

С 346.5

0-36



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

В.И. Огиевецкий, Сян Дин-чан

P-1583

СУЩЕСТВУЕТ ЛИ МИР
ОЧЕНЬ СТРАННЫХ ЯДЕР?

Дубна 1984

В.И. Огиевский, Сян Дин-чан

P-1583

2351/1, 48.

СУЩЕСТВУЕТ ЛИ МИР
ОЧЕНЬ СТРАННЫХ ЯДЕР?

Направлено в Physics Letters

Дубна 1961

Огиевецкий В.И., Сянь Дин-чан

P-1583

Существует ли мир очень странных ядер?

Поставлен вопрос о существовании и свойствах ядер с очень большой странностью. Распространение унитарной симметрии на ядра приводит к выводу о том, что очень странные ядра могут обладать колоссальными энергиями связи, и их свойства поэтому, действительно, очень странны. В частности, не исключено, что они будут жить существенно дольше, чем гипероны.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.

Дубна 1964

Ogievetski V.I., Hsien Ding-chang

P-1583

Does There Exist a World of Very Strange Nuclei?

The question concerning the existence and properties of nuclei with a very large strangeness is raised. The extension of unitary symmetry to nuclei leads us to a conclusion that very strange nuclei may possess colossal binding energies and their properties are therefore very strange indeed. In particular, it is not ruled out that their lifetime is longer than that of hyperons.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna. 1964.

1. Хорошо известно, что наряду с обычными ядрами, которые состоят из нуклонов и имеют странность 0, существуют также Λ -гиперядра со странностью -1. Недавно Даныш и др.^{/1/} открыли двойные Λ -гиперядра со странностью -2.

Можно поставить вопрос:

Существуют ли гиперядра с большей странностью ("очень странные ядра") и что можно о них сказать?

Никакой экспериментальной информации о таких ядрах пока нет.

В настоящей заметке будут приведены аргументы, указывающие, что "очень странные ядра" может быть действительно существуют и действительно очень странны: можно ожидать, что их полная энергия связи будет необычайно большой, значительно больше, чем у обычных ядер, многие виды распадов будут заморожены, и поэтому время жизни будет существенно больше, чем время жизни гиперонов и Λ -гиперядер.

2. Эти аргументы основаны на распространении на связанные состояния барионов октуплетной модели $SU(3)$, в рамках которой более или менее удовлетворительно описываются существующие элементарные частицы и резонансные состояния. Авторы полностью отдают себе отчет в недостаточной доказательности такого распространения, но они верят в то, что, несмотря на необычность полученных выводов, общая тенденция угадана верно.

3. Как известно, унитарная симметрия не является точной, так как массы барионов (или мезонов) внутри одного мультиплетта не совпадают. Однако минимальное нарушение унитарной симметрии (гипотеза, согласно которой эффективный гамильтониан есть смесь унитарного синглета и три-три компоненты октуплета) приводит к массовой формуле^{/2-4/}, которая удивительно хорошо согласуется с истинными массами практически всех известных элементарных частиц и резонансов (с точностью до долей процента, в худших случаях до нескольких процентов). Эта массовая формула для систем с целым спином имеет вид:

$$M^2 = a + bY + c [T(T+1) - Y^2/4], \quad (1)$$

где a , b и c - параметры, Y - гиперзаряд (т.е. сумма барионного числа и странности системы, $Y=B+S$), T - значение полного изоспина. Для мультиплеттов вида $D(0, 3n)$ и $D(3n, 0)$ (n - целое) массовая формула редуцируется и становится двухпараметрической

$$M^2 = c + fY. \quad (2)$$

Для систем с полужелым спином в левых частях (1) и (2) квадрат массы M^2 следует заменить на M .

В рамках октуплетной модели, зная гиперзаряд и изоспин какого-либо состояния, можно указать мультиплет наименьшей размерности, к которому принадлежит обсуждаемое состояние. Так, можно указать минимальные мультиплеты для всех ядер. Отметим, что Оакс^{15/} обсуждал семейство дейтона ($Y=2, T=0$). Оно есть декуплет $D(0, 3)$ и содержит кроме дейтона резонансные состояния с $Y=1, T=1/2$, $Y=0, T=1$, $Y=-1, T=3/2$.

