

М. А. ЛЕВИТСКАЯ

ОСОБЫЕ ЗОНЫ В СИСТЕМЕ ЯДЕР

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 7 VI 1948)

1. Особыми зонами в этой работе называются области атомных номеров, где нечетные ядра имеют по два изотопа. Это области Z : от 1 до 7, от 16 до 21, от 28 до 38, от 46 до 52, от 60 до 64 и от 70 до 82. Первая из этих областей существенно отличается от остальных и мы будем называть ее нулевой зоной. В этой работе главное внимание обращено на следующие, первую и вторую, особые зоны.

До сих пор не выяснено, какова причина того, что в указанных областях нечетные ядра имеют по два изотопа. Мы указывали уже ⁽¹⁾, что области эти обладают еще другими отличающимися их свойствами. В настоящей работе сделана попытка объяснить эти зоны. При этом используются исключительно фактические данные и из теоретических основ принят только принцип Паули, несомненно оправдывающийся в действительности.

2. Что дают ядерные реакции. Из таблиц Сиборга и Грассмана и Дибнера ⁽²⁾ можно извлечь следующую табличку.

Если не считать дейтона (d), который явно делится при соударении, то из табл. 1 следует, что чаще всего выбивается нейтрон. Это дает повод предположить, что нейтрон существует в виде слабо связанных (свободных) частиц во внешних частях ядра. Данные табл. 1 никак нельзя согласовать с гипотезой распределения протонов вблизи поверхности ядра ⁽³⁾.

В таблицах нет случаев выбивания α -частиц из ядер с $Z = 8, 18, 33, 48$ (62) и 76, представляющих центры особых зон. Это заставляет думать, что эти ядра требуют большей энергии для выбивания α -частиц, чем остальные. Наоборот, ядра, лежащие на краях зон, дают выбивание α -частиц, что особенно заметно у тяжелых ядер. От 42 до 47 нет случая выбивания α -частиц, но есть при 47 и 49. Дальше до 56 нет выбивания α -частиц, но есть при 56 и 58. Затем выбивание α -частиц встречается только при 75 и затем при 79, 80 и 81.

Из этого мы заключаем, что в центрах зон α -частицы, как целое, либо лежат очень глубоко внутри ядра, либо располагаясь вблизи поверхности, находятся как бы в разрыхленном состоянии, так что из них выбиваются отдельные протоны и нейтроны. Это, конечно, касается наиболее устойчивых ядер указанных номеров, т. е. изотопов **наибольшего** содержания, и не противоречит α -активности ядра 62/148 (14%). На краях особых зон α -частицы, как целое, очевидно, удерживаются уже слабее.

Таблица 1

Удерживающиеся частицы	Число выбиваний *		
	n	p	α
α	63	15	—
p	109	2	2
n	78	64	40
d	100	132	28
γ	42	1	—

* До радиоактивных элементов.

Сделанное нами заключение подтверждается и способностью ядер к присоединению частиц, которую можно вывести из тех же таблиц.

Обыкновенно α -частица может усваиваться ядрами с выбиванием нейтрона и образованием плюс-активного ядра номера $Z + 2$. Однако для центров особых зон таких случаев в таблицах нет.

Относительно присоединения протона нет данных для $Z = 18$ и 76 . При $Z = 48$ протон присоединяется, очевидно, легко с образованием плюс-радиоактивного индия, также возможно довольно длительное присоединение к ядрам 32 и 62 .

3. Поведение лишнего нейтрона как указание на происхождение особых зон. Показателем способности ядер

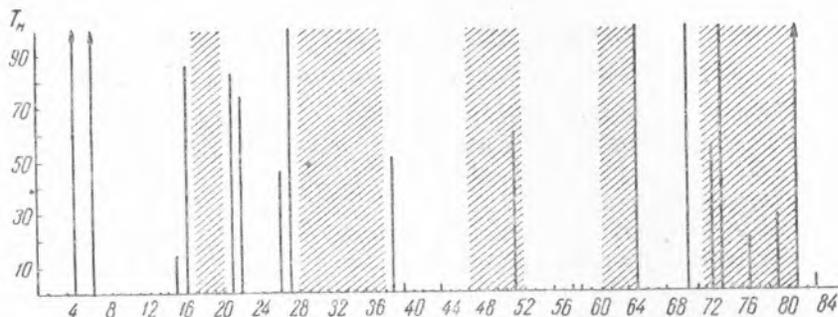


Рис. 1. Периоды полураспада первого из более тяжелых β -изотопа

удерживать лишний нейтрон без превращений служат периоды полураспада минус-радиоактивных ядер того же Z .

