

РЕЗОНАНСНОЕ РОЖДЕНИЕ Λ_c^+ БАРИОНОВ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ НЕЙТРИНО С ЯДРАМИ В ФОТОЭМУЛЬСИИ

Ю.А.Батусов¹⁾, С.А.Бунятов¹⁾, О.М.Кузнецов¹⁾, В.В.Люков¹⁾,
 В.И.Третьяк¹⁾, П.А.Горичев²⁾, О.К.Егоров²⁾, Э.Д.Колганова²⁾,
 И.В.Махлюева²⁾, Е.А.Пожарова²⁾, В.А.Смирнитский²⁾, В.В.Шаманов²⁾,
 В.В.Аммосов³⁾, В.И.Баранов³⁾, В.А.Гапиенко³⁾, В.И.Клюхин³⁾,
 В.И.Корешев³⁾, П.В.Питухин³⁾, В.И.Сиротенко³⁾,
 Е.А.Слободюк³⁾, Б.Вильчинска⁴⁾, Г.Вильчински⁴⁾, В.Вольтер⁴⁾,
 Б.Войсек⁴⁾, А.Ольшевски⁴⁾, А.Юрак⁴⁾, Х.Чернев⁵⁾, М.Иванова⁶⁾,
 Л.Войводик⁷⁾, В.Смарт⁷⁾, Г.Рубин⁸⁾, Р.Аммар⁹⁾, Дж.Гресс⁹⁾,
 Р.Дэвис⁹⁾, Н.Квак⁹⁾, Д.Коппадж⁹⁾, Р.Раймер⁹⁾, Р.Стамп⁹⁾,
 Т.Барнет¹⁰⁾, Р.Вилкс¹⁰⁾, С.Крживджински¹⁰⁾, Дж.Лорд¹⁰⁾,
 Р.Розенблат¹⁰⁾, А.Бакич¹¹⁾, Л.Пик¹¹⁾.

Показано, что в нейтринных взаимодействиях значительная часть $-0,58_{-0,22}^{+0,17}$ очарованных Λ_c^+ барионов может рождаться через распады Σ_c резонансов. Три из четырех зарегистрированных событий с рождением Λ_c^+ интерпретируются, как образование и распад очарованных Σ_c^0 (2450), Σ_c^{++} (2450) и Σ_c^{++} (2510) резонансов по каналу $\Sigma_c \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^\pm$. Среднее значение разности масс Σ_c (2450) и Λ_c^+ составляет 162 ± 2 МэВ/ c^2 .

Существование очарованных Σ_c (2450) и Σ_c (2510) барионов не является надежно установленным экспериментальным фактом¹⁾. Очарованные Σ_c резонансы должны, в основном, распадаться^{2,3)} по сильному взаимодействию $\Sigma_c \rightarrow \Lambda_c^+ \pi$, вклад радиационного канала распада невелик $- < 1\%$ ⁴⁾.

Приведенные в настоящей работе данные по образованию очарованных Λ_c^+ барионов через резонансные Σ_c состояния получены в эксперименте E-564⁵⁾. В этом эксперименте криогенно-чувствительная ядерная фотоэмульсия БР-2, помещенная в рабочий объем 15-футовой пузырьковой камеры ФНАЛ, облучалась в нейтринном пучке с широким спектром энергий до 220 ГэВ. Анализ каждого из зарегистрированных распадов очарованных Λ_c^+ барионов был описан ранее в работах⁶⁾. Три из четырех событий с распадами Λ_c^+ барионов допускали интерпретацию как возможное образование и распад Σ_c^0 (2450), Σ_c^{++} (2450), Σ_c^{++} (2510) резонансов на $\Lambda_c^+ \pi^\pm$.

