

О ШИРИНАХ $\Sigma \rightarrow \Lambda$ КОНВЕРСИИ Σ -ГИПЕРЯДЕР

Л.Н.Богданова, В.Е.Маркушин

Показано, что ширины уровней Σ -гиперядер могут быть малыми ($\lesssim 10$ МэВ для основного состояния ΣC^{12}) благодаря динамическому подавлению вероятности перехода $\Sigma \rightarrow \Lambda$ для конечных состояний Λ -гиперона с длиной волны сравнимой с размером ядра.

В экспериментах ЦЕРН по (κ^-, π^+) реакции на ${}^7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^{12}\text{C}$ впервые были обнаружены Σ -гиперядерные состояния [1]. Ширины наблюдавшихся основных и низковозбужденных уровней малы ($\Gamma < 10$ МэВ), в то время как традиционная оценка скорости $\Sigma \rightarrow \Lambda$ конверсии в ядерной материи дает значения 50 — 150 МэВ. Учет спин-изоспиновой зависимости сечения процесса $\Sigma N \rightarrow \Lambda N$ позволяет объяснить (в рамках теории ядерной материи) уменьшение ширины некоторых p -оболочечных состояний легких Σ -гиперядер [2]. Другая положительная попытка объяснить эксперимент была предпринята в работе [3], где ширина $\Sigma \rightarrow \Lambda$ конверсии гиперядра связывалась с вероятностью перехода $\Sigma N \rightarrow \Lambda N$ изолированного ΣN кластера в ядре (при этом, однако, не учитывалось совокупное влияние нуклонов ядра на процесс конверсии).

В данной работе мы показываем, что с учетом взаимодействия гиперонов с самосогласованным полем нуклонов ядра в начальном и конечном состояниях ширины $\Sigma \rightarrow \Lambda$ конверсии гиперядер должны быть малыми ($\Gamma \lesssim 10$ МэВ). Качественно эффект подавления связан с ортогональностью волновых функций связанного состояния Σ и Λ в сплошном спектре и медленным изменением оператора перехода $\Sigma \rightarrow \Lambda$ в ядре $V_{\Sigma\Lambda}$. Действительно, силы Σ -ядро и Λ -ядро близки (уровни Σ - и Λ -гиперядер сдвинуты примерно на разность масс гиперонов, а дополнительный малый сдвиг $\Delta E \sim 3 \div 4$ МэВ [1] может быть объяснен эффектами связи каналов) и следовательно, волновые функции гиперон-ядро, отвечающие разным энергиям, ортогональны. Потенциал $\Sigma \rightarrow \Lambda$ конверсии (так же как и потенциалы взаимодействия гиперонов с самосогласованным полем ядра) пропорционален ядерной плотности, поскольку радиус сил гиперон-нуклон порядка расстояния между нуклонами в ядре. Тогда при вычислении амплитуды вероятности $\Sigma \rightarrow \Lambda$ конверсии мы имеем дело с матричным элементом медленно меняющегося оператора между ортогональными состояниями, и результат приобретает определенную малость.

В низшем порядке по взаимодействию, связывающему каналы Σ -ядро и Λ -ядро (как будет видно, ниже, эффект должен иметь место и при точном решении задачи связанных каналов) сдвиг ΔE и уширение Γ уровня гиперядра определяются массовым оператором следующего вида:

$$\Delta E - i\Gamma/2 = \langle \Sigma A | V_{\Sigma\Lambda} (E_0 - H_\Lambda + i0)^{-1} V_{\Lambda\Sigma} | \Sigma A \rangle.$$

Здесь $|\Sigma A\rangle$ — состояние Σ -гиперядра с энергией E_0 без учета связи каналов, $V_{\Sigma\Lambda} = V_{\Lambda\Sigma}^+$ — взаимодействие между каналами, H_{Λ} — гамильтониан канала Λ -гиперон — N -нуклонов.

Пусть $|E, \alpha\rangle$ — собственная функция гамильтониана H_{Λ} , отвечающая состоянию с полной энергией E (индекс α различает состояния, вырожденные по E). Для функции Грина $(E_0 - H_{\Lambda} + i0)^{-1}$ имеет место спектральное представление (вклад связанных состояний Λ -гиперона опущен):

$$(E_0 - H_{\Lambda} + i0)^{-1} = \int dE d\alpha \frac{|E, \alpha\rangle\langle\alpha, E|}{E_0 - E + i0},$$

используя которые, получаем

$$\Gamma = 2\pi \int d\alpha |\langle\Sigma A|V_{\Sigma\Lambda}|E, \alpha\rangle|^2.$$

