

Г. Гамов

**Атомное ядро и
радиоактивность**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
Г11

Г11 **Г. Гамов**
Атомное ядро и радиоактивность / Г. Гамов – М.: Книга по Требованию, 2022. –
80 с.

ISBN 978-5-458-57842-4

ISBN 978-5-458-57842-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2022

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2022

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

Глава первая.

СТРУКТУРА И ЭНЕРГИЯ ЯДРА.

§ 1. СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ЯДРА.

С 1911 г., когда Резерфордом (Rutherford) впервые была предложена ядерная модель атома, атомная физика занималась главным образом изучением движения окружающих ядро электронов, которыми обуславливаются главные физические и химические свойства атома. Благодаря работам Бора (Bohr), применившего к атому теорию квант, теория строения атома сразу стала на верную дорогу и развилась в обширный отдел теоретической физики, в настоящее время почти законченный благодаря применению новой квантовой механики.

В теории атома не затрагивается вопрос о строении ядра; для изучения движения атомных электронов ядро достаточно принимать за материальную точку, обладающую определенной массой и зарядом (а также, по данным последнего времени, магнитным моментом).

Однако целый ряд фактов говорит нам о сложной структуре ядра — структуре вероятно еще более сложной, чем сам атом. Самопроизвольный распад ядер тяжелых элементов (радиоактивность), а также возможность искусственного раздробления ядер легких элементов с несомненностью указывают нам на сложность строения ядер.

Со времени открытия Астона (Aston), что атомные веса выражаются числами, весьма близкими к целым, можно считать почти достоверным, что основным структурным элементом всех ядер являются протоны и электроны (старая гипотеза Прюта [Prout]). Зная атомный вес и атомный номер элемента, мы можем легко вычислить число протонов и электронов, составляющих его ядро. Небольшая разница между атомным весом и суммой весов входящих в состав ядра протонов и электронов (Massendefekt), дает нам непосредственно величину энергии, связывающей структурные элементы ядра.

При радиоактивном распаде мы наблюдаем однако выбрасывание из ядра не отдельных протонов, а так назыв. α -частиц, т. е. образований, состоящих из четырех протонов и двух электронов. Очевидно эти образования, благодаря своей большой устойчивости, сохраняют свою индивидуальность и внутри ядра и являются важным структурным элементом сложных ядер.

В опытах Резерфорда над расщеплением сложных ядер удалось наблюдать выбрасывание протонов лишь из элементов с атомным весом, не кратным четырем. В элементах с атомным весом $4n$ протоны очевидно полностью использованы на постройку α -частиц и связаны в них слишком сильно, так что выбить их при современных средствах не является возможным. (В настоящее время мы еще не можем осуществить бомбардировку, достаточно сильную для разбития атома гелия.) Напротив того: для элементов с атомным весом $4n + 1$, $4n + 2$, $4n + 3$ всегда имеются, сравнительно мало связанные, „свободные“ протоны, которые и выбрасываются из ядер при интенсивной бомбардировке. Кроме свободных протонов в ядрах может иметься также определенное

число не связанных в α -частицы „свободных“ ядерных электронов.¹ Относительно последних существует весьма интересная закономерность, — особенно для элементов, не содержащих свободных протонов. Для элементов с атомным весом $4n$ число свободных электронов всегда четно, причем число пар зависит ступенчато от атом-

