

ФИЗИКА

М. А. ЛЕВИТСКАЯ

ОПЫТ РАЗБОРА СТРУКТУРЫ АТОМНЫХ ЯДЕР

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 10 VII 1950)

Если считать, что ядро нечетного атомного номера Z образуется из подходящего изотопа предыдущего четного Z путем присоединения протона p , то таблицы изотопов представляют картину сменяющегося закона присоединения p . Естественно возникает предположение, что ядра, подчиняющиеся одному и тому же закону присоединения p до их изменения, представляют одну и ту же группу.

Настоящая работа представляет попытку разделить все ядра на группы на основании изменений в присоединении p . Кроме того, использовано представление об особых зонах, данное мною в одной из предыдущих работ⁽¹⁾. Все разделение ядер на группы производится исключительно на основе опытных данных без руководства какой бы то ни было теорией.

Под законом присоединения p мы будем сначала разуметь способ перехода от изотопов одного Z к изотопам последующего Z . До $Z = 8$ можно составить следующую табличку (см. табл. 1).

Таблица 1

1 Н	2 He	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N
1 $p \rightarrow$	3 $p + (p+n)$					
2 $p+n \rightarrow$	4 $p+n+(p+n) \rightarrow$	6 $2(p+n)+$ $+(p+n)$	$\dots \dots \rightarrow$	10 $5(p+n) \rightarrow$	12 $6(p+n) \rightarrow$	14 $7(p+n)$
		7 $3(p+n)+n \rightarrow$	9 $3(p+n)+n \rightarrow$ $+(p+n)$	11 $4(p+n)+n \rightarrow$ $+(p+n)$	13 $5(p+n)+$ $+n+$ $+(p+n)$	15 $6(p+n)+n$ $+(p+n)$

Мы видим, что в группе ядер от 1 до 8 (мы назовем ее нулевой) ясно выражено присоединение $(n+p)$. Соответственно этому только до $Z = 8$ существуют ядра, представляющие нечетное число $(n+p)$. Можно сказать, что в этой группе преимущественное значение имеет закон присоединения p посредством одного n .

Начиная с $Z = 8$ до $Z = 20$ изотопы наибольшего содержания четных Z представляют целое число α -частиц. В табл. 2 все клетки четных Z до $Z = 16$ дают однообразную картину: три изотопа вида $m\alpha$, $m\alpha + n$ и $m\alpha + 2n$. Присоединение p идет по закону: n , n , p , p после каждого целого числа α -частиц.

Будем называть основанием ядра группу ядерных частиц, присоединяющих новый протон посредством двух нейтронов. Тогда от

