экспериментах Резерфорда должна быть как можно тоньше?
4. Объясните причину рассеяния α -частиц атомами вещества.
5. Сформулируйте основные положения ядерной модели атома.
6. Изобразите схематически ядерную модель атома.
7. Почему ядерную модель атома называют также планетарной? Какие элементы модели являются аналогами планет?
8. Какие противоречия возникают при объяснении процессов излучения энергии атомами на основе классической механики и электродинамики при использовании ядерной модели атома?
9. Определите полный заряд всех электронов в атоме: а) углерода; б) кислорода; в) железа.
10. Определите химический элемент, полный заряд ядра атома которого равен: а) $q = 4,80 \cdot 10^{-19}$ Кл; б) $q = 9,60 \cdot 10^{-19}$ Кл; в) $q = 15,2 \cdot 10^{-19}$ Кл.

§ 31. Квантовые постулаты Бора

- Долгое время атом считался мельчайшей неделимой частицей вещества, являющейся носителем его физических свойств. Однако открытие радиоактивности и первой элементарной частицы (электрона) поставило под сомнение факт его неделимости. Почему атом устойчив? Какие физические процессы происходят в атомах? Как атом излучает свет?

Для преодоления противоречий, возникающих при описании строения атома на основе законов классической механики и электродинамики с экспериментальными данными, датский физик Нильс Бор в 1913 г.