Распады очарованных барионов. Моды распада и характеристики зарегистрированных очарованных барионов приведены в таблице. Полученные в эксперименте значения времени жизни $\tau_{\Lambda_c^+} = (2,1_{-0,8}^{+1,5}) \cdot 10^{-13}$ с и массы $M_{\Lambda_c^+} = 2287 \pm 13$ МэВ/ c^2 очарованного Λ_c^+ бариона хорошо согласуются с усредненными данными других экспериментов¹⁾.

1) ОИЯИ, Дубна, СССР.

2) ИТЭФ, Москва, СССР.

3) ИФВЭ, Серпухов, СССР.

4) ИЯФ, Краков, ПНР.

5) ИЯИЯЭ, София, НРБ.

6) Пловдивский Университет, Пловдив, НРБ.

7) ФНАЛ, Батавия, США.

8) ИИТ, Чикаго, США.

9) Канзасский Университет, Лоуренс, США.

10) Вашингтонский Университет, Сиэтл, США.

11) Сиднейский Университет, Сидней, Австралия.

Для поиска резонансных Σ_c состояний во взаимодействиях с рождением Λ_c^+ барионов были вычислены эффективные массы Λ_c^+ барионов с идентифицированными в событиях π^\pm -мезонами $M_{\Lambda_c^+ \pi^\pm}$ и разности масс $\Delta m = M_{\Lambda_c^+ \pi^\pm} - M_{\Lambda_c^+}$. На рисунке изображена идеограмма значений Δm ¹⁾.

Каждая разность масс Δm с ошибкой $\sigma_{\Delta m}$ на идеограмме изображена прямоугольником с основанием $2\sigma_{\Delta m}$ и высотой $1/2\sigma_{\Delta m}$. Площадь каждого из прямоугольников соответствует площади единичного заштрихованного квадрата, показанного на рисунке. Идеограмма позволяет представить распределение разности масс Δm с учетом ошибок измерений, что особенно важно, когда эти ошибки существенно различаются. Исследование разности масс $M_{\Lambda_c^+ \pi^\pm}$ и $M_{\Lambda_c^+}$ для поиска Σ_c состояний предпочтительней изучения абсолютных значений массы $M_{\Lambda_c^+ \pi^\pm}$. Из-за корреляции ошибок в массах $M_{\Lambda_c^+ \pi^\pm}$ и $M_{\Lambda_c^+}$ абсолютная ошибка в разности масс меньше ошибки в массе $M_{\Lambda_c^+ \pi^\pm}$.

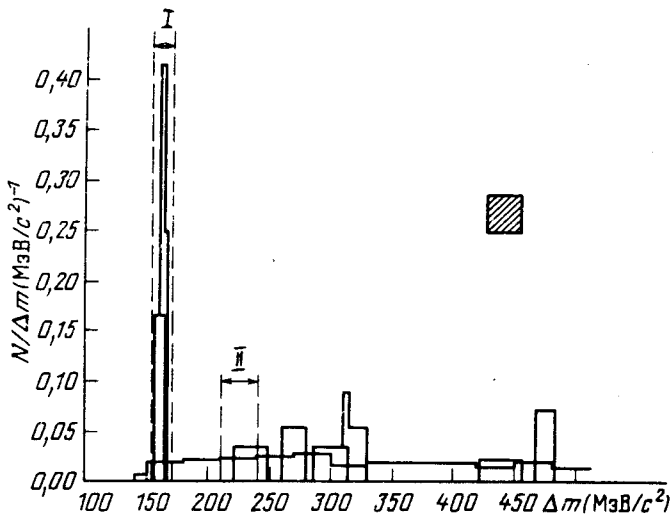
Характеристики распада очарованных барионов

№№ шп	Мода распада	Пробег до распада (мкм)	Импульс (ГэВ/с)	Время пролета до распада (10^{-13} с)	Масса (МэВ/с ²)	Разность масс (МэВ/с ²)
1	$\Sigma_c^0(2450) \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^-$ $\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^+ \pi^+ \pi^-$	154	4,1 37	$3,13 \pm 0,02$	2300 ± 25	163 ± 2
2	$\Sigma_c^{++}(2450) \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^+$ $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$	147	6,4 5,9	$1,90 \pm 0,07$	2278 ± 40	160 ± 3
3	$\Sigma_c^{++}(2510) \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^+$ $\Lambda_c^+ \rightarrow n K^- \pi^+ \pi^+$	1150	28,4 24,1	$3,64 \pm 0,35$	2351 ± 116	235 ± 14
4	$\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$	2,1	3,8	$0,04 \pm 0,01$	2283 ± 15	—