На рис. 1 даны периоды полураспада первого за наиболее тяжелым стабильным изотопом минус-радиоактивного ядра. По ординатам

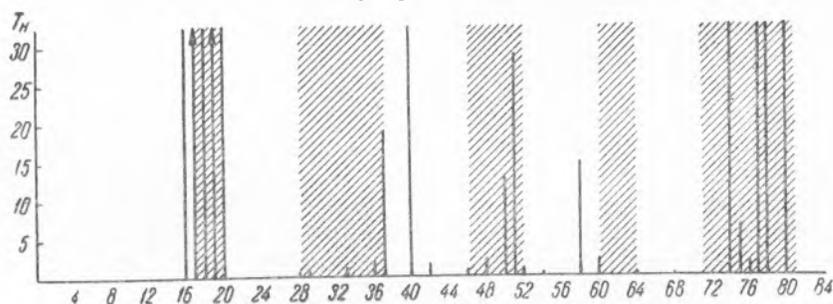


Рис. 2. Периоды полураспада среднего β -изотопа

отложены дни. Особенно большие периоды отмечены стрелками. Затененные полосы представляют особые зоны. Нам кажется, не может быть спора о несомненной роли особых зон в отношении наибольших периодов полураспада, т. е. в отношении наибольшей способности ядер удерживать лишний нейтрон без превращения.

На рис. 2 нанесены периоды полураспада для β -изотопа, среднего между стабильными изотопами (первого за идущими без разрыва). Здесь связь с особыми зонами не так определена, но все же отрицать ее вряд ли возможно.

Для плюс-радиоактивных ядер никакой определенной связи периодов с особыми зонами не обнаруживается.

Энергии выходящих β -частиц в отношении особых зон также не показывают никакой ясной закономерности.

Рис. 1 и 2 представляют неоспоримые данные опыта; эти данные нельзя вывести из современной теории β -распада. Рис. 1 и 2 убеждают

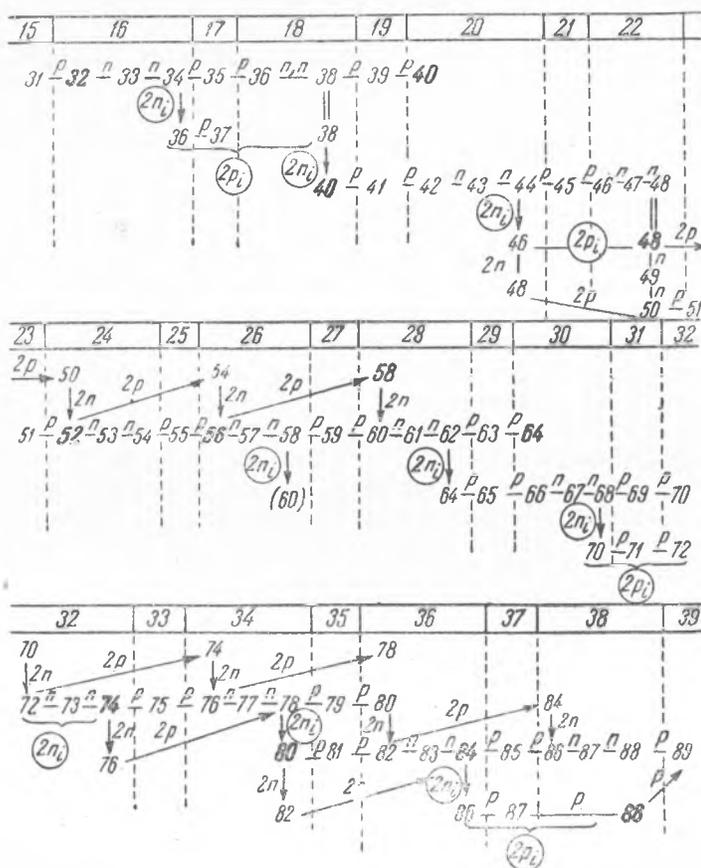
нас в том, что «особые зоны» являются, в первую очередь, результатом нейтронных процессов в ядре.

