

СУЩЕСТВУЮТ ЛИ СУПЕРЯДРА ?

Н. И. Старков ^{ж)}, В. А. Царев

УДК 539.141,144

Показано, что предположение о равенстве констант связи мезонов с гиперонами и супербарьонами не означает равенство притягательных потенциалов ΛN - и $\bar{N} N$ -взаимодействия. $V_{\bar{N} N}$ может быть недостаточно сильным, чтобы обеспечить существование суперядер.

Вслед за открытием чармированных частиц было высказано предположение /1/ о том, что супербарьоны B (то-есть барионы, содержащие тяжелые кварки c, b, \dots), подобно гиперонам, могут образовывать с нуклонами связанные состояния - суперядра. Возможные кандидаты, найденные в фотоэмульсиях, обсуждались в работах /2/, а в /3, 4/ проводились расчеты энергии связи суперядер.

Каковы теоретические основания ожидать существование суперядер? Обычный подход основывается на предположении об одинаковом характере сил ΛN - и $\bar{N} N$ -взаимодействия. При этом либо просто предполагается равенство потенциалов $V_{\bar{N} N}$ и $V_{\Lambda N}$ /4/, либо $V_{\bar{N} N}$ вычисляется в рамках однобозонной модели в предположении $SU_4(SU_5, \dots)$ -симметрии /3/, что также дает $V_{\bar{N} N} \approx V_{\Lambda N}$. Нарушение SU_4 в массах значительно более сильное, чем для SU_3 ($SU_3: (M_\Lambda - M_N)/M_N \sim 20\%$; $SU_4: (M_{\Lambda c} - M_N)/M_N \sim 150\%$). Поэтому дополнительное неявное предположение состоит в том, что нарушение SU_4 является сильным только в массах, но не в константах связи. Тогда в рамках однобозонной модели большая масса B практически не влияет на глубину потенциала, уменьшая лишь кинетическую энергию n , следовательно, увеличивая энергию связи B в ядре по сравнению с Λ .

^{ж)} НИИЯФ МГУ.

Однако, как будет показано ниже, даже в предположении SU_4 -симметрии для констант связи потенциалы $V_{\Lambda N}$ и $V_{\Sigma N}$ в действительности могут быть совершенно различными. Будем исходить из мезонной картины ядерных сил и ограничимся рассмотрением лишь наиболее интересного случая легчайших супербарионов $\Lambda_c, \Lambda_b \dots$ с $I = 1$ и центральной части потенциала. В силу изоскалярности Λ, Λ_c и Λ_b дальнедействующая часть ΛN -, $\Lambda_c N$ - и $\Lambda_b N$ -потенциалов обусловлена обменом двумя пионами. Этот обмен дает притягательную часть потенциала и феноменологически обычно учитывается через обмен скалярного изоскалярного " σ -мезона" с массой ≈ 300 МэВ. Наиболее существенный вклад в отталкивание дает $\pi\pi$ -обмен, который учитывается через обмен ω -мезоном. Обусловленные этими обменами центральные потенциалы в первом приближении

$$V_{BN}(r) \approx \frac{1}{4} (4\pi r)^{-1} g_1 g_2 e^{-\mu r} \quad (1)$$

не зависит от масс B и N . Важно подчеркнуть, что $\pi\pi$ -система действительно имеет ω -резонанс, учет которого дает разумное описание отталкивания; в то же время " σ -мезона" в 2π -системе не существует и " σ -обмен" служит лишь эффективным описанием механизма 2π -обмена (рис. 1а). Это описание не учитывает более существенной зависимости диаграммы 2π -обмена от масс барионов B и B' по сравнению с диаграммой однобозонного обмена. Обсудим эту зависимость. Рассмотрим вначале простейшую диаграмму (рис. 1б), содержащую в промежуточном состоянии N и наименьший по массе супербарион ($B' = \Sigma_c, \Sigma_b, \dots$) с $I = 1$. Используя методы, развитые в работах /5/, можно записать вклад этой диаграммы в центральный потенциал в виде:

