

## О ВЫСОКИХ ИЗОСПИНОВЫХ СОСТОЯНИЯХ ЯДЕР, МУЛЬТИНЕЙТРОНАХ И ВТОРОЙ ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

В. И. Гольданский

Вопрос о существовании или несуществовании связанных  $\beta$ -активных мультинейтронов сводится к соотношению энергии возбуждения первого ядерного уровня с изотопическим спином  $T = A/2$  (обозначим эту энергию через  $\Delta_{A/2, T_0}(A)$ , где индекс  $T_0$  характеризует изоспин основного состояния ядра  $(A, Z)$ ,  $T_0 = \lfloor \frac{A}{2} - Z \rfloor$ ) и энергии кулоновского взаимодействия протонов  $E_{\text{кулон}} \approx Q [Z(Z-1)] / A^{1/3}$ .

Выбирая в качестве стандарта сравнения ряда изобаров изотопически самоспряженное ядро  $(A, A/2)$ , получаем очевидное соотношение:

$$E_{\text{связи}}(A, 0) = E_{\text{связи}}(A, A/2) + Q(A/2)[(A/2) - 1] - \Delta_{A/2, 0}(A) \quad (1),$$

откуда в качестве условия существования мультинейтрона можно записать неравенство:

$$\frac{1}{A} \Delta_{A/2, 0}(A) < \epsilon(A, A/2) + \frac{Q}{4} A^{2/3}. \quad (2)$$

Средняя энергия связи на один нуклон  $E$  не превышает, как известно,  $8 - 9 \text{ Мэв}$ , величина  $Q \approx 0,6 \text{ Мэв}$ . Что же касается левой части (2), то в пределах применимости известных формул масс атомных ядер (типа формулы Вейцзеккера – Ферми) ее характеризуют коэффициенты, стоящие при  $[(A/2) - Z]^2$  членах.

Наиболее полный и детальный анализ всех имеющихся экспериментальных данных и теоретических соображений, проведенный Йенекке [1], позволяет представить  $\Delta_{TT'}(A)$  в виде:

$$\Delta_{TT'}(A) \approx \frac{\alpha(A)}{A} [T(T+1) - T'(T'+1)] \pm \delta(A), \quad (3)$$

где малый поправочный член  $\delta(A)$  отсутствует при всех нечетных  $A$ , а при четных  $A$  равен нулю в случае четных  $T - T'$ , добавляется при четных  $(A/2) - T$ , вычитается при нечетных  $(A/2) - T$ .

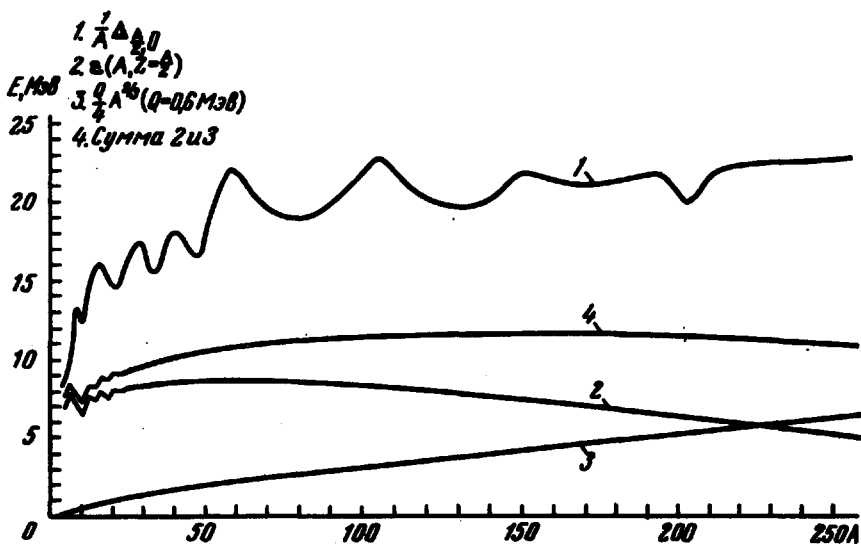
Поскольку в настоящее время величины энергий связи (масс) ядер при каждом данном  $A$  известны не более, чем для шести изобаров, расположенных вблизи от линии наибольшей устойчивости  $(A, Z)$ , то трудно говорить о количественной применимости формулы (3) при больших  $(T - T') \gg 3$ .

Качественно, однако, существенно, сохраняются ли и при больших  $(T - T')$  следующие – отчасти взаимосвязанные – характеристики, отражаемые (3): 1) стремление функции  $\alpha(A)$  к плато в области боль-

ших  $A$  – согласно [1], как  $\sigma(A) = \left( 31 - \frac{54}{A^{1/3}} \right) \text{Мэв}$ . 2) Убывание энергии

единичных разностей изоспинов  $\Delta_{T'+1, T'}(A)$  с ростом  $A$  (без учета  $\delta(A)$ -осцилляций) со стремлением к нулю как  $1/A$  в области больших  $A$ . 3) Пропорциональное  $T'$  возрастание энергии единичных разностей изоспинов  $\Delta_{T'+1, T'}(T')$  с ростом  $T'$  (без учета  $\delta(T')$ -осцилляций) – вплоть до  $\sigma(A)$  при  $(T'+1) = A/2$ , т. е. наличие определенного, уже не зависящего от  $A$  верхнего предела  $\Delta_{T'+1, T'}$  при больших  $A$ .