Предсказываемые в теоретических работах^{2,3} разности масс между барионными состояниями из триплета $\Sigma_c(2450)$ и Λ_c^+ барионом равны $159 - 166$ МэВ/с², а между барионными состояниями из триплета $\Sigma_c(2510)$ и Λ_c^+ барионом — $220 - 229$ МэВ/с². Вычисленные в работах^{2,4} ширины $\Sigma_c(2450)$ и $\Sigma_c(2510)$ составляют ~ 5 и ~ 20 МэВ соответственно. На рисунке в области I, соответствующей теоретически ожидаемой разности масс $\Sigma_c(2450)$ и Λ_c^+ имеются две хорошо измеренные разности масс Δm из событий 1 и 2. Другие значения лежат по величине Δm намного дальше. Немногочисленные экспериментальные данные³ (9 событий) также указывают для значения разности масс $\Sigma_c(2450)$ и Λ_c^+ на величину $\Delta m \sim 159 - 177$ МэВ/с². Событие 1 интерпретируется как распад $\Sigma_c^0(2450) \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^-$ со значением разности масс 163 ± 2 МэВ/с², а событие 2 как распад $\Sigma_c^{++}(2450) \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^+$ со значением разности масс 160 ± 3 МэВ/с². В области II на рисунке есть указание на распад $\Sigma_c^{++}(2510) \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^+$ с $\Delta m = 235 \pm 14$ МэВ/с² (событие 3). Фон для распадов $\Sigma_c \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^\pm$ рассчитывался исходя из числа событий ожидаемых в областях I ($156 - 169$ МэВ/с²) и II ($210 - 239$ МэВ/с²) соответствующих разностям масс между Σ_c и Λ_c^+ барионами. Для оценки ожидаемого числа событий в областях I и II было вычислено распределение по Δm для Λ_c^+ барионов с ливневыми частицами (в предположении, что это π -мезоны) из найденных в эксперименте нейтринных взаимодействий. При расчете отбирались взаимодействия со значением

¹⁾ Несколько значений Δm лежат в области $\sim 1 - 2$ ГэВ/с² и при последующем анализе не учитывались.

инвариантной массы адронной системы W соответствующим среднему значению W в событиях с образованием Λ_c^+ . Полученное распределение нормировалось в интервале разностей масс $250 \text{ МэВ}/c^2 \leq \Delta m \leq 500 \text{ МэВ}/c^2$ на аналогичное распределение для четырех событий с образованием Λ_c^+ барионов (рисунок) и экстраполировалось в область $\Delta m < 250 \text{ МэВ}/c^2$. Нормированное распределение приведено на рисунке непрерывной ступенчатой линией. Оценка числа событий ожидаемых в области разностей масс Σ_c и Λ_c^+ барионов приводит к следующему уровню фона: для Σ_c^{++} (2510) $0,41 \pm 0,19$, для Σ_c^{+} (2450) $0,13 \pm 0,06$ для Σ_c^0 (2450) $0,10 \pm 0,04$ события. Суммарная величина фона составляет $0,7 \pm 0,2$ события.