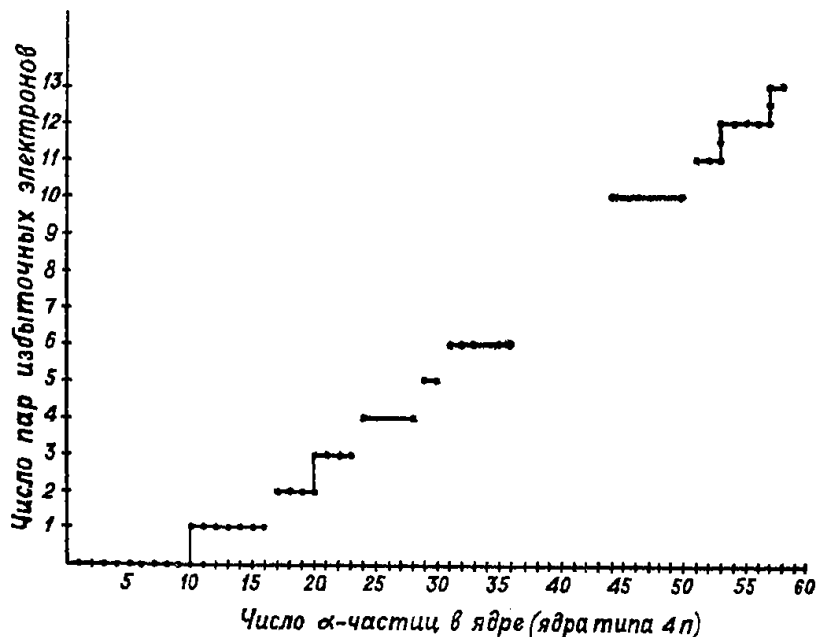


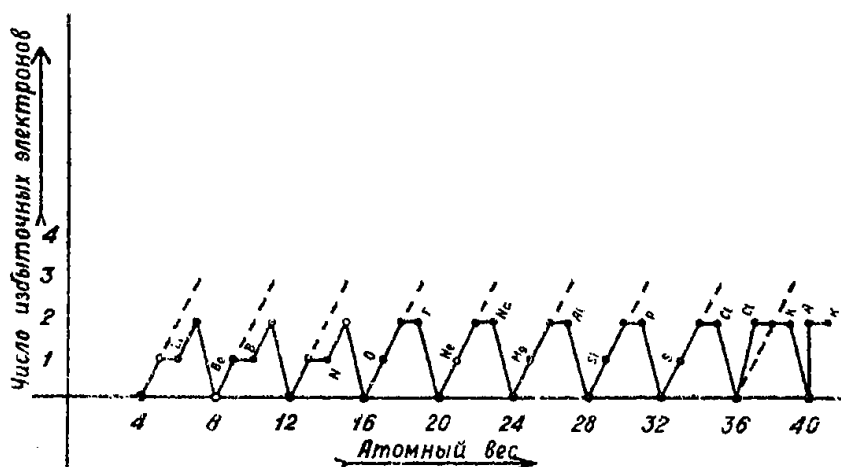
Рис. 1.

ного веса, как указано на рис. 1. Понимать это нужно следующим образом. Главной частью ядра является конгломерат из α -частиц, который может удерживать еще

¹ Для определения по атомному весу A и номеру Z чисел α -частиц, свободных протонов и свободных электронов в ядре мы имеем очевидные формулы (в них $E(x)$ означает наибольшее целое число, заключающееся в x):

$$N_{\alpha} = E\left(\frac{A}{4}\right); \quad N_{pr} = A - 4E\left(\frac{A}{4}\right); \quad N_e = 2E\left(\frac{A}{4}\right) - Z.$$

определенное число электронов на неких стабильных уровнях, — число которых полностью определяется числом α -частиц в ядре. На каждом уровне, согласно принципу Паули (Pauli), находятся два электрона с противоположными направлениями магнитного момента. Когда при радиоактивном распаде уменьшается число α -частиц в ядре, некоторые электронные уровни становятся нестабильными (т. е. переходят в область положительной энергии) и два электрона вылетают один за другим из



Фиг. 2.

атома, что мы и встречаем всегда в радиоактивных рядах (β -преобразования происходят всегда парами). Для ядер, содержащих свободные протоны, указанная закономерность усложняется в виду возмущающего действия последних. На рис. 2 даны числа свободных протонов и электронов для первых двадцати элементов. Мы видим, что свободные протоны могут удерживать в ядре еще электроны сверх нормы, даваемой α -конгломератом. Число таким образом связанных электронов часто бывает меньше

сдерживающих их протонов; заметим, что эти случаи соответствуют как раз элементам, дающим наибольшую „полезную отдачу“ при искусственном расщеплении.

Общую энергию ядра, вычисленную по дефекту массы, мы можем теперь, хотя и очень приближенно, разбить на слагаемые, соответствующие различным составным частям ядра. Обозначая через ϵ внутреннюю энергию α -частицы, мы можем написать:

$$E = N_{\alpha}\epsilon + E_{\alpha}(N_{\alpha}) + E_p + E_e, \quad (1)$$

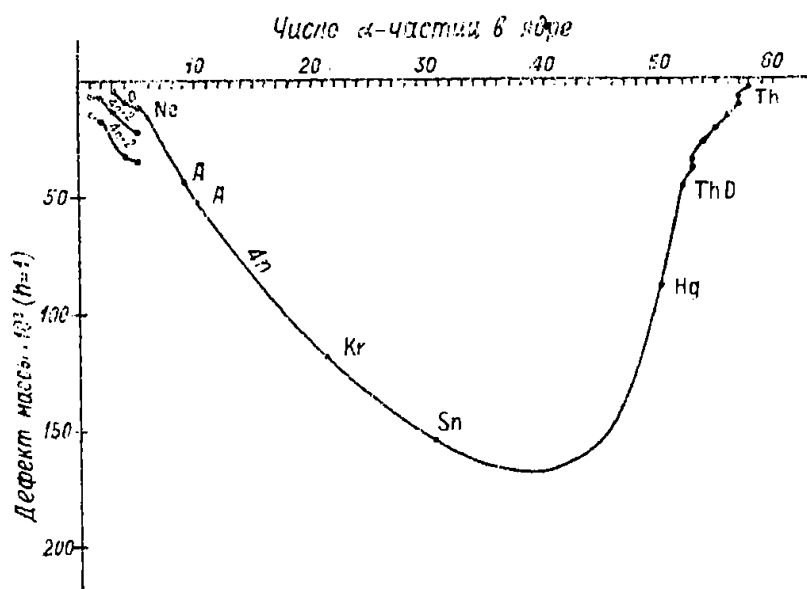


Рис. 3.

