

И. А. ВАЙСМАН

ОПЫТ ПЕРИОДИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СТРОЕНИЯ АТОМНОГО ЯДРА

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 13 VII 1948)

Периодичность, связанная со строением ядра, наблюдается у элементов в двойкой форме. Одна из форм этой периодичности связана с изотопным номером ядер ($N - Z$).

В табл. 1 дана систематика элементов, исходящая из тех закономерностей, какие наблюдаются в изменении изотопных номеров. Таблица составлена по данным Сиборга ⁽¹⁾ и Маттауха ⁽²⁾ и, подобно таблицам стабильных ядер в работах Маттауха, включает все стабильные ядра и ядра естественно-радиоактивные, кроме β -излучателей с коротким периодом полураспада. Ядра обозначены их изотопными номерами. В табл. 1 все элементы расположены в порядке возрастания Z и объединены в вертикальные группы, совпадающие с группами системы Менделеева (с той разницей, что неон занимает место, соответствующее восьмой, а не нулевой группе), и в горизонтальные ряды, которые в значительной мере соответствуют «большим периодам» менделеевской системы. Одним из отличий от этих периодов является то, что редкие земли составляют в нашей таблице один из рядов, представляющий собой органическую составную часть всей системы. Ядра различных элементов, имеющие одинаковый изотопный номер, расположены на одной и той же горизонтали.

При таком расположении элементов и их изотопов обнаруживаются следующие эмпирические закономерности:

а) Если сравнить между собой минимальные изотопные номера соседних четных элементов и затем произвести такое же сопоставление их максимальных изотопных номеров, то оказывается, что на некоторых участках всей системы элементов как минимальные, так и максимальные (а также и промежуточные) изотопные номера у ряда следующих друг за другом четных элементов имеют тенденцию оставаться без изменения, а на других участках они обнаруживают тенденцию возрастать, причем общий характер этого возрастания может быть выражен арифметической прогрессией, разность которой равна 2. То же самое наблюдается у изотопов нечетных элементов, и притом на тех же участках. Если на одних участках есть возможность провести через нечетные изотопы ряда соседних элементов горизонтальную прямую линию, то на других участках эта прямая может быть лишь наклонной.

Иными словами, при увеличении числа протонов на 2, изотопный номер I имеет тенденцию либо оставаться без изменения, либо увеличиваться так же, как число протонов. Какой-либо иной устойчивой тенденции не наблюдается.

б) Каждый из «больших рядов» нашей таблицы состоит из двух участков или отрезков, горизонтального и наклонного, правильно сменяющих друг друга с ростом атомного номера элементов и с переходом от одного ряда к другому. В первом из этих отрезков как четные, так и нечетные элементы обладают свойством, выражаемым формулой $\Delta I = 0$, а во втором $\Delta I = 2$. Это свойство элементов, следо-

вательно, изменяется периодически, и ряды нашей таблицы являются в этом смысле периодами. Из семи периодов имеется пять «больших» и два «малых».

в) Число элементов, которые входят в состав первой части каждого из «больших периодов», является наибольшим во втором периоде, а затем уменьшается. При этом, однако, отрезки периодов, характеризующиеся одинаковыми свойствами, располагаются один под другим, и ряды элементов «примыкают» друг к другу своими изотопными номерами, которые в этих рядах изменяются параллельно.

Те факты периодичности у изотопов, которые были отмечены Астоном⁽³⁾, представляют собой частный случай проявления сформулированных выше эмпирических закономерностей.

Исходя из них, можно допустить существование в природе неоткрытых еще ядер, изотопные номера которых отвечают этим закономерностям. В отношении значительной части этих ядер такое допущение вытекает также из следующих эмпирических правил:

1. У четных элементов, начиная с кислорода, массовые числа крайних изотопов (минимального и максимального по массе) являются четными.

2. У четных элементов, начиная с никеля, отсутствуют нечетные изотопы, соседние с крайними четными.

3. Изотопный номер минимального по массе изотопа каждого четного элемента, начиная с кислорода, не ниже изотопного номера минимального изотопа предыдущего четного элемента; аналогичному правилу подчиняются и максимальные по массе изотопы четных элементов, а также минимальные и максимальные нечетные изотопы нечетных элементов.

В настоящее время из предлагаемых нами правил имеются некоторые исключения. Если рассматривать эти правила как выражение строгих закономерностей, то следует допустить возможность открытия ядер, при наличии которых таких исключений не существовало бы.

Говоря о неизвестных в настоящее время, но существующих в природе ядрах, мы исходим из представления о системе изотопов как о результате длительной эволюции, в процессе которой одни изотопы сохранились в значительных или заметных количествах, другие же либо совершенно исчезли, либо сохранились в столь небольших количествах, что для их открытия необходимы более совершенные методы, чем применявшиеся до сих пор. В нашей таблице в круглых скобках проставлены изотопные номера ядер, открытие которых, по изложенным соображениям, рассматривается как возможное, в квадратных скобках — номера ядер, сохранение которых в природе представляется менее вероятным, но все же не может быть полностью исключено.

Быть может, не лишено интереса то обстоятельство, что максимальные изотопные номера в горизонтальных отрезках периодов нашей таблицы (в нынешнем ее виде) выражаются цифрами 2, 8, 30, 40 и 54.

Кроме явлений периодичности, связанных с изотопным номером ядра, наблюдается периодичность и в иной форме, связанной с зарядом ядра. Эта периодичность обнаруживается из расположения во всем ряду элементов тех членов этого ряда, существование которых как стабильных * донныне не установлено, т. е. элементов 43, 61, 85 и 87. Атомные номера элементов, предшествующих каждому из отсутствующих, с добавлением атомного номера последнего из существующих в природе элементов, образуют ряд чисел — 42, 60, 84, 86, 92, в котором при внимательном рассмотрении можно констатировать некоторые весьма характерные особенности:

* Под стабильными понимаются здесь элементы, обладающие такими же свойствами, как те элементы, которые включены в табл. 1.

