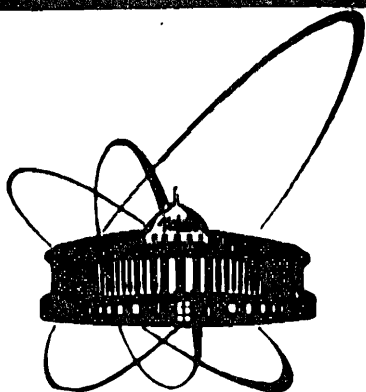




ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

Б 287

P1-87-511

Батусов Ю.А и др.

РЕЗОНАНСНОЕ РОЖДЕНИЕ  $\Lambda_c^+$ -БАРИОНОВ

ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ НЕЙТРИНО С ЯДРАМИ

В ФОТОЭМУЛЬСИИ

Направлено в журнал "Письма в ЖЭТФ"

1987

Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, О.М.Кузнецов, В.В.Люков,  
В.И.Третьяк

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

П.А.Горичев, О.К.Егоров, Э.Д.Колганова, И.В.Махлюева,  
Е.А.Пожарова, В.А.Смирнитский, В.В.Шаманов  
Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва

В.В.Аммосов, В.И.Баранов, В.А.Гапиенко, В.И.Клюхин,  
В.И.Корешев, П.В.Питухин, В.И.Сирогенко, Е.А.Слободюк  
Институт физики высоких энергий, Серпухов

Б.Вильчинска, Г.Вильчински, В.Вольгер, Б.Войсек,  
А.Ольшевски, А.Юрак  
Институт ядерной физики, Краков

Х.Чернев  
Институт ядерных исследований и ядерной энергетики БАН, София

М.Иванова  
Пловдивский университет

Л.Войводик, В.Смарт  
ФНАЛ, Батавия

Г.Рубин  
ИИТ, Чикаго

Р.Аммар, Дж.Гресс, Р.Дэвис, Н.Квак, Д.Коппадж,  
Р.Раймер, Р.Стамп  
Канзасский университет, Лоуренс

Г.Барнат, Р.Вилкс, С.Крживджински, Дж.Лорд,  
Р.Розенблатт  
Вашингтонский университет, Сиэтл

А.Бакич, Л.Пик  
Сиднейский университет, Сидней

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

Приведенные в настоящей работе данные по образованию очарованных  $\Lambda_c^+$ -барионов через резонансные  $\Sigma_c$ -состояния получены в эксперименте Е-564 <sup>/5/</sup>. 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  $\Lambda_c^+$ -барионов был описан ранее в работах <sup>/6/</sup>. Три из четырех событий с распадами  $\Lambda_c^+$ -барионов допускали интерпретацию как возможное образование и распад  $\Sigma_c^0(2450)$ ;  $\Sigma_c^{*0}(2450)$ ;  $\Sigma_c^{*0}(2510)$ -резонансов на  $\Lambda_c^+ \pi^-$ .

#### Распады очарованных барионов

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

Для поиска резонансных  $\Sigma_c$ -состояний во взаимодействиях с рождением  $\Lambda_c^+$ -барионов были вычислены эффективные массы  $\Lambda_c^+$ -барионов с идентифицированными в событиях  $\pi^\pm$ -мезонами  $M_{\Lambda_c^+ \pi^\pm}$

и разности масс  $\Delta m = M_{\Lambda_c^+ \pi^+} - M_{\Lambda_c^+}$ . На рисунке изображена идеограмма значений  $\Delta m$  I).

Таблица

Характеристики распада очарованных барионов

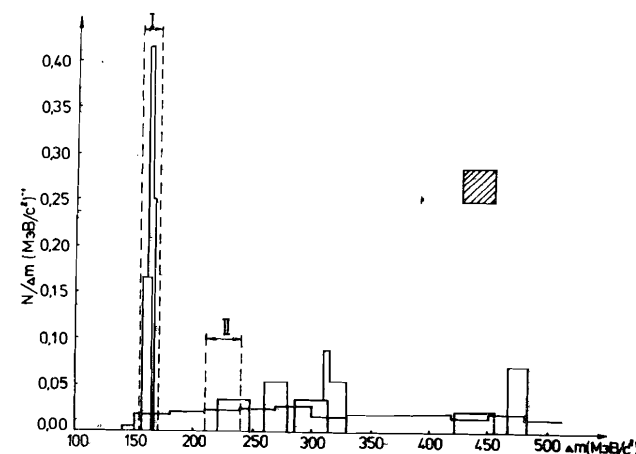
| №<br>пп | Мода распада                                        | Пробег до<br>распада<br>(мкм) | Импульс<br>(ГэВ/с) | Время<br>пролета<br>до рас-<br>пада<br>( $10^{-13}$ с) | Масса<br>(МэВ/с <sup>2</sup> ) | Раз-<br>ность<br>масс<br>(МэВ/с <sup>2</sup> ) |
|---------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------|
| I.      | $\Sigma_c^0(2450) \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^-$    |                               | 4,1                |                                                        |                                | $163 \pm 2$                                    |
|         | $\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^+ \pi^+ \pi^-$      | 154                           | 3,7                | $3,13 \pm 0,02$                                        | $2300 \pm 25$                  |                                                |
| 2.      | $\Sigma_c^{++}(2450) \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^+$ |                               | 6,4                |                                                        |                                | $160 \pm 3$                                    |
|         | $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$               | 147                           | 5,9                | $1,90 \pm 0,07$                                        | $2278 \pm 40$                  |                                                |
| 3.      | $\Sigma_c^{++}(2510) \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^+$ |                               | 28,4               |                                                        |                                | $235 \pm 14$                                   |
|         | $\Lambda_c^+ \rightarrow n K^+ \pi^+ \pi^+$         | 1150                          | 24,1               | $3,64 \pm 0,35$                                        | $2351 \pm 116$                 |                                                |
| 4.      | $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$               | 2,1                           | 3,8                | $0,04 \pm 0,01$                                        | $2283 \pm 15$                  |                                                |