где три последние слагаемые дают соответственно энергии связи α -конгломерата, протонов и электронов. Энергии связи показаны на рис. 3, где энергия выражена через дефект массы (полагая массу атома водорода равной единице). Разница между различными кривыми дает нам энергию, связывающую ядерные протоны. Мы должны также ожидать прыжков в ходе кривых в местах обра-

зования новых электронных уровней. Имеющийся в настоящее время экспериментальный материал о дефектах массы недостаточен для того, чтобы точно построить соответственные кривые и разложить их на три составные части согласно (1). Общий вид кривой дается энергией, связывающей α -конгломерат. Мы видим, что для тяжелых элементов кривая идет снова вверх, что указывает на возможность самопроизвольного (экзотермического) распада ядра с выбрасыванием α -частицы.

§ 2. СИЛОВОЕ ПОЛЕ ЯДРА.

Обратимся теперь к вопросу об экспериментальном изучении притягательных сил, возникающих при весьма близком приближении α -частиц к ядру. Вопрос о силах между ядром и α -частицей может быть экспериментально исследован в явлении рассеяния α -частиц при прохождении через материю. Если пропускать пучок α -частиц через пластинку какого-либо вещества, то те из них, которым случилось на своем пути пройти достаточно близко около одного из ядер атомов вещества пластинки, будут отклонены в сторону под влиянием сил взаимодействия с ядром. Изучая распределение по направлениям рассеянных α -частиц, мы можем вывести заключение о характере этих взаимодействий. Первые опыты в этом направлении принадлежат Резерфорду. Им же была выведена формула, дающая число α -частиц, рассеянных в различных направлениях в предположении кулоновского отталкивания между α -частицей и ядром. Обозначая через Ze заряд ядра, мы имеем для числа α -частиц, рассеянных в угле $\vartheta \pm \Delta\vartheta$, выражение:

$$N_{\vartheta \pm \Delta\vartheta} = \frac{Z^2 e^4}{m^2 v^4} \operatorname{cosec}^2 \frac{\vartheta}{2} \Delta\vartheta \quad (2)$$

Опыты Резерфорда, повторенные более точно Чадвиком (Chadwick), подтвердили правильность этой формулы и дали возможность впервые экспериментально определить атомный номер элементов.

Однако дальнейшие исследования показали, что формула (2) верна лишь до некоторого предела. Для α -частиц, подходящих очень близко к ядру, были замечены сильные отступления от формулы Резерфорда, говорящие о наличии здесь каких-то новых сил, кроме кулоновских.

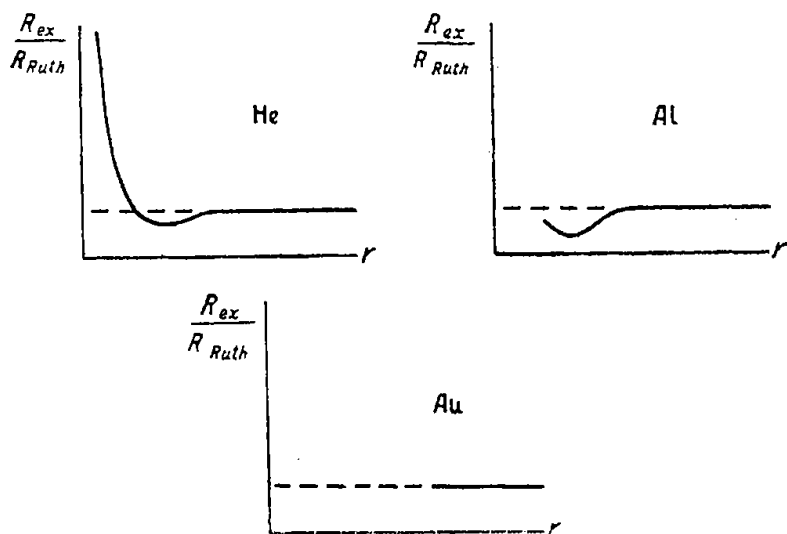


Рис. 4.

Отступления эти заметны лишь для легких элементов, так как для элементов более тяжелых, благодаря большому заряду ядра, самые быстрые α -частицы не могут проникнуть в район аномальных сил.

