

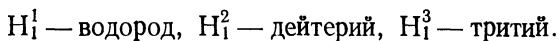
тате чего и может образоваться связанная система — ядро. Глубина такой потенциальной ямы составляет приблизительно 30 Мэв , а радиус r_0 имеет порядок 10^{-13} см . Строго говоря, силы существуют и при $r > r_0$, но очень слабы. Как будет показано далее, в этих условиях скорости движения нуклонов в ядре v существенно меньше c .

Аналогичная зависимость для двух взаимодействующих протонов будет иметь несколько иной вид. На расстояниях $r > r_0$ ядерные силы отсутствуют и потенциал в поле кулоновских сил отталкивания протонов растет с уменьшением r , как $\frac{1}{r}$.

В ядре, на расстояниях, меньших r_0 , кулоновское отталкивание является лишь небольшой поправкой к ядерным силам и ею можно пренебрегать. С учетом обеих сил суммарный потенциал является непрерывной функцией $U(r)$ с характерным максимумом, получившим название потенциального барьера U_k (рис. 5, б). Для того чтобы вступили в действие ядерные силы, частицы должны преодолеть этот барьер. Например, для осуществления термоядерных реакций синтеза надо нагреть газ до десятков миллионов градусов, чтобы заряженные частицы имели достаточную энергию для преодоления потенциального барьера.

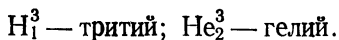
§ 2. ЗАРЯД АТОМНОГО ЯДРА

Заряд ядра Ze определяет место соответствующего элемента в таблице Менделеева и химические свойства элемента. Химически одинаковые элементы с одним и тем же числом Z , но разным A , т. е. с одинаковым числом протонов, но разным числом нейтронов в ядре называются *изотопами*. Например, у водорода есть еще два изотопа дейтерий и тритий:



В настоящее время известно около 280 устойчивых и свыше 1450 неустойчивых радиоактивных изотопов.

Ядра с одинаковым числом нуклонов A , но с разным Z , т. е. с различным числом протонов и нейтронов в ядре называются *изобарами*. Например, у трития есть изобар — один из изотопов гелия:



Как правило, устойчивые изобары встречаются парами и атомные номера их отличаются на две единицы. Из известных в настоящее время 60 устойчивых изобарных пар только две пары (Cd_{48}^{113} In_{49}^{113} ; Sb_{51}^{123} , Te_{52}^{123}) имеют нечетные массовые числа и их порядковые номера отличаются на единицу, а не на две. Остальные изобары имеют четные и A и Z .

Впервые косвенно заряд ядер был измерен Мозли (1913 г.), который нашел простую связь между частотой характеристического рентгеновского излучения ν и зарядом ядра Z :

$$\sqrt{\nu} = CZ - B.$$

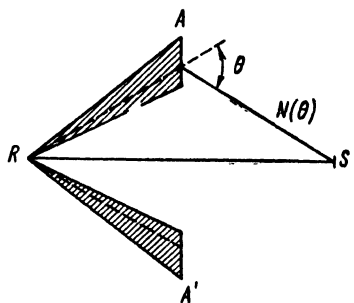


Рис. 6. Опыт Чадвика

Мозли установил, что постоянные C и B не зависят от элемента для данной серии излучения.

Непосредственно заряд ядра Z был определен Чедвиком в 1920 г. в опытах по исследованию рассеяния α -частиц на металлических пленках (рис. 6).

Напомним основные этапы этих очень важных по своим следствиям опытов. Пропуская узкий пучок α -частиц через тонкую металлическую фольгу, Резерфорд установил, что в большинстве случаев α -частицы при прохождении через фольгу рассеиваются на небольшой угол, что и следовало ожидать, если считать, что α -частица отклоняется под действием электрических сил зарядов частиц малой массы (электронов атома), много меньшей, чем у α -частицы.

Однако иногда рассеянные α -частицы отклоняются на большие углы, в некоторых случаях значительно превышающие 90° . Это может произойти только в том случае если внутри атома имеются заряды, сосредоточенные в очень малом объеме и связанные с массой, много большей, чем у α -частицы. Если бы заряд ядра был размазан по всему атому, рассеяние на большие углы происходило бы совсем редко.