Идеограмма для разности масс $\Delta m = M_{\Lambda_c^+ \pi^\pm} - M_{\Lambda_c^+}$; по оси ординат отложено число событий в интервале $1 \text{ МэВ}/c^2$. Области I ($156 - 169 \text{ МэВ}/c^2$) и II ($210 - 239 \text{ МэВ}/c^2$) соответствуют теоретически предсказываемым разностям масс $M_{\Sigma_c(2450)} - M_{\Lambda_c^+}$ и $M_{\Sigma_c(2510)} - M_{\Lambda_c^+}$ соответственно с учетом ширины Σ_c резонансов. Заштрихованный квадрат соответствует одному событию

Усредненное значение массы $\Sigma_c(2450)$ состояний по двум зарегистрированным событиям составляет $2455 \pm 22 \text{ МэВ}/c^2$, а разность масс $\Sigma_c(2450)$ и $\Lambda_c^+ - 162 \pm 2 \text{ МэВ}/c^2$.

Полученные данные позволяют оценить соотношение между "прямым" образованием Λ_c^+ и образованием через Σ_c резонансы:

$$R_{\Lambda_c^+} = \frac{\Sigma_c \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^\pm}{\text{Все } \Lambda_c^+} = 0,58^{+0,17}_{-0,22}$$

Этот результат является указанием на то, что в нейтринных взаимодействиях значительная часть Λ_c^+ барионов может образоваться через Σ_c резонансы. Теоретические оценки величины $R_{\Lambda_c^+}$, без учета особенностей динамики образования очарованных барионов, дают значение $R_{\Lambda_c^+}$ равное $0,6$ ^{2, 3}. Как видно, теоретическое значение согласуется с результатом, полученным в нашем эксперименте. Последнее указывает на то, что динамика образования очарованных барионов, по-видимому, существенно не нарушает соотношения между относительным образованием Λ_c^+ и Σ_c барионов, оцененным только из соображений зарядовой независимости и спиновой статистики.

В заключение следует отметить, что зарегистрированные в нашем эксперименте нейтринные взаимодействия с рождением очарованных барионов существенно отличаются по величине квадрата переданного четырехимпульса Q^2 от событий с образованием очарованных D -ме-

²⁾ Разница масс внутри Σ_c мультиплетов оценивалась в ряде работ⁷ и составляет в среднем величину порядка нескольких МэВ.

зонов. Средняя величина Q^2 во взаимодействиях с рождением очарованных барионов составляет ~ 4 (ГэВ/с)², в то время как в событиях с D -мезонами $-\langle Q^2 \rangle \sim 19$ (ГэВ/с)². В рамках партонной модели образование очарованных барионов наиболее вероятно при слиянии партонных нуклонного остатка и рожденного c -кварка. Это приводит⁸ к ограничению по Q^2 ($Q^2 < M_{\Lambda_c^+}^2$), что и наблюдается в эксперименте.

Литература

1. *Aguilar-Benitez M. et al.* Phys. Lett., 1986, **170B**, Review of Particle Properties.
2. *De Rujula A., Georgy H., Glashow S.L.* Phys. Rev., 1975, **D12**, 147.
3. *Lee B.W., Quigg G., Rosner J.* Phys. Rev., 1977, **D15**, 157.
4. *Izatt D., Detar C., Stephenson M.* Nucl. Phys., 1982, **B199**, 269.
5. *Smart W., et al.* Acta Phys. Polon., 1986, **B17**, 41.
6. *Буятов С.А. и др.* Сообщение ОИЯИ, 1982, Д1-82-471, Дубна; *Аммар Р. и др.* ЯФ, 1986, **44**, 649; *Аммар Р., Аммосов В.В., Баккич А. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1986, **43**, 401; *Батусов Ю.А. и др.* Препринт ОИЯИ, 1987, П1-87-308, Дубна.
7. *Lichtenberg D.V.* Phys. Rev., 1977, **D15**, 231 и ссылки к этой работе.
8. *Коноплич Р.В., Кребс А.Б., Никитин Ю.П.* ЯФ, 1980, **31**, 713; *Коноплич Р.В., Кребс А.Б., Никитин Ю.П.* Сб. Элементарные частицы и космические лучи. М.: Атомиздат, 1980, с. 134.

Объединенный
институт ядерных исследований

Поступила в редакцию
10 июля 1987 г.