Рассмотрим простую модель, предполагающую, что как в связанном состоянии, так и в сплошном спектре взаимодействие гиперонов с нуклонами ядра можно описать с помощью потенциала, не зависящего от состояния системы нуклонов. В этом случае Γ имеет вид

$$\Gamma = \int_0^{E_{max}} \gamma(E) \sigma_{E_0}(E) dE,$$

$$\gamma(E) = 2\sqrt{E} |\langle\psi_{E_0}|v_{\Sigma\Lambda}|E\rangle|^2.$$

Здесь $|\psi_{E_0}\rangle$ и $|E\rangle$ — волновые функции связанного состояния Σ -гиперона и Λ -гиперона в сплошном спектре с энергией E , $v_{\Sigma\Lambda}$ — потенциал $\Sigma \rightarrow \Lambda$ конверсии, $\sigma_{E_0}(E)$ — плотность вероятности перехода нуклонов в состояние с энергией $E_0 - E$, нормированная условием

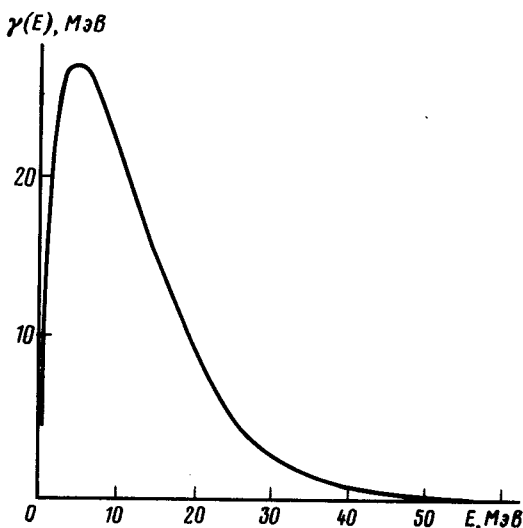
$$\int_0^{E_{max}} \sigma_{E_0}(E) dE = 1,$$

E_{max} — максимальная энергия Λ -гиперона (в пренебрежении отдачей ядра $E_{max} = m_{\Sigma} - m_{\Lambda} + E_0 \sim 70$ МэВ). Мы вычислили функцию $\gamma(E)$ для основного состояния гиперядра ΣC^{12} , используя в качестве $|\psi_{E_0}\rangle$ и $|E\rangle$ волновые функции, полученные решением уравнения Шредингера с потенциалами типа Вудса — Саксона

$$v_Y = -c \rho(r) \quad Y = \Lambda, \Sigma$$

$$\rho(r) = (1 + \exp(r - a) / b).$$

$$a = 2,8 \text{ Ф}, b = 0,6 \text{ Ф}, c = 25 \text{ МэВ}.$$



Функция $\gamma(E)$ для основного состояния гиперядра ΣC^{12}

Потенциал конверсии был выбран в форме: $v_{\Sigma\Lambda} = c \rho(r)$. В одноканальной задаче с таким потенциалом энергия связи основного состояния $\epsilon_0 = 9$ МэВ. Результат расчета представлен на рисунке. Для нахождения полной ширины Γ необходимо знание функции $\sigma_E(E)$. Вопрос о возможности установления вида $\sigma(E)$ из экспериментальных данных по взаимодействию адронов средних энергий с ядрами будет нами обсуждаться в другой работе. Здесь для оценок мы взяли несколько распределений $\sigma(E)$ со средними значениями $\bar{E} = (0,25 - 0,5)E^{max}$ и для ширины $\Sigma \rightarrow \Lambda$ конверсии основного состояния гиперядра ΣC^{12} получили: $5 \lesssim \Gamma \lesssim 10$ МэВ. Возвращаясь к энергетической зависимости $\gamma(E)$, отметим, что обращение в нуль (при $p_\Lambda = 2\pi/R$, p_Λ - импульс, Λ -гиперона, R - радиус ядра) и связанная с этим малость матричного элемента перехода представляет собой динамический эффект "расщепления" связанных (сколь угодно сильно каналов), известный в литературе как существование стабильных состояний, погруженных в сплошной спектр [4]. То, что этот эффект не является следствием применения теории возмущений, легко показать, если выбрать потенциал $\Sigma \rightarrow \Lambda$ конверсии в сепарабельном виде: $v_{\Sigma\Lambda} = \lambda |\xi\rangle \langle \xi|$ и воспользоваться результатами работы [5], где приведено выражение для массового оператора

В заключение отметим, что для понимания механизма гиперон-ядерного взаимодействия и, в частности, $\Sigma \rightarrow \Lambda$ конверсии, необходима экспериментальная информация о спектрах Λ -гиперонов, образующихся при распаде Σ -гиперядер и взаимодействии медленных Σ с ядрами.

Авторы благодарны К.Г.Борескову и И.С.Шапиро за обсуждения и А.Е.Кудрявцеву за замечания.

Литература

- [1] W.Brückner et al. CERN-EP/79-97, 4 September 1979.
 - [2] C.B.Dover, A.Gal. Phys. Rev. Lett., **44**, 379, 1980.
 - [3] L.S.Kisslinger. Phys. Rev. Lett., **44**, 968, 1980.
 - [4] L.Fonda, R.G.Newton. Ann. of Phys. (N.Y.), **10**, 490, 1960.
 - [5] Л.Н.Богданова, В.Е.Маркушин. ЯФ, **32**, 512, 1980.
-