Далее, можно показать, что тритий H^3 есть член 35-плета $D(1, 4)$, в который входит, в частности, и гиперядро ΛH^3 . Знание масс трития и ΛH^3 недостаточно для предсказания масс остальных членов этого семейства, поскольку в данном случае (как и для всех нечетных ядер) массовая формула содержит 3 параметра.

4. Минимальное семейство, содержащее α -частицу ($Y=4, T=0$), есть 28-плет $D(0, 6)$. На рис. 1 графически представлен состав обсуждаемого 28-плета.

Для классификации состава мультиплета удобно ввести обозначение B_{YT}^Q (B - барионное число в римских цифрах, Q - заряд). Тогда α -частице соответствует символ $IV_{4,0}^2$, изодублету ΛH^4 и $\Lambda He^4 - IV_{3,1/2}^1$ и $IV_{3,1/2}^2$, соответственно, и т.д. Так как этот мультиплет имеет вид $D(0, 6)$, то для него имеет место двухпараметрическая массовая формула (2). Поэтому, зная массы 2-х первых членов - α -частицы и гиперядра ΛH^4 (или ΛHe^4), можно указать массы остальных членов мультиплета, которые представляют собой определенные суперпозиции из 4-х барионов. В таблице 1 приведены характеристики обсуждаемого мультиплета: предсказываемые массы состояний с $S < -1$, состав барионов с наименьшей суммарной массой, входящий в суперпозицию, и полные энергии связи.

Например, ядра $IV_{1,2}^3$ суть суперпозиции, состоящие из $\Sigma\Lambda\Lambda N$, $\Sigma\Sigma\Lambda N$, $\Sigma\Sigma\Sigma N$, $\Xi\Sigma NN$ и $\Xi\Lambda NN$. В таблице указывается $\Xi\Lambda NN$, так как именно при таком составе суммарная масса барионов минимальна.

5. Как видно из таблицы, полная энергия связи ядер резко возрастает с увеличением странности при больших значениях странности. Это, по-видимому, связано с необходимостью включения в ядра с большой странностью тяжелых гиперонов^{х)}. Получаемые энергии связи значительно превышают энергии связи обычных ядер и

х) Сделаем одно замечание, не относящееся непосредственно к октуплетной модели. В ядрах с большой странностью связаны барионы с разными гиперзарядами (1, 0, -1) в отличие от обычных ядер, в которые входят только нуклоны с одним и тем же гиперзарядом +1. Поэтому, если считать вслед за Сакураи^{17/}, что одноименные гиперзаряды увеличивают отталкивание на сверхмалых расстояниях, а разноименные гиперзаряды или отсутствие таковых уменьшают это отталкивание для пар барион-барион, то этот эффект может, в какой-то мере, с другой стороны, объяснить увеличение полной энергии связи в ядрах с большой странностью.

ядра с большой странностью необычайно компактны (ср. 245 Мэв для $IV_{-2,3}$ с 28 Мэв для α -частицы!), что побудило нас назвать их очень странными ядрами.

Многие слабые распады с $\Delta S = 1$ очень странных ядер оказываются замороженными и не происходят из-за сохранения энергии-импульса. К числу разрешенных распадов могут относиться безмезонный распад

$$IV_{-2,3} \rightarrow \Xi + \Xi + \Sigma + N \quad (3a)$$

с освобождением близкой к нулю энергии (может быть этот распад и вообще запрещен, к цифрам следует относиться осторожно, продуктами распада не могут быть $\Xi\Xi\Lambda N$ или $\Xi\Lambda\Lambda\Lambda$ из-за правила $\Delta T = \frac{1}{2}$), а также

$$IV_{-2,3} \rightarrow IV_{-1, \frac{5}{2}} + \pi, \quad (36)$$

с выделением малой энергии (по таблице 20 Мэв), и

$$IV_{-2,3} \rightarrow IV_{-1, \frac{5}{2}} + \gamma, \quad (3)$$

подавленный необходимым в этом случае электромагнитным взаимодействием. Распады с $\Delta S = 2$ не запрещены законом сохранения энергии-импульса.