Характер отступлений от формулы Резерфорда для некоторых легких элементов дан на рис. 4, где по оси абсцисс отложена величина наибольшего приближе-

ния α -частиц, а по оси ординат отношение наблюдаемого числа рассеянных частиц к числу, вычисленному по формуле (1).

Существование этих отклонений может быть объяснено добавлением к обычному кулоновскому потенциалу добавочного члена, изменяющегося обратно пропорционально высокой степени расстояния.

$$U(r) = -\frac{2Ze^2}{r} + \frac{A}{r^k}.$$

Вычисление Билера (Bieler), принимающего $k=4$, и Хардмайера (Hardmeyer) ($k=5$) позволяют более или менее точно объяснить ход кривых отклонения. Хардмайер рассматривает добавочную силу, как происходящую от поляризации α -частиц, что дает возможность вывести заключение о поляризационной способности последней.

Согласно Хардмайеру для величины критического радиуса ядра алюминия (расстояние, на котором притягательные силы перевешивают отталкивание) получаем $r_0 = 3,44 \cdot 10^{-13}$ см.

Однако как вычисление Хардмайера, так и вычисление Билера произведены на основании классической механики и нуждаются в обработке с точки зрения механики волновой.

§ 3. ЭНЕРГИЯ ЯДРА.

Рассмотрим теперь вопрос о строении основной части ядра, т. е. совокупности α -частиц. Для объяснения устойчивости такой совокупности совершенно необходимо, конечно, допустить существование между α -частицами, находящимися на близких расстояниях, каких-либо при-

тягательных сил, превышающих кулоновское отталкивание между зарядами. Экспериментальным подтверждением наличия этих сил являются опыты Резерфорда и Чадвика, заметивших аномалии в рассеянии α -частиц в гелии в случае весьма сильного сближения двух ядер.

Природа этих сил притяжения пока неизвестна, поскольку у нас нет еще модели α -частицы, — но наиболее вероятно, что силы эти носят характер поляризационных. Притяжение это весьма быстро убывает с расстоянием между частицами и уже на расстояниях порядка 10^{-12} см им можно пренебречь по сравнению с кулоновским отталкиванием. Однако для α -частиц, тесно сжатых в ядре, силы эти играют первенствующую роль.

Вопрос о строении α -конгломерата значительно упрощается тем фактом, что α -частицы (в числе до 55 в радиоактивных элементах) в ядре можно считать находящимися в одном и том же квантовом состоянии, а именно в основном. Причина эта лежит в неприменимости к α -частицам принципа Паули. В самом деле, образование электронных оболочек с различными квантовыми числами в атоме или в самом ядре есть результат того, что, согласно принципу Паули, на данном квантовом уровне могли находиться лишь два электрона (магнитные моменты последних должны быть при этом направлены в различные стороны). Согласно современным воззрениям к α -частицам (как имеющим четный заряд) принцип Паули не применим и, поскольку мы считаем ядра известных нам элементов находящимися в состоянии не возбужденном (наименьшей энергии), мы должны считать, что все α -частицы находятся на основном уровне энергии. Такого рода совокупность частиц, с чрезвычайно

быстро варьирующими с расстоянием силами между ними, представляет полную аналогию тому, что мы имеем в обыкновенной жидкости. В самом деле, вычисляя потенциальную энергию одной из частиц, окруженной множеством других, мы можем принимать во внимание лишь действие окружающих частиц, находящихся внутри сферы небольшого радиуса (сферы действия молекулы по терминологии теории жидкостей) — действие частиц, лежащих вне этой сферы, в виду быстрого спадения сил притяжения, будет ничтожным.

Совокупность конечного числа частиц будет образовывать нечто в роде капли, обладающей поверхностным слоем и соответствующим поверхностным натяжением. Существование такой капли будет обуславливаться равновесием между силой поверхностного натяжения и внутренним давлением частиц капли (нулевой энергией α -частиц). Предварительное вычисление такой модели на основании волновой механики дает радиус и энергию ядра-капли, достаточно хорошо совпадающими с измеренными на опыте радиусами и энергией реальных ядер. Теория приводит к изменению радиуса ядра от элемента к элементу приблизительно пропорционально кубическому корню из атомного веса („плотность“ ядра должна оставаться постоянной для различных элементов), что также согласуется с опытными данными.

Нас сейчас интересует вопрос об устойчивости нашей модели ядра-капли и возможности объяснить самопроизвольный α -распад тяжелых элементов. При учете лишь притягательных сил между α -частицами в ядре энергия нашей модели будет постепенно убывать с увеличением числа частиц; прибавление каждой новой частицы будет являться экзотермическим процессом и о самопроизволь-