То, что нейтрон может на значительное время присоединиться к наиболее тяжелому изотопу (у которого заняты верхние нейтронные уровни), показывает, что верхний нейтронный уровень изотопа имеет свободные места (в различных представителях одного и того же ядра). А это может быть только тогда, когда нейтроны с этого уровня переходят на более глубокий. Если ядро подобно капле, то для поверхностных частиц уровень энергии более высок, чем для внутренних частиц. Поэтому мы будем также употреблять выражение внешние и внутренние нейтроны вместо нейтронов на верхних и нижних уровнях энергии.

4. Схема образования особых зон. В нулевой зоне, от 1 до 7, порядок построения ядер есть последовательное присоединение

Таблица 2

Схема развития ядер от начала первой до конца второй особой зоны



Примечания. При $Z = 18$ весьма вероятен изотоп 37, процентное содержание которого, согласно дополнениям к таблицам Маттауха, равно 0,003. Это вполне соответствует аналогичному ходу изотопов при $Z = 14$. При $Z = 26$ также весьма вероятен изотоп 60, и по предлагаемой схеме он соответствует началу перестройки уровней; между 58 и 60 уже происходит засасывание нейтронов внутрь, что и вызывает освобождение в некоторых ядрах верхнего нейтронного уровня (рис. 1). Жирным шрифтом выделены изотопы наибольшего содержания.

п и р. В центре зоны, при 3 и 4, как целое, играет роль соединение $p + p$. Начиная с 8, устанавливается порядок последовательного присоединения п, п, р, р. Он нарушается при 16 — начале 1-й особой зоны. Здесь появляется неразделимая группа 2п. Так как она не сопровождается еще группой 2р, как это наблюдается дальше, то мы склонны считать на первых ступенях появление 2п происходящим из-за перехода нейтронов с верхних уровней на нижние. В конце первой особой зоны появляется группа 2р. Дальше, от 22 до 29, устанавливается порядок усложнения ядра одновременно двумя способами: прежним п, п, р, р и новым, двойными группами 2п, 2р. Мы считаем, что порядок присоединения п, п, р, р нельзя считать равнозначным с построением путем 2п, 2р, как это принимают некоторые авторы (4). Этот порядок возмущается при 29, где в нем появляется запутанность. Мы склонны объяснить ее также переходами нейтронов (а в месте с тем и протонов) на нижние уровни. Привожу схему (табл. 2) усложнения ядер от начала 1-й особой зоны до конца 2-й, построенную мной в согласии с рис. 1 и 2. Места переходов ядерных частиц на нижние уровни отмечены через 2п₁, 2р₁. Передвижение протонов, как более внутренних частиц, считается при этом не сопровождающимся обязательно освобождением мест на верхних нейтронных уровнях.

5. Заключение. Итак, настоящая работа объясняет появление второго изотопа у нечетных ядер как следствие перехода нейтронов в предыдущем четном ядре с более высокого уровня на более низкий; в связи с этим происходит разветвление в строении ядер: прежняя ветвь ослабевает и останавливается, а новая развивается дальше.

Если в местах 16—18, 20—22, 29—32, 36—39, т. е. на краях особых зон, происходит передвижение уровней, то оно должно соединяться со значительными колебаниями энергии. Действительно, в этих местах можно найти по таблицам Маттауха заметные колебания упаковочного коэффициента и дефекта массы на одну частицу.

Перестройка уровней на краях особых зон должна соединяться с возмущениями в числе частиц на отдельных уровнях и сопровождаться их преобразованием, т. е. в этих местах надо ожидать появления естественной радиоактивности, что действительно и оправдывается. Передвижение частиц, несомненно, соединяется с сильными изменениями момента импульса ядра, и в этом можно видеть согласие нашего толкования очень длинных периодов с теорией запрещенных β -переходов Ферми (5).

Воронежский государственный университет

Поступило
29 I 1948

ЦИТИРОВАНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. А. Левитская, ДАН, 55, 399 (1947). ² G. T. Seaborg, Rev. Mod. Phys., 16, No. 1, 1 (1944); K. Diebner u. E. Grassman, Phys. Z., 37, 359 (1936); 38, 406 (1937); 39, 469 (1938); 40, 297 (1939); 41, 157 (1940). ³ J. G. Winans, Phys. Rev., 71, 379 (1947). ⁴ Л. Б. Позинковский, ДАН, 40, 50, (1943). ⁵ E. Fermi, Z. Phys., 88, 173 (1933); Г. А. Бете и Р. Ф. Бечер, Физика ядра, 1938, стр. 196.