

Б. С. ДЖЕЛЕПОВ

О ПОДОБНЫХ СОСТОЯНИЯХ ИЗОБАРНЫХ ЯДЕР

(Представлено академиком П. П. Лукирским 25 IX 1952)

§ 1. Зеркальными ядрами первого порядка называются соседние изобары типов $N + p$ и $N + n$, где N — «остаточное» ядро, состоящее из равного числа нейтронов n и протонов p .

Установлено ⁽¹⁾ что у таких пар ядер разность масс полностью определяется разностью кулоновских энергий и разностью масс $n - p$:

$$\Delta M_{\text{я}} = \frac{1}{c^2} \Delta E_{\text{кул}} - (n - p). \quad (1)$$

Если вычислить кулоновскую энергию по элементарной формуле для электростатической энергии шара, равномерно заряженного по объему, и полагать радиус шара равным $1,46A^{1/2} \cdot 10^{-13}$ см, то для разности масс соответствующих атомов получается формула:

$$\Delta M_{\text{а}} = 1,88 \frac{z-1}{A^{1/2}} - 0,782 \text{ Мэв}, \quad (2)$$

дающая совпадение с опытными данными для известных пар со средним отклонением всего 3%.

Зеркальными ядрами второго порядка называются изобары типа $N + 2p$ и $N + 2n$, где N — попрежнему остаточное ядро, состоящее из равного числа протонов и нейтронов. Разность масс атомов такой зеркальной пары можно описать формулой, аналогичной (2):

$$M_z^{2z-2} - M_{z-2}^{2z-2} = 1,188 \frac{2z-3}{A^{1/2}} - 1,493 \text{ Мэв}. \quad (3)$$

Эта формула хорошо согласуется с опытными данными для 5 пар зеркальных ядер второго порядка, изученных до сих пор.

Хорошее совпадение формул (2) и (3) с опытом позволяет предположить, что величина $\Delta M_{\text{а}}$, которую мы для краткости будем называть кулоновским смещением, играет важную роль и в других, не зеркальных изобарных ядрах. Дальнейшее является, таким образом, обобщением понятий, введенных ранее для зеркальных ядер, на все остальные категории ядер.

§ 2. Подобные состояния ядер. Пусть имеется любое атомное ядро в основном состоянии. Заменим в нем один из нейтронов протоном. Мы получим изобарное ядро с зарядом, большим на единицу, и с массой, возросшей на $\Delta M_{\text{а}}$. Назовем это состояние подобным первому и рассмотрим вопрос: является ли это новое состояние реально существующим?

Все возможные случаи можно разделить на 4 категории, которые мы поочередно рассмотрим.

1-я категория. Нейтрон, претерпевший замену, не входил в состав таких элементов внутренней структуры исходного ядра, которые разрушались бы при появлении протона (например, α -частиц, дейтонов, оболочек и т. д.); протон, возникший в результате замены, также не образовал новых элементов структуры.

В этом случае ядро как бы безразлично относится к замене нейтрона на протон; можно ожидать, что полученное состояние будет основным для нового ядра.

Это рассмотрение можно провести и в обратном порядке: если, прибавив к массе основного состояния исходного ядра величину ΔM_a , мы получаем в точности массу следующего изомера в его основном

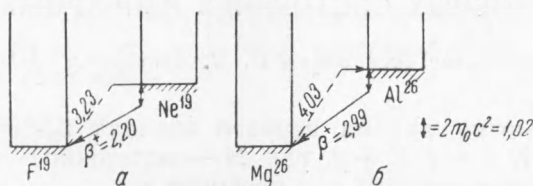


Рис. 1. Примеры пар ядер, у которых подобны основные состояния. Пунктиром показано кулоновское смещение, величина которого указана рядом. Все энергии в Мэв

состоянии, то это означает, что при замене нейтрона протоном не произошло изменения структуры ядра.

Именно этот случай мы имеем во всех известных нам 16 зеркальных парах первого порядка.

Так например, для зеркальной пары $F^{19} - Ne^{19}$, изображенной на рис. 1 а, величина ΔM_a по формуле (2) равна 3,23 Мэв, а сумма граничной энергии позитронного спектра Ne^{19} и $2m_0c^2$ равна 3,22 Мэв. Это численное совпадение указывает нам на то, что основные состояния F^{19} и Ne^{19} имеют одинаковую структуру.

Не только зеркальные пары первого и второго порядка могут иметь одинаковую структуру. На рис. 1 б показано положение для пары $Al^{26} - Mg^{26}$. Граничная энергия позитронного спектра Al^{26} (2,99 Мэв) почти точно равна $\Delta M_a - 1m_0c^2 = 3,01$ Мэв, что указывает на совпадение или близость структур основных состояний Mg^{26} и Al^{26} . Аналогичное совпадение наблюдается у P^{30} и Si^{30} .

2-я категория. Нейтрон, претерпевший превращение, не входил в структуру, но протон образовал новую α -частицу, дейтон и т. д. В этом случае полученное состояние будет выше основного, т. е. будет возбужденным состоянием нового ядра.

Мы выдвигаем здесь гипотезу, что полученное таким путем состояние реально существует. Примеры, приведенные на рис. 2, являются по меньшей мере обнадеживающими: на том месте, где мы ожидаем встретить уровень изобарного ядра, мы его действительно встречаем. К этой категории относятся все переходы типа $k\alpha + p + 3n \rightarrow (k+1)\alpha$ (образование α -частицы) и $k\alpha + 2n \rightarrow k\alpha + d_1$ (образование дейтона), где k — любое целое число.

