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, удается 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

$$d_0 = \frac{4Ze^2}{Mv^2} \tag{12}$$

(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*.

Площади геометрических сечений ядер, равные πR^2, для большинства ядер близки к величине 10^{-24} *см*^{2}. Поэтому в ядерной физике для измерения площадей принимается единица — барн.

$$1 \textit{барн} = 10^{-24} \textit{ см}^2$$

$$1 \textit{ миллибарн} = 10^{-27} \textit{ см}^2.$$

В дальнейшем размеры атомных ядер определялись по энергии α-частиц, испускаемых радиоактивными ядрами (см. гл. 3), по рассеянию нейтронов и электронов на ядрах, по величине энергии связи ядра и другими методами.

Наиболее надежными могут считаться результаты, полученные при изучении рассеяния ядрами нейтронов и электронов. Кратко идея метода заключается в следующем: если длина волны де Бройля для электронов соизмерима с размерами ядер, то при упругом рассеянии электронов на ядрах будет возникать дифракция. Картину этой дифракции можно рассчитать, полагая, что рассеяние электронов происходит на заряженном шаре радиуса R в предположении о равномерном распределении заряда в ядре. Значение R, при котором теория и эксперимент наиболее согласуются друг с другом, принимается за радиус ядра, хотя более строго следует говорить о радиусе распределения электрического заряда в ядре.

Какую энергию должны иметь электроны в таком эксперименте? Очевидно необходимо, чтобы $\lambda \approx 10^{-12}$ *см.*

При релятивистских скоростях кинетическая энергия электрона T приблизительно равна $p \cdot c$, следовательно, если изменять T в *Мэв*

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{hc}{T} = \frac{6 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{10}}{1{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot T} \approx \frac{1{,}2 \cdot 10^{-10}}{T} = 10^{-12}$$

($1{,}6 \cdot 10^{-6}$ — переводной множитель для перехода от эргов к *Мэв*'ам).

Отсюда следует, что необходимая энергия должна быть порядка 100 *Мэв.*

Этим методом были определены радиусы многих ядер и в том числе радиус протона. В предположении о сферической форме ядер была найдена зависимость между радиусом ядра R и числом нуклонов в ядре A

$$R = r_0 A^{1/3}, \tag{13}$$

где $r_0 = (1{,}2 \div 1{,}3) \cdot 10^{-13}$ *см.*

Такая же зависимость между R и A была получена при использовании других методов. Значение постоянного множителя r_0 при этом получалось несколько различным. Например, при изучении рассеяния на ядрах не электронов, а нейтронов было получено значение для r_0

$$r_0 = (1{,}3 \div 1{,}4) \cdot 10^{-13} \textit{ см.}$$

Различие в значении r_0, полученного разными методами, по-видимому, можно объяснить тем, что рассеяние электронов определяется областью сосредоточения зарядов ядра, а рассеяние нейтронов определяется величиной радиуса области ядерного взаимодействия. Иногда говорят в связи с этим об «электрическом» и «ядерном» радиусах атомного ядра.

Из соотношения

$$R = r_0 A^{1/3}$$

видно, что масса ядра (определяемая величиной A) пропорциональна его объему V:

$$V = \frac{4}{3} \pi r_0^3 A \text{ } см^3$$

и, следовательно, во всех ядрах число нуклонов в единице объема одинаково

$$n = \frac{A}{V} = \frac{A}{4/3\pi r_0^3 A} \approx \frac{1}{7 \cdot 10^{-39}} \approx 10^{38} \text{ нуклонов}/см^3.$$

Одинакова также должна быть и плотность всех ядер

$$\rho = n m_N = 10^{38} \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-24} \approx 10^{14} \text{ г}/см^3,$$

имеющая порядок 100 *млн т* в 1 *см*^{3}. При такой плотности шар радиусом 200 *м* обладал бы весом земного шара.

Величина радиусов ядер свидетельствует о том, что ядро состоит из протонов и нейтронов, а электронов в их составе нет.

Это видно из сравнения размеров ядер и длины волн де Бройля для электронов. Для того чтобы электрон имел дебройлевскую длину волны порядка размера ядра, его энергия должна измеряться сотнями *Мэв*. Электроны такой энергии не могут быть удержаны ядром.

Действительно, энергию $E_{кул}$ кулоновского притяжения электрона к ядру можно грубо оценить следующим образом. Пусть Z ядра равно 60 (среднетяжелые ядра), тогда

$$E_{кул} = \frac{Z \cdot e \cdot e}{R} = \frac{60\,(4{,}8 \cdot 10^{-10})^2}{6{,}8 \cdot 10^{-13} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-6}} \approx 15 \text{ Мэв}$$

$$(R = r_0 A^{1/3} = 1{,}3 \cdot 10^{-13}\,(140)^{1/3} \approx 6{,}8 \cdot 10^{-13}).$$

Как будет показано ниже, средняя энергия связи, приходящаяся на один нуклон в ядре, равна примерно ($7 \div 8$) *Мэв*. Электрон с энергией, меньшей или равной энергии кулоновского притяжения, имеет дебройлевскую длину волны по крайней мере на порядок больше радиуса ядра и не может находиться в нем.