Если допустить, что в высших изоспиновых состояниях действуют те же силы, что и в низших, другие же силы несут существенны, и экстраполировать закономерности для  $\Delta_{T, T'}(A)$  в область больших разностей  $(T - T')$ , то  $\frac{1}{A} \Delta_{A/2, 0}(A) = \frac{1}{4} \sigma(A)$ , и можно сформулировать такое утверждение: для любого ядра  $(A, Z)$  энергия возбуждения низшего из уровней с изотопическим спином  $A/2$  превышает сумму полной энергии связи нуклонов в этом ядре и энергии кулоновского отталкивания его протонов.



Иллюстрацией служит рисунок, где приведена совокупность данных для  $(1/A) \Delta_{A/2, 0}(A)$  – кривая 1, а также  $\epsilon(A, A/2)$  – кривая 2,  $(Q/4) A^{2/3}$  – кривая 3 и их сумма – кривая 4.

Справедливость сделанного утверждения означала бы несуществование каких бы то ни было связанных мультинейтронов  $n^k (k > 1)$ , т. е. невозможность образования за счет чисто ядерных сил<sup>1)</sup> нейтронных ядер и капель нейтронной жидкости (см. [2]), а также отсутствие возбужденных по изоспину нуклонно-стабильных уровней любых изотопов водорода.

<sup>1)</sup> При  $A \gtrsim 10^{56}$  и  $R = r_0 A^{1/3} \gtrsim 10 \text{ км}$  гравитационные силы становятся соизмеримы с ядерными и способны обеспечить возникновение плотного нейтронного вещества

Согласно Базю и Брагину [3], среди имеющихся в литературе наборов изотопически-инвариантных потенциалов нуклон-нуклонного взаимодействия возможен выбор таких, которые отвечают существованию связанных мультинейтронов достаточно больших ( $A \gtrsim 100$ ) масс, например  $n^{112}$  и  $n^{168}$ .

Применительно к энергиям высоких изоспиновых состояний ядер это требовало бы чрезвычайно быстрого убывания функции  $\sigma(A)$  с ростом  $A$  в области нескольких десятков.<sup>1</sup>

Иными словами, это означало бы резкое замедление возрастания  $\Delta_{T'+1, T'}$ , с ростом  $T'$  при данном  $A$  — вплоть до инверсии знака этих значений, а также значительно более сильное, чем  $1/A$ , убывание  $\Delta_{T'+1, T'}(A)$  в области больших  $A$  ( $A \gg 2T'$ ).

Пересечение кривых 1 и 4 на рисунке соответствует не только возможности существования мультинейтронов в области массовых чисел справа от этого пересечения, но и появлению второй области устойчивости атомных ядер к мгновенному распаду с испусканием нуклонов (конечно, при наличии радиоактивного распада). Вследствие быстрого убывания  $\sigma(A)$  с ростом  $A$  замена нейтронов на протоны в этой области влекла бы за собой лишь относительно малый выигрыш в изоспиновой составляющей энергии связи или даже проигрыш в этой составляющей — при инверсии знака разностей  $\Delta_{T'+1, T'}$ . Отсюда следует вывод, что даже если вторая область ядерной устойчивости и существует, то она во всяком случае не может смыкаться с ныне известной, а лишь образовать больший или меньший "остров" сверхтяжелых изотопов легких элементов.

Представляется небезынтересной задача — проанализировать влияние того или иного заданного характера убывания функции  $\frac{1}{A} \Delta_{T T'}(A)$

при больших разностях  $(T - T') \approx A/2$  на границы гипотетической второй области ядерной устойчивости и на ожидаемые свойства ядер в этой области.

Автор благодарен А.И.Базю, Я.Б.Зельдовичу и И.С.Шапиро за ценные замечания.

Институт химической физики  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
28 ноября 1972 г.

### Литература

- [1] J. Jänecke. Сб. "Isospin in Nuclear Physics" (Edited by D.H. Wilkinson) North Holland Publishing Co. Amsterdam, 1969, p.297.  
[2] А.И.Базь, В.И.Гольданский, Я.Б.Зельдович. УФН, 72, 211, 1960.  
[3] A.I.Baz' a. V.N.Bragin. Phys. Lett., 39 (B), 599, 1972.

<sup>1</sup> При  $A \gtrsim 10^{56}$  и  $R = r_0 A^{1/3} \gtrsim 10$  км гравитационные силы становятся соизмеримы с ядерными и способны обеспечить возникновение плотного нейтронного вещества.