Таблица 2

1 H	2 He	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	11 Na	12 Mg	13 Al
1 p 3 p+n+p	6α+n+p 7α+2n+p	9α+n+α 11α+p+α+p	10α+p+α 11α+p+α+p	12 3α 13 3α+n+p	14 3α+n+p 15 3α+2n+p	16 4α 17 4α+n+p	18 4α 19 4α+2n+p	20 5α 21 5α+n+p	22 5α+2n+p	23 5α+2n+p	24 6α 25 6α+n+p	27 6α+2n+p
2 p+n 4 p+n+p p+n												
14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti				
28 7α 29 7α+n 30 7α+2n	31 7α+2n+p	32 8α 33 8α+n 34 8α+2n 35 8α+2n+p 36 8α+2n+2n+p 37 8α+2n+2n+p	38 9α 39 9α+2n+p	40 9α+2n+p+n+p	41 9α+2n+2n+p 42 9α+2n+2n+p+n+p	43 10α 44 10α+2n+2n+p 45 10α+2n+2n+p+n+p	46 11α+4n+2n+p 47 11α+4n+2n+p+n+p	48 11α+2n+2n+p 49 11α+4n+2n+p+n+p				
23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga				
51 12α+2n 52 12α+2n+2n 53 12α+4n+n+p 54 12α+4n+2n+p 55 12α+4n+2n+p+n+p 56 12α+4n+2n+p+n+p+n+p	57 13α+2n 58 13α+2n+2n 59 13α+4n+n+p 60 13α+4n+2n+p 61 13α+4n+2n+p+n+p	62 14α+2n 63 14α+2n+2n 64 14α+4n+n+p 65 14α+4n+2n+p 66 14α+6n+2n+p	67 15α+4n+2n 68 15α+6n+n+p 69 15α+8n+2n+p	70 15α+8n+2n+p	71 15α+8n+2n+p+n+p	72 15α+8n+2n+p+n+p+n+p	73 15α+8n+2n+p+n+p+n+p+n+p	74 15α+8n+2n+p+n+p+n+p+n+p+n+p	75 15α+8n+2n+p+n+p+n+p+n+p+n+p+n+p	76 15α+8n+2n+p+n+p+n+p+n+p+n+p+n+p+n+p	77 15α+8n+2n+p+n+p+n+p+n+p+n+p+n+p+n+p	78 15α+8n+2n+p+n+p+n+p+n+p+n+p+n+p+n+p
32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr				
70 16α+6n 72 16α+8n 73 16α+8n+p 74 16α+8n+2n 75 16α+10n+2n	76 17α+6n 77 17α+8n 78 17α+8n+n+p 79 17α+8n+2n+p 80 17α+10n+2n+p 82 17α+12n+2n+p	81 18α+6n 82 18α+8n+2n 83 18α+10n+n+p 84 18α+10n+2n 85 18α+10n+2n+p 86 18α+12n+2n+p 87 18α+12n+2n+p+n+p	88 19α+8n+p 89 19α+10n+2n+p 90 19α+10n+2n+p+n+p	91 19α+8n+2n+p 92 19α+8n+2n+p+n+p	93 19α+10n+n+p 94 19α+10n+2n+p 95 19α+10n+2n+p+n+p	96 19α+10n+2n+p+n+p+n+p	97 19α+10n+2n+p+n+p+n+p	98 19α+10n+2n+p+n+p+n+p+n+p	99 19α+10n+2n+p+n+p+n+p+n+p+n+p	100 19α+10n+2n+p+n+p+n+p+n+p+n+p+n+p	101 19α+10n+2n+p+n+p+n+p+n+p+n+p+n+p	102 19α+10n+2n+p+n+p+n+p+n+p+n+p+n+p

$Z = 8$ до $Z = 16$ мы имеем основание ta . Выделяя далее «основания», мы будем следить за способом присоединения к ним p . Мы увидим, что, начиная с $Z = 8$, нигде, кроме (вероятно, радиоактивного) ядра La^{138} , не наблюдается присоединения p посредством одного n . Этим вся дальнейшая система изотопов отличается от группы 1—7, почему мы ее и отделили в нулевую группу. Можно сказать, что, начиная с $Z = 8$, идет при усложнении ядер явный набор α -соединений.

Будем далее понимать под законом присоединения p как самый вид основания, так и способ присоединения к нему новых p до следующего четного Z .

При $Z = 16$ ($m = 8$) вид клеток четного Z меняется. Появляется 4-й изотоп $ta + 4n$ и он, наряду с $8\alpha + 2n$, присоединяет к себе p . Здесь возникает 1-я особая зона. Параллельно с основанием ta действует новое основание $ta + 2n$ и оно действует по новому закону $2n, p, p$. У $Z = 22$ ядро этого основания уже теряет способность присоединить p . Мы полагаем поэтому, что это ядро уже новой группы.

Основание ta продолжает действовать до Ca_{20} включительно. Получается такая картина: число α -частиц от 3 до 10 включительно образует само по себе прочную систему, присоединяющую (от 4α до 8α) протоны по закону n, n, p, p . Естественно считать группу ядер вида ta (а также ядра с присоединенными к ним n, n, p) отдельной группой ядер. От $m = 8$ до $m = 10$ эта группа, очевидно, уже не так устойчива и преобразуется в новое основание $ta + 2n$.