Каждая разность масс  $\Delta m$  с ошибкой  $\delta_{\Delta m}$  на идеограмме изображена прямоугольником с основанием  $2 \cdot \delta_{\Delta m}$  и высотой  $\frac{1}{2 \cdot \delta_{\Delta m}}$ . Площадь каждого из прямоугольников соответствует площади единичного заштрихованного квадрата, показанного на рисунке. Идеограмма позволяет представить распределение разности масс  $\Delta m$  с учетом ошибок измерений, что особенно важно, когда эти ошибки существенно различаются. Исследование разности масс  $M_{\Lambda_c^+ \pi^+}$  и  $M_{\Lambda_c^+}$  для

I) Несколько значений  $\Delta m$  лежат в области  $\sim 1-2$  ГэВ/с<sup>2</sup> и при последующем анализе не учитывались.

поиска  $\Sigma_c$ -состояний предпочтительней изучения абсолютных значений массы  $M_{\Lambda_c^+ \pi^+}$ . Из-за корреляции ошибок в массах  $M_{\Lambda_c^+ \pi^+}$  и  $M_{\Lambda_c^+}$  абсолютная ошибка в разности масс меньше ошибки в массе  $M_{\Lambda_c^+ \pi^+}$ .

Предсказываемые в теоретических работах [2,3] разности масс между барионными состояниями из триплета  $\Sigma_c(2450)$  и  $\Lambda_c^+$ -барионом равны 159-166 МэВ/с<sup>2</sup>, а между барионными состояниями из триплета  $\Sigma_c(2510)$  и  $\Lambda_c^+$ -барионом - 220-229 МэВ/с<sup>2</sup>. Вычисленные в работах [2,4] ширины  $\Sigma_c(2450)$  и  $\Sigma_c(2510)$  составляют



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

~ 5 МэВ и ~20 МэВ соответственно. На рисунке в области I, соответствующей теоретически ожидаемой разности масс  $\Sigma_c(2450)$  и  $\Lambda_c^+$  имеются две хорошо измеренные разности масс  $\Delta m$  из событий I и 2. Другие значения лежат по величине  $\Delta m$  намного дальше. Немногочисленные экспериментальные данные <sup>/3/</sup> (9 событий) также указывают для значения разности масс  $\Sigma_c(2450)$  и  $\Lambda_c^+$  на величину  $\Delta m \sim 159-177 \text{ МэВ}/c^2$ . Событие I интерпретируется как распад  $\Sigma_c^0(2450) \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^-$  со значением разности масс  $163 \pm 2 \text{ МэВ}/c^2$ , а событие 2 — как распад  $\Sigma_c^{*+}(2450) \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^+$  со значением разности масс  $160 \pm 3 \text{ МэВ}/c^2$ . В области II на рисунке есть указание на распад  $\Sigma_c^{*+}(2510) \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^+$  с  $\Delta m = 235 \pm 14 \text{ МэВ}/c^2$  (событие 3). Фон для распадов  $\Sigma_c \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^\pm$  рассчитывался исходя из числа событий, ожидаемых в областях I ( $156-169 \text{ МэВ}/c^2$ ) и II ( $210-239 \text{ МэВ}/c^2$ ), соответствующих разностям масс между  $\Sigma_c$ - и  $\Lambda_c^+$ -барионами. Для оценки ожидаемого числа событий в областях I и II было вычислено распределение по  $\Delta m$  для  $\Lambda_c^+$ -барионов с ливневыми частицами (в предположении, что это  $\pi$ -мезоны) из найденных в эксперименте нейтринных взаимодействий. При расчете отбирались взаимодействия со значением инвариантной массы адронной системы  $W$ , соответствующим среднему значению  $W$  в событиях с образованием  $\Lambda_c^+$ . 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  $\Lambda_c^+$ -барионов (см. 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  $\Sigma_c$ - и  $\Lambda_c^+$ -барионов приводит к следующему уровню фона: для  $\Sigma_c^{*+}(2510)$   $0,41 \pm 0,19$ , для  $\Sigma_c^{*+}(2450)$   $0,13 \pm 0,06$ , для  $\Sigma_c^0(2450)$   $0,10 \pm 0,04$  события. Суммарная величина фона составляет  $0,7 \pm 0,2$  события.