Период	Г р у п п ы								Э л е м е н т о в								Z
	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	
1														H ⁻¹	He ⁰	Li ⁰	Be ⁰
2	B ⁰	C ⁰	N ⁰	O ⁰	F ⁰	Ne ⁰			Na ⁰	Mg ⁰	Al ⁰	Si ⁰	P ⁰	S ⁰	Cl ⁰	A ⁰	K ⁰
3	Sc ⁰	Ti ⁰	V ⁰	Cr ⁰	Mn ⁰	Fe ⁰	Co ⁰	Ni ⁰	Cu ⁰	Zn ⁰	Ga ⁰	Ge ⁰	As ⁰	Se ⁰	Br ⁰	Kr ⁰	Rb ⁰
4	Y ⁰	Zr ⁰	Nb ⁰	Mo ⁰		Ru ⁰	Rh ⁰	Pd ⁰	Ag ⁰	Cd ⁰	In ⁰	Sn ⁰	Sb ⁰	Te ⁰		Xe ⁰	Cs ⁰
5	La ⁰	Ce ⁰	Pr ⁰	Nd ⁰		Sm ⁰		Eu ⁰	Gd ⁰	Tb ⁰	Dy ⁰	Ho ⁰	Er ⁰	Tm ⁰	Yb ⁰	Lu ⁰	
6	Hf ⁰	Ta ⁰	W ⁰	Re ⁰		Os ⁰		Ir ⁰	Pt ⁰	Au ⁰	Hg ⁰	Tl ⁰	Pb ⁰	Bi ⁰	Po ⁰		
7	Ac ⁰	Th ⁰	Pa ⁰	U ⁰													

- а) Все эти числа являются четными.
- б) Все обозначенные этими числами элементы, кроме 86-го, при-

надлежат к VI группе периодической системы Менделеева (к ним может быть отнесен и ${}^{60}\text{Nd}$, так как он в нашей табл. I является гомологом таких элементов VI группы, как Mo и U).

в) Разности между каждыми двумя последовательными числами этого ряда составляют 18, 24, 2 и 6, т. е. в большинстве своем величины, весьма известные в атомной физике.

г) Одно из чисел этого ряда, а именно 84, является в точности кратным по отношению к другому — к 42.

Эти факты внушают представление о существовании в ядре замкнутых систем частиц, в состав которых входят протоны и после заполнения которых, с переходом к следующей системе, энергия связи частиц уменьшается настолько, что это уменьшение, наряду со все возрастающим влиянием электростатических сил отталкивания между протонами, служит препятствием к образованию ядра следующего элемента.

Естественно, что в заполненном виде все эти системы содержат четное число протонов. В одном случае влияние препятствий к образованию ядра ближайшего элемента столь велико, что оно сказывается не только на этом ближайшем элементе, но отчасти и на следующем за ним. Мы имеем в виду ${}^{62}\text{Sm}$. Самарий выделяется из числа других элементов двумя особенностями: 1) он является единственным элементом (кроме урана), у которого, при наличии крайних четных изотопов, отсутствует один из промежуточных четных, а именно Sm^{146} ; 2) у другого его изотопа, Sm^{148} , наблюдается α -распад, что тоже представляет собой единственный случай среди всех элементов вплоть до висмута.

Если в ядре существуют замкнутые системы частиц, то существует и соответствующая периодичность. Так, можно предполагать существование двух больших периодов, содержащих по 42 элемента, и начала третьего периода, которое состоит из 8 элементов, в пределах же больших периодов — существование периодов малых, в которых нарастающая сумма числа элементов составляет 2, 8, 18, 42.

Еся совокупность отмеченных нами эмпирических закономерностей должна быть, повидимому, интерпретирована в том смысле, что нуклоны образуют две основные системы частиц (каждая из которых, в свою очередь, строится из частных систем): 1) состоящую из сравнительно небольшого числа нейтронов, равного $N - Z$; 2) включающую все остальные частицы и состоящую из равного, парного количества протонов и нейтронов. Эта последняя, под влиянием кулоновских сил отталкивания между протонами, находится дальше от центра ядра, чем небольшая чисто нейтронная система, являющаяся центральной.

В ядерной физике известна гипотеза о существовании в ядре энергетических «оболочек», разработанная Бете и Бечером ⁽⁴⁾ и в иной форме недавно выдвинутая вновь ⁽⁵⁾, а также так называемая «геометрическая модель» ядра ⁽⁶⁾. Как эти гипотезы, так и те явления, которые отмечены нами, приводят к представлению о периодичности, основанной на строении ядра.

Автор глубоко признателен акад. П. А. Ребиндеру за внимание к работе и чл.-корр. АН СССР И. М. Франку за интерес к работе и ценные указания при просмотре рукописи.

Поступило
12 VII 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ G. T. Seaborg, Rev. Mod. Phys., **16**, 1, 1 (1944). ² J. Mattauch, Nuclear Physics Tables, 1946. ³ F. W. Aston, Mass Spectra and Isotopes, 1942, § 117. ⁴ Г. Бете и Р. Бечер, Физика ядра, ч. I, §§ 22—24, 1938. ⁵ H. A. Wilson, Phys. Rev., **69**, 9—10, 538 (1946). ⁶ Weizelmeier, Z. f. Phys., **167**, 332 (1937).