Какую роль играют $2n$ в новом основании? Основываясь на законе соединения α -частиц между собою в Be^9 , можно составить себе следующее представление: присоединяемые к прежнему основанию ta два нейтрона идут на связь между собою α -частиц, уже не такочно держащихся друг с другом, именно при $Z = 16$ два нейтрона внедряются в систему 8 α -частиц и так как n соединяет между собою α и α -частицу, то основание $8\alpha + 2n$ можно представить себе как $6\alpha + (2\alpha + 2n)$, т. е. внутреннюю часть из 6α -частиц с верхним слоем из 2 α -частиц, круговым образом связанных нейтронами. Точно так же основание $9\alpha + 2n$ есть $7\alpha + (2\alpha + 2n)$ и $10\alpha + 2n = 8\alpha + (2\alpha + 2n)$.

Изотопы с еще большим числом n , существующие при $Z = 18$ и $Z = 20$, не являются основаниями, не имеют способности присоединять p , и их надо представлять как внутреннее ядро $m\alpha + 2n$, как бы покрытое оболочкой внешних нейтронов, которая может и отсутствовать.

Основание $m\alpha + 2n$ кончает свою деятельность на $m = 10$. Ядро $11\alpha + 2n$ уже не способно присоединять p посредством $2n$. Таким образом, группа ядер основания $m\alpha + 2n$ с законом присоединения $2n$, p , p простирается только от $Z = 16$ до $Z = 20$ включительно. Это 2-я группа ядер, отличная от 1-й группы с основанием $m\alpha$.

Начиная с Ti^{22} , вступает в действие основание $m\alpha + 4n$ с законом присоединения сначала 2 , n , p , p и затем n , n , p , p . Мы считаем, что здесь начинает образовываться новая (3-я) группа. Последнее ядро вида $m\alpha + 4n$, еще действующее по закону n , n , p , p , это $Ni^{60} = 14\alpha + 4n$. Начиная с Ni , начинает действовать новое основание $m\alpha + 6n$, и естественно принять, что здесь начинается новая группа. На это указывает и наступление 2-й особой зоны.

Ядро $14\alpha + 4n$ на основании вышесказанного надо представить как $10\alpha + (2\alpha + 2n) + (2\alpha + 2n)$.

Если рассматривать систему частиц $m\alpha + 4n$ как неразрушающееся целое, становится непонятным происхождение более легких изотопов. Приходится допустить, что основание $m\alpha + 2n$ продолжает присоединять протон и после Ca_{20} , но уже по новому закону $2n$, $2p$. Присоединение по этому закону можно рассматривать как усиленный набор α -частиц. Так происходят ядра $Cr^{50} = 12\alpha + 2n = 10\alpha + (2\alpha + 2n)$; $Fe^{54} = 13\alpha + 2n = 10\alpha + (2\alpha + 2n) + \alpha$; $Ni^{58} = 14\alpha + 2n = 10\alpha + (\alpha\alpha) + (\alpha\alpha)$. На этом основание $m\alpha + 2n$ прекращает свое существование. Для объяснения изотопов более тяжелых, чем основание $m\alpha + 4n$, но не присоединяющих p , приходится допустить, что основание способно «одеваться» еще оболочкой из нескольких (почти исключительно парных) нейтронов и это увеличивает его прочность.

$15\alpha + 4n$ (Zn^{64}_{30}) уже не обладает способностью присоединять p . Очевидно, здесь начинается новая (4-я) группа. Она образует особую зону и характеризуется появлением пар оснований, действующих параллельно друг другу. Основание $m\alpha + 6n$ начинается с $m = 14$ и перестает присоединять p посредством $2n$ при $m = 16$. Основание $m\alpha + 8n$ начинает действовать при $m = 15$ и последний раз действует при $m = 18$. Ядро Ge^{70} можно представить как $10\alpha + 2(\alpha + n) + 2(\alpha + n) + 2(\alpha + n)$. Ядро Kr^{78} как $10\alpha + 2(\alpha + n) + 2(\alpha + n) + 4(\alpha + n)$.