Не исключена также возможность распадов на очень странные ядра из семейства трития, относительно которых, как указывалось выше, мы не имеем какой-либо информации. Возможность существования такого семейства и таких переходов интересна сама по себе.

Отметим, что тогда как время жизни обычных гиперядер практически совпадает со временем жизни Λ -гиперона, очень странные ядра могут жить значительно дольше в силу их колоссальной компактности.

6. Из общих замечаний, связанных с распространением унитарной симметрии на ядра, сделаем следующие:

а) Все члены одного и того же семейства должны обладать одинаковым спином и четностью, что, в принципе, может служить проверкой унитарной симметрии. В частности, может быть не случайно, что спин гиперядер ${}^4_{\Lambda}H$ и ${}^4_{\Lambda}He$ равен, по-видимому, нулю ¹⁸⁾, как и спин α -частицы.

б) В семействе α -частицы двойное Λ -гиперядро очень слабо или совсем не связано. В семействах, начинающихся с более тяжелого обычного четного ядра с изоспином 0, двойные гиперядра, по-видимому, существуют ¹⁹⁾ и, что важно, их изоспин должен быть равен 1.

¹⁸⁾ По нашим оценкам, аналогичным приведенным выше, полная энергия связи двойного Λ -гиперядра ${}^4_{\Lambda\Lambda}He$ оказывается порядка 50 Мэв.

Для семейств с нечетным барионным числом унитарная симметрия не приводит ни к каким предсказаниям относительно $\Lambda\Lambda$ -ядер, но если бы они были найдены, то можно указать массы остальных ядер таких семейств.

в) В семейство с нечетным барионным числом, начинающенся с обычного ядра с изоспином $1/2$, входят ординарные Λ -гиперядра как с изоспином 0, так и изоспином 1.

г) В каждом данном семействе с увеличением странности растет значение изоспина. Очень странные ядра в отличие от обычных имеют очень большой изоспин. Заряды очень странных ядер могут быть отрицательными!

д) Не исключено, что гипотеза о существовании очень странных ядер окажется полезной при обсуждении астрономических вопросов (ср. гиперонную модель звезд Амбарцумяна и Саакяна^{/9/}).

е) Отметим, кстати, любопытную аналогию: мезоны π , K , η иногда рассматривают, как связанные состояния - "ядра" с барионным зарядом равным нулю, которые имеют колоссальные энергии связи. Очень странные ядра имеют нулевые или близкие к нулю гиперонные заряды, и их энергия связи также оказывается большой.

7. Мы проводили аналогичные расчеты и для семейства другого четного ядра (мультиплет $D(0,12)$), очень странные ядра которого обладают еще большими полными энергиями связи порядка 660 Мэв, т.е. тенденция в этом случае еще сильнее выражена. Соответствующей таблицы мы не приводим, так как верим только в тенденцию, а не в конкретные числа. Еще раз подчеркнем, что к численным данным таблицы 1 надо относиться очень осторожно. Распространение унитарной симметрии на ядра в достаточной мере спекулятивно, существование очень странных ядер есть, в основном, надежда, и авторам очень хотелось бы, чтобы она осуществилась, уж очень она необычна.

Авторы искренне благодарны Б.Н.Валуеву, М.А.Маркову, Нгуен Ван Хьеу, Л.Б.Окуню, М.И.Подгорецкому, И.В.Полубаринову, Б.М.Понтекорво и Чжан Вень-юй за полезные критические обсуждения.

