В начале XX в. было известно, что: 1) в состав атома входят электроны;

2) атом электронейтрален; 3) атом устойчив; 4) спектр атома состоит из отдельных линий (линейчатый спектр).

Последнее свойство особенно важно, так как явилось ключом к построению модели атома. В 1885 г. Дж. Бальмером было показано, что в видимой части спектра атома водорода имеются четыре линии, соответствующие длинам волн 656, 486, 434 и 410 нм. На основе экспериментальных данных им была получена формула, по которой можно было вычислять значения этих частот (длин волн) в видимой части спектра атома: где т — целое число, т > 2, R — постоянная величина, называемая постоянной Ридберга, R = 3,29 • 1015 1/с.

Линии в ультрафиолетовой области спектра были обнаружены в 1904 г. Т. Лайманом. Частоты этой серии линий можно определить по формуле.

В инфракрасной области спектра атома водорода, как показали исследования Ф. Пашена (1908), частоты можно определить по аналогичной формуле:

Была предложена формула, обобщающая полученные результаты, объединяющая все линии спектра атома, — формула Бальмера—Ридберга:

Модель Томсона. Не сразу учёные пришли к правильным представлениям о строении атома. Первая модель атома была предложена английским физиком Дж. Дж. Томсоном, открывшим электрон. По мысли Томсона, положительный заряд атома занимает весь объём атома и распределён в этом объёме с постоянной плотностью. Простейший атом — атом водорода — представляет

собой положительно заряженный шар радиусом около 1СГ8 см, внутри которого находится электрон. У более сложных атомов в положительно заряженном шаре находится несколько электронов, так что атом подобен кексу, в котором роль изюминок выполняют электроны. Однако модель атома Томсона оказалась в полном противоречии с известными уже к тому времени свойствами атома, одним из которых является устойчивость.

Известно, что система электрических зарядов не может находиться в состоянии устойчивого равновесия лишь под действием электростатических сил. Томсон это понимал, поэтому впоследствии предположил, что электроны в атоме движутся по замкнутым траекториям.

Опыты Резерфорда. Масса электронов в несколько тысяч раз меньше массы атомов. Так как атом в целом нейтрален, то, следовательно, основная масса атома приходится на его положительно заряженную часть.

Для экспериментального исследования распределения положительного заряда, а значит, и массы внутри атома Эрнест Резерфорд предложил в 1906 г. применить зондирование атома с помощью а-частиц. Эти частицы возникают при распаде радия и некоторых других элементов. Их масса примерно в 8000 раз больше массы электрона, а положительный заряд равен по модулю удвоенному заряду электрона. Это не что иное, как полностью ионизированные атомы гелия. Скорость а-частиц очень велика: она составляет 1/15 скорости света.

Этими частицами Резерфорд бомбардировал атомы тяжёлых элементов. Электроны вследствие своей малой массы не могут заметно изменить траекторию а-частицы, подобно тому как камушек в несколько десятков граммов при столкновении с автомобилем не может значительно изменить его скорость.

Рассеяние (изменение направления движения) а-частиц может вызвать только положительно заряженная часть атома. Таким образом, по рассеянию а-частиц можно определить характер распределения положительного заряда и массы внутри атома. Схема опытов Резерфорда показана на рисунке 11.1, а. Радиоактивный препарат, например радий, помещался внутри свинцового цилиндра 1, вдоль которого был высверлен узкий канал. Пучок а-частиц из канала, пройдя через отверстия в свинцовых экранах 2, падал на тонкую фольгу 3 из исследуемого материала (золото, медь и пр.). После рассеяния а-частицы попадали на полупрозрачный экран 4, покрытый сульфидом цинка. Столкновение каждой частицы с экраном сопровождалось вспышкой света (сцинтилляцией), которую можно было наблюдать в микроскоп 5. Весь прибор размещался в сосуде, из которого был откачан воздух. При хорошем вакууме внутри прибора в отсутствие фольги на экране возникал светлый кружок, состоящий из вспышек, вызванных падающим на экран тонким пучком а-частиц. Но когда на пути пучка помещали фольгу, а-частицы из-за рассеяния распределялись на экране по кружку большей площади.

Модифицируя экспериментальную установку, Резерфорд попытался обнаружить отклонение а-частиц на большие углы. Для этого он окружил фольгу сцинтилляционными экранами 6 (рис. 11.1, б) и определил число вспышек на каждом экране. Совершенно неожиданно оказалось, что небольшое число а-частиц (примерно одна из двух тысяч) отклонилось на углы, большие 90°. Позднее Резерфорд признался, что, предложив своим ученикам провести эксперимент по наблюдению за рассеянием а-частиц на большие углы, он сам не верил в положительный результат. «Это почти столь же невероятно, — говорил Резерфорд, — как если бы вы выстрелили 15-дюймовым снарядом в кусок тонкой бумаги, а снаряд возвратился бы к вам и нанёс вам удар».