Величина возбуждения соответствует энергии, выделяющейся при образовании новой, более плотной структуры; мы можем этим способом устанавливать появление новых структурных элементов.

3-я категория. Нейтрон, претерпевший замену, входил в состав структуры исходного ядра, а новый протон не может входить в такую

структуру. В этом случае полученное состояние будет ниже действительного основного состояния ядра-продукта, что будет указывать на невозможность прежней структуры при новом составе ядра.

Примером превращения 3-й категории могут служить превращения $k\alpha \rightarrow (k-1)\alpha + 3\beta + \pi$.

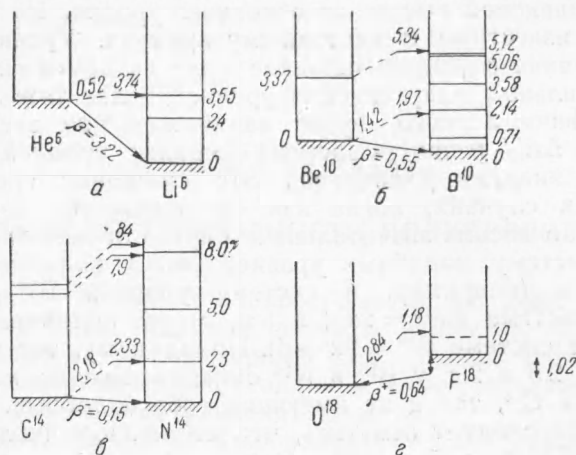


Рис. 2. Примеры пар ядер, у которых подобны основное состояние левого и возбужденное состояние правого ядра или же два возбужденных состояния. Пунктиром показано кулоновское смещение. Приведены уровни, достоверные согласно (3)

4-я категория. Нейтрон входил в состав одной структуры, а новый протон входит в состав другой структуры. Взаимное расположение основных уровней будет такое, как в категории 2 или кате-

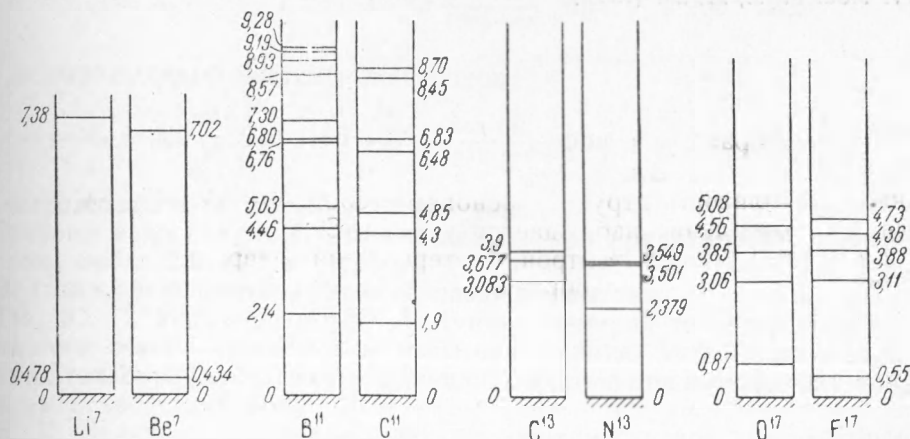


Рис. 3. Примеры подобия возбужденных состояний зеркальных ядер

гории 3 в зависимости от того, старая или новая структура лучше упакована. Практически неизвестно, какие случаи следовало бы отнести к 4-й категории.

§ 3. Подобие возбужденных состояний ядер. Сказанное выше относительно основных состояний ядер может быть обобщено на любые возбужденные состояния.

Величина кулоновского смещения ΔM_a , получаемая по формуле (2), не зависит от возбуждения ядра, если только не предполагать, что в возбужденных состояниях ядра имеют заметно отличающийся радиус.

Из постоянства ΔM_a следует:

1. У всех зеркальных ядер первого и второго порядка схемы уровней должны быть одинаковы, т. е. подобные уровни должны быть расположены на одинаковой высоте от основного уровня. На рис. 3 приведены 4 пары, известные к настоящему времени. Уровни хотя и не совпадают, но явно образуют похожие друг на друга системы.

2. У незеркальных ядер система уровней более тяжелого изобара, подобных уровням легкого, будет начинаться при энергии, равной $\Delta E + \Delta M_a$, где ΔE — разность энергий основных уровней (практически это граничная энергия β -спектра). Это смещение систем уровней невелико в тех случаях, когда как бы образуется дейтрон, как на рис. 2б и 2в, но весьма значительно в случае образования α -частицы. При этом в систему подобных уровней могут вклиниваться уровни другой системы (например, в систему уровней $B^{10} = 2\alpha + p + n$, аналогичную системе $Be^{10} = 2\alpha + n + n$, могут вклиниваться уровни, принадлежащие системе $B^{10} = 2\alpha + d$). Повидимому, так и происходит в случаях рис. 2б и 2в: у B^{10} и N^{14} обнаруживаются как состояния, подобные Be^{10} и C^{14} , так и не имеющие себе подобных.

В заключение следует отметить, что небольшое численное несоответствие подобных уровней не может быть неожиданным, если вспомнить, насколько элементарные представления были положены в основу формулы (1). Тщательное изучение этих небольших разностей должно указать, как усовершенствовать эту формулу.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
3 VII 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Б. С. Желепов, ЖЭТФ, 19, 361 (1949). ² Б. В. Желепов, Изв. АН СССР, сер. физ., 15, № 4, 499 (1951). ³ W. Hornyaq, T. Lauritsen et al., Rev. Mod. Phys., 22, 291 (1950).