Усредненное значение массы <sup>2)</sup>  $\Sigma_c(2450)$ -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  $\Lambda_c^+$  и образованием через  $\Sigma_c$ -резонансы:

$$R_{\Lambda_c^+} = \frac{\Sigma_c \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^\pm}{8\alpha \Lambda_c^+} = 0,58^{+0,17}_{-0,22}.$$

Этот результат является указанием на то, что в нейтринных взаимодействиях значительная часть  $\Lambda_c^+$ -барионов может образоваться через  $\Sigma_c$ -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  $\Lambda_c^+$  и  $\Sigma_c$ -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-мезонов. Средняя величина  $Q^2$  во взаимодействиях с рождением очарованных барионов составляет  $\sim 4 (\text{ГэВ}/c)^2$ , в то время как в событиях с D-мезонами —  $\langle Q^2 \rangle \sim 19 (\text{ГэВ}/c)^2$ . В рамках партонной модели образование очарованных барионов наиболее вероятно при слиянии партонных нуклонного остатка и рожденного c-кварка. Это приводит <sup>/8/</sup> к ограничению по  $Q^2$  ( $Q^2 < M_{\Lambda_c^+}^2$ ), что и наблюдается в эксперименте.

2) Разница масс внутри  $\Sigma_c$ -мультиплетов оценивалась в ряде работ <sup>/7/</sup> и составляет в среднем величину порядка нескольких МэВ.

# 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. Бунятов С.А. и др. Сообщение ОИЯИ, 1982, ДИ-82-471, Дубна;  
Аммар Р. и др. ЯФ, 1986, 44, 649;  
Аммар Р. и др. Письма в ЖЭТФ, 1986, 43, 401;  
Батусов Ю.А. и др. Препринт ОИЯИ, 1987, РИ-87-308, Дубна.
7. Lichtenberg D.B. 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., В сб.: Элементарные  
частицы и космические лучи. М., Атомиздат, 1980, с.134.

Рукопись поступила в издательский отдел  
6 июля 1987 года.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,  
если они не были заказаны ранее.

|                |                                                                                                                                                                            |            |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Д3,4-82-704    | Труды IV Международной школы по нейтрон-<br>ной физике. Дубна, 1982.                                                                                                       | 5 р.00 к.  |
| Д7-83-644      | Труды Международной школы-семинара по<br>физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.                                                                                               | 6 р.55 к.  |
| Д2,13-83-689   | Труды рабочего совещания по проблемам<br>излучения и детектирования гравитационных<br>волн. Дубна, 1983.                                                                   | 2 р.00 к.  |
| Д13-84-63      | Труды XI Международного симпозиума<br>по ядерной электронике. Братислава,<br>Чехословакия, 1983.                                                                           | 4 р.50 к.  |
| Д2-84-366      | Труды 7 Международного совещания по<br>проблемам квантовой теории поля.<br>Алушта, 1984.                                                                                   | 4 р.30 к.  |
| Д1,2-84-599    | Труды VII Международного семинара по проб-<br>лемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.                                                                                   | 5 р.50 к.  |
| Д10,11-84-818  | Труды V Международного совещания по проб-<br>лемам математического моделирования, про-<br>граммирования и математическим методам<br>решения физических задач. Дубна, 1983. | 3 р.50 к.  |
| Д17-84-850     | Труды III Международного симпозиума по<br>избранным проблемам статистической<br>механики. Дубна, 1984. /2 тома/                                                            | 7 р.75 к.  |
| Д11-85-791     | Труды Международного совещания по аналити-<br>ческим вычислениям на ЭВМ и их применению<br>в теоретической физике. Дубна, 1985.                                            | 4 р.00 к.  |
| Д13-85-793     | Труды XII Международного симпозиума по<br>ядерной электронике. Дубна, 1985.                                                                                                | 4 р.80 к.  |
| Д4-85-851      | Труды Международной школы по структуре<br>ядра. Алушта, 1985.                                                                                                              | 3 р.75 к.  |
| Д3,4,17-86-747 | Труды V Международной школы по нейтронной<br>физике. Алушта, 1986.                                                                                                         | 4 р.50 к.  |
|                | Труды IX Всесоюзного совещания по ускоре-<br>телям заряженных частиц. Дубна, 1984.<br>/2 тома/                                                                             | 13 р.50 к. |
| Д1,2-86-668    | Труды VIII Международного семинара<br>по проблемам физики высоких энергий.<br>Дубна, 1986. /2 тома/                                                                        | 7 р.35 к.  |

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного  
института ядерных исследований.