$$V_c(r) = \int_0^\infty \eta_c(t) \frac{e^{-r\sqrt{t}}}{r} dt, \quad (2)$$

где

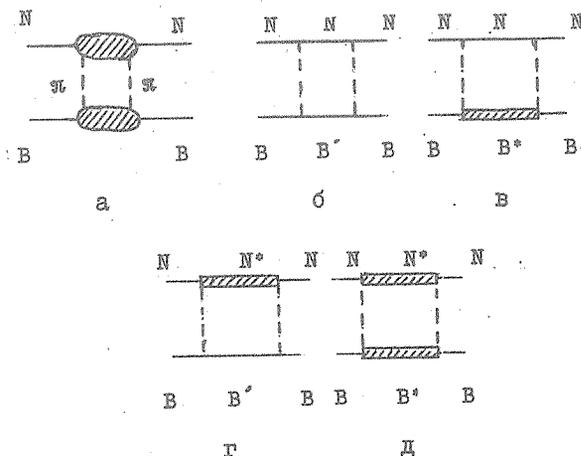
$$\eta_c(t) = - \frac{3}{16\pi(2\pi)^2} \frac{g_{BB'}^2 g_{NN}^2}{M_N M_B} \frac{q}{\sqrt{t}} \left(M_B - M_{B'} \right) \frac{x}{q} \frac{M_{B'}^2 - M_N^2}{M_{B'}^2 - M_N^2} + 1 -$$

$$- \frac{1}{M_B^2 y^2 - M_N^2 x^2} \left[\frac{M_B^2 y^3}{2qM_N} \psi - \frac{M_N^2 x^3}{2qM_B} \varphi \right],$$

$$q = \left(\frac{1}{4} t - 1\right)^{1/2}; \quad x = \frac{1}{2} t + M_B^2 - M_B^2 - 1; \quad y = \left(\frac{1}{2} t - 1\right);$$

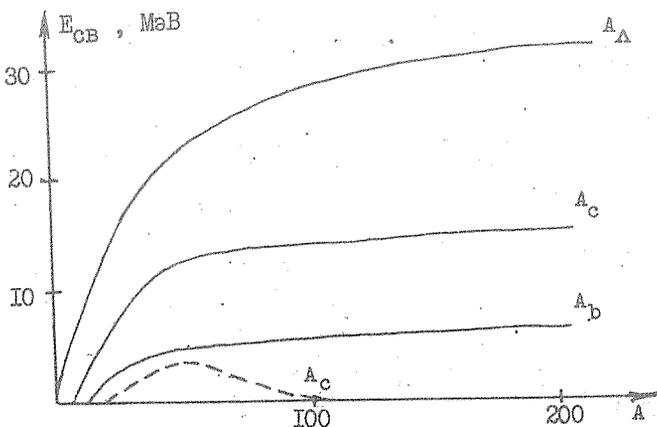
$$\varphi = \operatorname{arctg}(2qM_B/x); \quad \psi = \operatorname{arctg}(2qM_N/y).$$

(Здесь $\epsilon = \hbar = \mu_\pi = 1$). Нетрудно убедиться, что этот вклад слабо зависит от разности масс $M_{B'} - M_B$, но сильно ($\sim \frac{1}{M_B}$) от величины M_B . Если предположить, что простейшая диаграмма 1б передает тенденцию полного 2π -обмена уменьшаться с ростом M_B , то естественно возникает вопрос: достаточным ли будет притяжение в системе BN , чтобы обеспечить существование суперядер? Чтобы ответить на этот вопрос, проведем оценки на основе простой модели. Будем предполагать, как обычно, что отталкивание обусловлено в основном ω -обменом и в силу (I) одинаково для AN и BN . Для притягивательной части воспользуемся