Основание $m\alpha + 10n$, действующее в той же зоне, заканчивает свою деятельность по закону, n , n , p , p ядром Zr^{92}_{40} . Вторая особая зона заканчивается на Sr_{38} , но так как основание $m\alpha + 10n$ заканчивается на Zr_{40} , то мы считаем, что новая группа (4-я) кончается на этом ядре. После Zr_{40} действительно наступает явная перемена.

Итак, от $Z = 30$ до $Z = 40$ мы имеем 4-ю группу. Эта группа строится в три этапа: от Zn до Ge , от Zn до Kr и от Se до Zr (включительно). На первом этапе строятся ядра с 2α и $2n$ в новом (3-м) над внутренней системой α -частиц слое; в них число внутренних α -частиц все возрастает, кончая десятью. На втором этапе то же построение, но с 4α и $4n$ в новом слое и на третьем этапе с 6α и $6n$ во внешнем слое. На каждом этапе число внутренних α -частиц возрастает до максимального 10.

Эта особенность представлена в табл. 3, составленной как для рассмотренных уже оснований, так и для нескольких последующих.

Число 10, появляющееся всегда при конце действия оснований как разность числа α -частиц и числа нейтронов, не может быть случайным и, наверное, находится в прямой связи с наибольшим числом α -частиц,

Таблица 3

Основание вида $ma + qn$	Закон n, p, r , кончается на	Число α - частиц, не требующих нейтронов	
		m	$m - q$
q			
2	10	8	
4	14	10	
6	16	10	
8	18	10	
10	20	10	
12	22	10	
14	24	10	
16	25	9	
18	28	10	

уравновешивающих без лишних нейтронов.

Ядро Zr_{40}^{90} заканчивает третий слой, состоящий из 6 α и 6 p .

Дальнейшее деление на группы производится на основании тех же принципов, которые использованы нами до сих пор. Применение их приводит к делению ядер на группы, даваемому табл. 4. В ядрах с законченными слоями мы встречаем те же «магические» числа нейтронов 20, 32, 50, 82, 126, на которые указывают американские авторы (2).

В табл. 4 группа VI, кроме того, делится на две явные под-

группы от 46 до 50 и от 50 до 56. Табл. 4 приводит к неожиданному результату: в ядрах играет роль группа p_2n_3 , представляющая как бы отдельную частицу Ферми в поле центрального ядра из целого числа α -частиц.

Таблица 4

№ группы	Пределы Z включительно	Число внут- ренних α -частиц	Число слоев	Число α -частиц в наруж- ном слое	Число нуклонов в слое	Масс-число A при конце группы	Разность
0	1—7	—	0			15	
I	8—20	4—10	0			40	25
II	16—20	8	1	2	10	48	8
III	22—28	7—10	2	2	10	64	16
IV	28—40	8—10	3	6	30	96	32
1	28—32	8—10	3	2	10		
2	30—36	7—10	3	4	20		8
3	34—40	7—10	3	6	30		
V	42—44	10	4	2	10	104	
VI	46—56	9—10	5	6	36	138	34
VII	57—76	8—10	6	10	60	192	54
VIII	78—80	10	7	2	10	200	8
IX	82—90	10	8	6	36	288	38

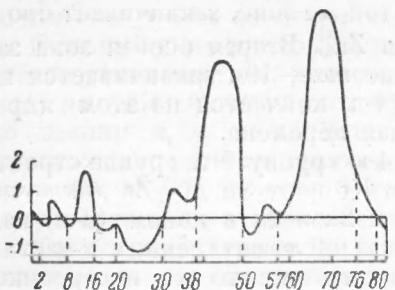


Рис. 1

Воронежский государственный
университет

Поступило
15 V 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 М. А. Левитская, ДАН, 55, 399 (1947). 2 М. Г. Майер, Phys. Rev., 74, 235 (1948); L. W. Nordheim, ibid., 75, 1894 (1949). 3 W. Gordy, ibid., 76, 139 (1949).