

И. А. ВАЙСМАН

## О ЗАМКНУТЫХ ОБОЛОЧКАХ НЕЙТРОНОВ И ПРОТОНОВ В АТОМНОМ ЯДРЕ

(Представлено академиком Л. Д. Ландау 5 I 1950)

Уже давно высказано было предположение (<sup>1-3</sup>), что протоны и нейтроны образуют в ядре замкнутые оболочки. За последнее время появился ряд статей ((<sup>4-6</sup>) и др.), в которых снова ставится этот вопрос. В них доказывается, что суммарное (нарастающее) число протонов в оболочках составляет 2, 8, 20, 50 и 82, а нейтронов — 2, 8, 20, 50, 82 и 126, и эти числа получили даже название магических. При этом обычно предполагается, что число частиц в оболочках (конечно, лишь в пределах до 82) и порядок чередования оболочек одинаковы как для протонных, так и для нейтронных оболочек.

Эмпирическим подтверждением существования замкнутых оболочек частиц должна являться особая стабильность ядер, которыми заканчивается каждая оболочка. Для доказательства того, что „магические“ числа протонов и нейтронов действительно совпадают с границами оболочек, в зарубежной литературе приводились самые разнообразные данные — об изомеризме, о спинах, магнитных и квадрупольных моментах. Однако при этом не было обращено внимание на одно весьма важное обстоятельство, заключающееся в следующем.

В нашей работе, посвященной вопросу о периодизации элементов на основе строения атомного ядра (<sup>7</sup>), мы указывали, что отсутствие в природе в качестве стабильных таких элементов, как 43-й и 61-й, может объясняться существованием в ядре замкнутых систем частиц, в состав которых входят протоны и после заполнения которых, с переходом к следующей системе, энергия связи частиц, как и в электронных оболочках, резко уменьшается — настолько резко, что это уменьшение, наряду со все возрастающим влиянием электростатических сил отталкивания между протонами, служит препятствием к образованию ядра следующего элемента.

Если такой же принцип применить к исследованию нейтронных оболочек, то приобретает существенное значение тот факт, что в природе отсутствуют стабильные ядра с числом нейтронов 19, 35, 39, 45, 61, 89, 115, 123, а также ядра с естественной  $\alpha$ -радиоактивностью и числом нейтронов 129 и 139. В большинстве случаев ядра с такими числами нейтронов отличаются искусственной  $\beta$ -радиоактивностью, и поэтому мало вероятно, чтобы в будущем они оказались открытыми как стабильные. В соответствии с этим можно думать, что помимо оболочек, соответствующих некоторым „магическим“ числам, существуют нейтронные оболочки, в которых суммарное (и нарастающее) число нейтронов составляет 18, 34, 38, 44, 60, 88, 114, 122, 128 и 138.

В табл. 1, которая аналогична периодической таблице элементов, приведенной в нашей предыдущей работе \*, штриховыми линиями обозначено местоположение групп отсутствующих в природе стабильных ядер с указанными выше числами нейтронов. Пунктирными линиями обозначено местоположение групп ядер с числом нейтронов 21, 51 и 83, т. е. следующих за „магическими“ числами. То, что ядра с числом нейтронов 50 и 82 замыкают собою нейтронные оболочки, подтверждается, в частности, отсутствием наиболее тяжелых изотопов стронция и бария в качестве стабильных.

Большой интерес представляет то обстоятельство, что несколько штриховых линий, соответствующих окончанию оболочек с суммарным числом нейтронов 18, 34, 60, 88 и 114 (см. табл. 1), проходит в местах „перегиба“ периодических рядов элементов, в местах, где „горизонтальные“ их части переходят в „наклонные“, т. е. где происходит переход от тех частей периодов, в которых увеличение числа протонов на единицу сопровождается увеличением числа нейтронов тоже на единицу, к тем частям, в которых оно сопровождается увеличением числа нейтронов на два. Точно так же числа нейтронов 50, 82, 138 приходится на места перехода от одного периода к другому, т. е. от „наклонных“ частей к „горизонтальным“. Таким образом, когда рост числа нейтронов становится более быстрым, происходит также смена одной оболочки другою, и это наблюдается в некоторых случаях и при замедлении роста числа нейтронов.

Из этого не следует, что справедливо и обратное, т. е. что переход от одной оболочки к другой означает всегда изменение в темпе роста числа нейтронов. Как видим, в „наклонных“ частях 3-го и 6-го периодов содержится по несколько оболочек. Возможно, что это — оболочки с приблизительно одинаковыми или близкими уровнями энергии.

В отношении протонных оболочек отсутствие следующего за окончанием оболочки стабильного элемента может служить достаточно веским показателем существования конца оболочки, как мы видели, только в тех двух случаях, когда число протонов в ядре составляет 42 и 60. Но, наряду с этим признаком, который можно считать наиболее показательным из числа используемых в настоящее время, может иметь существенное значение в отношении протонных оболочек также и такой признак, как степень распространенности элементов в природе, являющаяся, вероятно, функцией устойчивости их ядер. Этот признак был уже применен однажды (4) к протонным оболочкам у элементов Sn и Pb.

Как известно, на кривой средних чисел распространенности (кларков) вершины ее занимают элементы с атомными номерами: O 8, Si 14, Ca 20, Fe 26, Sr 38 (?), Sn 50, Ba 56, W 74, Pb 82 (относительно стронция данные о распространенности являются спорными). В этом ряду мы находим и большинство „магических“ чисел.

В итоге мы получаем следующие ряды чисел, выражающих, как можно думать, число частиц в оболочках (см. табл. 2).