Р и с. I. Диаграммы 2π -обмена, учитываемые в BN -взаимодействии

феноменологическим центральным потенциалом /6/, который удовлетворительно описывает основные черты гиперядер, и в соответствии с (2) учтем в нем влияние массы супербарiona с помощью фактора M_{Λ}/M_B . Тогда, действуя стандартными методами, можно найти потенциал взаимодействия B с ядром и, решая уравнение Шредингера, определить энергии связи основных уровней для различных суперядер. В конкретных расчетах, которые мы провели для $B = \Lambda_C$ и Λ_B , были использованы: $M_{\Lambda_C} = 2,26$ ГэВ, $M_{\Lambda_B} = 5,4$ ГэВ и стандартные формы распределения плотности в ядрах. Результаты вычислений энергии связи суперядер Λ_C и Λ_B в зависимости от атомного номера показаны на рис. 2. Пунктиром показано влияние кулоновских сил для случая Λ_C . Как видно из рисунка, в рассматриваемой модели имеет место существенное уменьшение энергии связи в суперядрах, которое приводит к тому, что легчайшие суперядра вообще не существуют. Еще большего ослабления надо ожидать в случае суперядер Λ_T , для которых, если принять массу супербарiona $M_{\Lambda_T} \approx 15$ ГэВ и учесть кулоновское отталкивание, связанных состояний вообще нет.



Р и с. 2. Энергии связи основного состояния барион-ядерного взаимодействия для Λ_A -гиперядер, Λ_C - и Λ_B -суперядер (пунктир - Λ_C с учетом кулоновского отталкивания)

В реальных расчетах наряду с диаграммой I_6 необходимо учитывать диаграммы, включающие возбужденные состояния барионов (рис. 1 в, г, д), массы которых в настоящее время неизвестны. Это не позволит произвести расчеты таких диаграмм с достаточной определенностью. Несмотря на это, общая тенденция уменьшения 2π -обменного потенциала с ростом массы имеет место и для таких диаграмм. В своих расчетах мы ослабляли притягивательную часть феноменологического ΔN -потенциала, хотя она, возможно, содержит вклад не только от 2π -обмена. Было бы интересно проанализировать ситуацию с суперядрами, выделив двухпионную часть феноменологического потенциала.

Таким образом, проведенное рассмотрение показывает, что притяжение в системе супербарион-нуклон BN значительно слабее, чем в системе ΔN , и предположение о равенстве потенциалов V_{BN} и $V_{\Delta N}/3,4$ не имеет оснований. Как результат этого легчайшие и тяжелые суперядра могут не существовать, хотя имеющиеся в настоящее время неопределенности в массах и константах связи не позволяют указать точной границы области существования суперядер.

В заключение подчеркнем, что экспериментальные поиски суперядер очень важны, поскольку могут дать существенную информацию о свойствах ядерных сил в супербарионном секторе ядерной материи, а также прояснить динамику взаимодействия обычных барионов (N, Λ).

Авторы благодарны Н. Н. Колесникову, В. Н. Фетисову, Л. В. Филькову за полезные обсуждения.

Поступила в редакцию
5 июня 1981 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. А. Тяткин, Ядерная физика 22, 181 (1975).
2. Ю. А. Батусов и др., Препринт ОИЯИ ЕИ-10069, 1976 г.; Письма в ЖЭТФ 33, 56 (1981).
3. S. Iwao, Lett. Nuovo Cim., 19, 647 (1977); C. V. Dover, S. H. Kahana, Phys. Rev. Lett., 39, 1506 (1977).

4. R. Gatto, F. Passanioni, Nuovo Cim., 46A, 313 (1978); Н. Н. Колесников, в сб. Тезисы докладов 29 Совещания по ядерной спектроскопии, Наука, Л., 1979 г.; Н. Н. Колесников, Д. И. Жуховицкий, в сб. Тезисы докладов 30 Совещания по ядерной спектроскопии, Наука, Л., 1980 г.
5. A. Deloff et al., Nuovo Cim., 34, 1195 (1964); M. Rimpault, R. Vinh-Mau, Nuovo Cim., 35, 85 (1965); D. O. Riska, Nucl. Phys., B56, 445 (1973).
6. Н. Н. Колесников, Каон-ядерные взаимодействия и гиперядра Наука, 1979 г., с. 57.