Исходя из этих соображений, Резерфорд в 1911 г. и предложил так называемую ядерную модель атома. Для описания полученных результатов им было выведено соотношение, определяющее угловое распределение α -частиц после рассеяния их ядрами атомов. При выводе этой формулы предполагалось, что силы взаимодействия между ядром и α -частицей следуют закону Кулона для точечных зарядов, и масса ядра много больше, чем масса α -частицы. Формула Резерфорда может быть записана в следующем виде:

$$\frac{dN}{N} = n \left(\frac{Ze^2}{Mv^2} \right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}, \quad (11)$$

где n — число рассеивающих ядер, приходящихся на 1 см^2 поверхности фольги, N — число α -частиц, проходящих в 1 сек через площадку в 1 см^2 , перпендикулярную к направлению потока α -частиц, dN — число рассеянных частиц внутри элемента телесного угла $d\Omega$, Ze — заряд рассеивающего центра, M — масса α -частицы, v — скорость α -частицы, θ — угол отклонения α -частицы.

Формула Резерфорда может быть использована для определения заряда атомного ядра Z . Если сравнить число падающих α -частиц N с числом dN частиц, рассеянных под данным углом θ , то $\left(\frac{dN}{N} \right)_{\substack{v=\text{const} \\ \theta=\text{const}}}$ является функцией

только заряда рассеивающего вещества Z .

Такой опыт и был поставлен Чедвиком в 1920 г.

Рассеивающая фольга имеет вид плоского кольца AA_1 . Радиоактивный препарат R и детектор (небольшой сцинтилирующий экран) S устанавливаются на оси кольца. Измеряется число α -частиц, рассеянных под углом θ . Если поместить внутри кольца между R и S экран, (причем расстояние $RA=AS$), то

детектор будет считать одни только рассеянные частицы dN и, наоборот, закрывая экраном кольцо AA_1 , можно сосчитать число частиц N в падающем пучке. Таким образом, удастся определить отношение $\frac{dN}{N}$. Остальные величины, входящие в формулу Резерфорда, доступны экспериментальному определению (M, v, θ), либо известны (n, e). Этим методом Чедвик нашел значения Z для платины, серебра и меди.

§ 3. РАЗМЕРЫ АТОМНЫХ ЯДЕР

Попытки получить представление о точных размерах ядра наталкиваются на значительные трудности. Дело в том, что частицы, из которых состоит ядро, движутся по законам квантовой механики, в основе которой лежит принцип неопределенности Гейзенберга. Вследствие этого поверхность ядра «размыта» и представление о его размерах становится неопределенным.

Существует несколько способов, позволяющих произвести оценку размеров ядра. Разные методы приводят к различным результатам, однако порядок величины во всех случаях остается одинаковым.

Первые представления о размерах атомного ядра были получены Резерфордом в результате опытов по рассеянию α -частиц, которые были описаны в предыдущем параграфе. Грубо можно оценить размеры отталкивающего ядра как наименьшее расстояние, на которое α -частица приближается к атомному ядру при лобовом ударе.

Сила отталкивания между ядром и α -частицей на расстоянии d согласно закону Кулона равна $\frac{2eZe}{d^2}$, где $2e$ — заряд α -частицы, Ze — заряд ядра. Потенциальная энергия на расстоянии d между частицами равна

$$\frac{2eZe}{d}.$$

Кинетическая энергия α -частицы на большом расстоянии от ядра равна $\frac{1}{2}Mv^2$. При прямом попадании на рассеивающий центр α -частица может подойти к ядру на расстояние d_0 , определяемое равенством $\frac{1}{2}Mv^2 = \frac{2eZe}{d_0}$. Откуда

$$d_0 = \frac{4Ze^2}{Mv^2} \quad (12)$$

(в формуле Резерфорда (11) этот член стоит в скобках). Определяя $\frac{dN}{N}$ при известных $n, d\Omega$ и θ , можно на основании (11) и (12) вычислить d_0 . Опыт показал, что величина d_0 для ядер тяжелых элементов имеет порядок 10^{-12} см.