При сравнении данных, относящихся к числу частиц в ядрах, замыкающих оболочки, часто встречаются одни и те же числа как у протонов, так и у нейтронов. В частности, интересно, что и там и здесь встречается число 60. Однако при этом числа частиц в каждой оболочке у протонов и нейтронов большей частью совершенно различны. Это приводит к выводу, что, в отличие от господствующего в зарубежной литературе мнения, строение протонных и нейтронных оболочек нельзя считать тождественным. В одной из работ, посвя-

\* По вопросам периодизации элементов и атомных ядер имеется ряд работ советских авторов ((7-11) и др.).

Таблица 1

№ элемент	Группы										Элементы										J																																																																																																																
	III	IV	V	VI	VII	VIII					I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II																																																																																																																	
1																						1																																																																																																															
2	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Ra	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
3	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Ra	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																	
4	Y	Zr	Nb	Mo	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Ra	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																																			
5	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Ra	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																																																					
6	Hs	Ta	W	Re	Os	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Ra	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																																																																					
7	Ag	Th	Pa	U	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																																																																																	

элементы обозначены числом содержащихся в них нейтронов. В горизонтальных строчках обозначены порядковые номера элементов. В вертикальных столбцах обозначены порядковые номера групп.

Таблица 2

Число протонов в ядрах, замыкающих протонные оболочки . . . . .	2	8	14	20	26	38?	42	50	56	60	74	82						
Число нейтронов в ядрах, замыкающих нейтронные оболочки . . . . .	2	8	18	20		34	38	44	50		60		82	88	114	122	128	138
Число протонов в оболочке . . . . .	2	6	6	6	6		12	4	8	6	4	14	8					
Число нейтронов в оболочке . . . . .	2	6	10	2		14	4	6	6		10		22	6	26	8	6	10

ценных вопросу об оболочках<sup>(5)</sup>, указывается, что если не проводить различия между структурой протонных и нейтронных оболочек, то это может явиться для теории источником трудностей, и что заслуживает внимательного изучения вопрос о возможности особого строения протонных оболочек с числом частиц свыше 60. Как видим, такого изучения заслуживает и вопрос о строении оболочек с меньшим числом протонов.

Из наших данных можно сделать и некоторые другие выводы относительно современной теории строения оболочек. Эти данные подтверждают гипотезу о существовании в ядре оболочек, заполненных протонами и нейтронами. Иначе стоит вопрос о том теоретическом обосновании числа частиц в оболочках и чередования оболочек, какое дается в настоящее время.

Теоретическое истолкование „магических“ чисел в зарубежной литературе дается, как известно, на основе так называемой модели Хартри, предполагающей в ядре независимое движение частиц, при котором энергия ядра равна сумме собственных энергий отдельных частиц, движущихся в усредненном поле. Число частиц в отдельных оболочках обычно принимается таким же, как в электронных оболочках, т. е.  $2(2l + 1)$ , что дает ряд чисел 2, 6, 10, 14, 18, 22, 26 и т. д., но чередование ядерных оболочек совершенно иное, чем электронных.

При этом, однако, как неоднократно указывалось в литературе, теоретически рассчитанное число частиц в каждой оболочке и общее число протонов или нейтронов в ядре не соответствует „магическим“ числам. Для достижения такого соответствия одни авторы<sup>(1, 2, 5)</sup> исключают некоторые из теоретически рассчитанных оболочек, другие<sup>(6)</sup> изменяют теоретически рассчитанный порядок чередования некоторых оболочек, третьи<sup>(4)</sup>, помимо изменения порядка чередования, делят каждую оболочку (кроме *s*-уровней) на две части, включая в каждую из них частицы с одинаковым спином. При помощи таких в достаточной мере искусственных приемов удается дать теоретическое объяснение „магическим“ числам.

Однако в отношении чисел, приведенных нами выше (см. табл. 2), это оказывается невозможным. Нельзя, разумеется, игнорировать тот факт, что, по нашим данным, в нейтронных оболочках встречаются почти все числа, соответствующие формуле  $2(2l + 1)$ , а именно 2, 6, 10, 14, 22 и 26. Но все же остается несоответствие между эмпирическими числами нейтронов в других оболочках и „модернизированными“ теоретическими расчетами, а в еще большей мере — непригодность этих расчетов для объяснения числа частиц в протонных оболочках.

Таким образом, исходя из наших данных, следует прийти к выводу, что современная теория строения оболочек должна быть пересмотрена.

Поступило  
14 XII 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> J. H. Bartlett, Phys. Rev., 41, 370 (1932); 42, 145 (1932). <sup>2</sup> W. M. Elsasser, Journ. de phys. et le radium, 4, 549 (1933); 5, 389, 635 (1934). <sup>3</sup> Г. А. Бете и Р. Ф. Бечер, Физика ядра, 1, 1938. <sup>4</sup> M. G. Mayer, Phys. Rev., 74, 235 (1948); 75, 1969 (1949). <sup>5</sup> E. Feenberg and K. S. Hammett, ibid., 75, 1877 (1949). <sup>6</sup> L. W. Nordheim, ibid., 75, 1894 (1949). <sup>7</sup> И. А. Вайсман, ДАН, 62, № 2 (1948). <sup>8</sup> И. П. Селинов, ЖЭТФ, 4, 666 (1934). <sup>9</sup> С. А. Шукарев, ЖОХ, 19, 3, 373, 380, 391 (1949). <sup>10</sup> А. П. Знойко, ДАН, 68, 837, 1021 (1949); 69, 169 (1949) <sup>11</sup> М. А. Левитская, ДАН, 55, 395 (1947); 60, 45 (1948); 61, 55 (1948); 64, 61 (1949).