Л и т е р а т у р а

1. Danysz M. et al. *Phys. Rev. Lett.* 14, 525 (1963).
2. M.Gell-Mann. *Phys. Rev.*, 125, 1067 (1962).
3. Y.Ne'eman. *Nucl. Phys.*, 26, 222 (1961).
4. S.Okubo. *Progr. Theor. Phys.*, 27, 949 (1962).
5. R.L.Oakes. *Phys. Rev.*, 131, 2239 (1963)

1963

6. R.G.Ammar et al. Nuovo Cim., 19, 20 (1961).
7. Sakurai. Ann. Phys., 11, 1 (1960).
8. R.H.Dalitz. The Nuclear Interactions of the Hyperons, Lecture Note University of Chicago, EFINS-62-9.
9. Г.С.Саакян. Природа, № 11, 14 (1960).

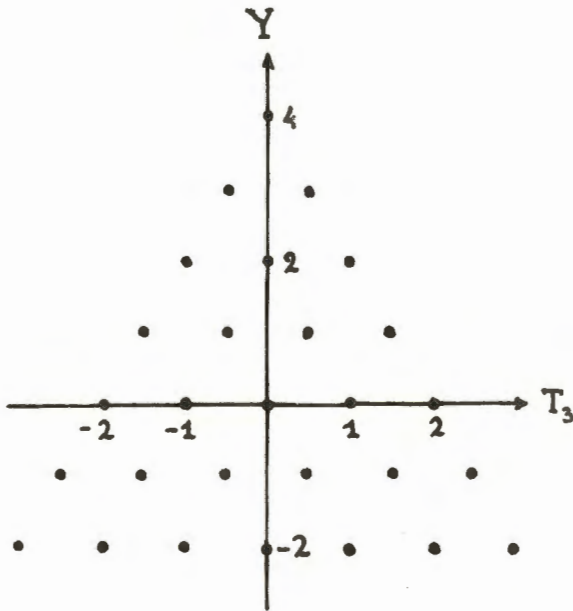
Рукопись поступила в издательский отдел
3 марта 1964 г.

Таблица 1
Характеристики 28-плета, содержащего α -частицу

Ядро	S	$M_{гип} (10^3 \text{MeV})$	Состав барионов с минимальной суммой масс	Суммарная масса барионов $\sum M_B (10^3 \text{MeV})$	Полная энергия связи $E = \sum M_B - M_{гип} (\text{MeV})$
$\overline{Y}_{4,0}$	0	3,727 [*])	$NNNN$	3,755	28
$\overline{Y}_{3,1/2}$	-1	3,922 ^{**)}	ΛNNN	3,932	10
$\overline{Y}_{2,1}$	-2	4,108	$\Lambda \Lambda NN$	4,108	0
$\overline{Y}_{1,3/2}$	-3	4,285	$\Xi \Lambda NN$	4,314	29
$\overline{Y}_{0,2}$	-4	4,456	$\Xi \Xi NN$	4,522	66
$\overline{Y}_{-1,5/2}$	-5	4,620	$\Xi \Xi \Sigma N$	4,773	153
$\overline{Y}_{-2,3}$	-6	4,779	$\Xi \Xi \Sigma \Sigma$	5,024	245

^{*}) Масса α -частицы.

^{**)} Масса гиперядра ${}^4_\Lambda \text{H}$ согласно [6].



$$IV_{4,0}^2 (\text{He}^4)$$

$$IV_{3,\frac{1}{2}}^Q (Q=1,2; \text{H}^4, \Lambda \text{He}^4)$$

$$IV_{2,1}^Q (Q=0,1,2)$$

$$IV_{1,\frac{3}{2}}^Q (Q=-1,0,1,2)$$

$$IV_{0,2}^Q (Q=-2,-1,0,1,2)$$

$$IV_{-1,\frac{5}{2}}^Q (Q=-3,-2 \dots 2)$$

$$IV_{-2,3}^Q (Q=-4,-3 \dots 2)$$

Рис. 1. Квантовые числа мультиплета наименьшей размерности, содержащего α -частицу. T_3 - третья компонента изоспина, Y - гиперзаряд.