Резерфорд понял, что а-частица могла быть отброшена назад лишь в том случае, если положительный заряд атома и его масса сконцентрированы в очень малой области пространства. Действительно, если положительный заряд распределён по большому объёму, приблизительно равному размеру атома, то он не может создать достаточно сильное электрическое поле, способное отбросить а-частицу назад. Максимальная сила отталкивания может быть определена по закону Кулона: где qa — заряд а-частицы; q — положительный заряд атома; R — его радиус; k — коэффициент пропорциональности. Напряжённость поля равномерно заряженного шара и соответственно сила, действующая на частицы, максимальны на поверхности шара и убывают до нуля по мере приближения к центру. Поэтому чем меньше радиус R, тем больше сила, отталкивающая а-частицы (рис. 11.2).

Определение размеров атомного ядра. Анализируя результаты экспериментов, Резерфорд пришёл к мысли о существовании атомного ядра.

Атомное ядро — это тело малых размеров, находящееся в центре атома, в котором сконцентрированы почти вся масса и весь положительный заряд атома.

На рисунке 11.3 показаны траектории а-частиц, пролетающих на различных расстояниях от ядра.

Подсчитывая число а-частиц, рассеянных на различные углы, Резерфорд смог оценить размеры ядра. Оказалось, что ядро имеет диаметр порядка 1(Г12—10~13 см (у разных ядер диаметры различны). Размер же самого атома 1СГ8 см, т. е. в 10—100 тысяч раз превышает размеры ядра. Впоследствии удалось определить и заряд ядра. При условии, что заряд электрона принят за единицу, заряд ядра в точности равен номеру данного химического элемента в периодической системе Д. И. Менделеева.

Планетарная модель атома. На основе своих опытов Резерфорд создал планетарную модель атома (модель Резерфорда).

В центре атома расположено положительно заряженное ядро, в котором сосредоточена почти вся масса атома.

В целом атом нейтрален. Поэтому число внутриатомных электронов, как и заряд ядра, равно порядковому номеру элемента в периодической системе.

Ясно, что покоиться электроны внутри атома не могут, так как они упали бы на ядро. В 1897 г. Дж. Дж. Томсон предположил, что электроны в атоме движутся.

Электроны движутся вокруг ядра, подобно тому как планеты обращаются вокруг Солнца, отсюда и название этой модели.

Такой характер движения электронов определяется действием кулонов- ских сил притяжения со стороны ядра.

В атоме водорода вокруг ядра обращается всего лишь один электрон. Ядро атома водорода имеет положительный заряд, равный по модулю заряду электрона, и массу, примерно в 1836,1 раза большую массы электрона.

Ядро водорода было названо протоном и стало рассматриваться как элементарная частица.

Размер атома водорода — это радиус орбиты его электрона (рис. 11.4).

Простая и наглядная планетарная модель атома имеет прямое экспериментальное обоснование. Она кажется совершенно необходимой для объяснения опытов по рассеиванию а-частиц. Но на основе этой модели нельзя объяснить факт долгого существования атома, его устойчивость. Ведь движение электронов по орбитам происходит с большим ускорением.

Ускоренно движущийся заряд по законам электродинамики Максвелла должен излучать электромагнитные волны с частотой, равной частоте его обращения вокруг ядра. Излучение сопровождается потерей энергии. Теряя энергию, электроны должны постепенно приближаться к ядру, подобно тому как спутник приближается к Земле при торможении в верхних слоях атмосферы.

Как показывают строгие расчёты, основанные на механике Ньютона и электродинамике Максвелла, электрон за ничтожно малое время (порядка 10~8 с) должен упасть на ядро. Атом должен прекратить своё существование. Спектр излучения атома согласно этой модели должен быть сплошным.

В действительности ничего подобного не происходит. Атомы устойчивы и в невозбуждённом состоянии могут существовать неограниченно долго, совершенно не излучая электромагнитные волны, а если излучают, то это волны строго определённых частот.

Не согласующийся с опытом вывод о неизбежной гибели атома вследствие потери энергии на излучение — это результат применения законов классической физики к явлениям, происходящим внутри атома. Отсюда следует, что к таким явлениям законы классической физики неприменимы.