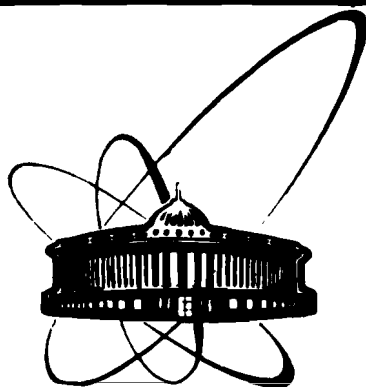


89-701



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

A 508

D1-89-701

НАБЛЮДЕНИЕ ОЧАРОВАННЫХ БАРИОНОВ  $\Sigma_c$   
НА СЕРПУХОВСКОМ УСКОРИТЕЛЕ  
В НЕЙТРОН-ПРОТОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

Сотрудничество БИС-2

Направлено в журнал "Zeitschrift für  
Physik C"

1989

А.Н.Алеев, В.А.Арефьев, В.П.Балачдин, В.К.Бердышев, В.К.Бирулев, Т.С.Григалашвили, Б.Н.Гуськов, А.И.Зинченко, И.И.Евсиков, И.М.Иванченко, М.Н.Капишин, Н.Н.Карпенко, Д.А.Кириллов, И.Г.Косарев, Н.А.Кузьмин, М.Ф.Лихачев, А.Л.Любимов, А.Н.Максимов, П.В.Мойсенз, А.Н.Морозов, В.В.Пальчик, А.В.Позе, Т.Б.Прогулова, А.Прокош, В.В.Рыбаков, Л.А.Слепец, А.С.Чвыров  
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

А.Ф.Камбурян, А.А.Локтионов, Ю.К.Потребеников  
Институт высоких энергий АН КазССР, Алма-Ата

Ю.Клабун, Х.Новак, Э.Новак, Х.-Э.Рызек, К.Хиллер  
Институт физики высоких энергий АН ГДР, Берлин-Цойтен

И.Вереш, П.Залан, Я.Паэони  
Центральный институт физических исследований ВАН, Будапешт

А.С.Белоусов, Я.А.Ваздик, Е.Г.Девинин, М.В.Завертяев, В.А.Козлов, Е.И.Малиновский, С.Ю.Поташов, С.В.Русаков, П.А.Смирнов, Ю.В.Соловьев, А.П.Теркулов, А.М.Фоменко, Л.Н.Штарков  
Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР, Москва

Е.А.Чудаков  
Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

В.Д.Чолаков  
Пловдивский университет им. П.Хиландерски, Пловдив

М.Вецко, Я.Гладки, М.Новак, М.Смижанска  
Физический институт ЧСАН, Прага

В.И.Заячки  
Высший химико-технологический институт, София

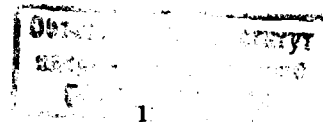
В.Р.Крастев  
Центральная лаборатория автоматизации и научного приборостроения БАН, София

Д.Т.Бурилков, П.К.Марков, Г.Г.Султанов, П.Т.Тодоров, Р.К.Траянов  
Институт ядерных исследований и ядерной энергетики БАН, София

Л.Н.Абесалашвили, Н.С.Амаглобели, Н.О.Кадагидзе, Р.А.Кватадзе, В.Д.Кекелидзе, Н.Л.Ломидзе, Г.И.Никобадзе, Т.Г.Пицхелаури, Г.Т.Татишвили, М.С.Чаргейшвили, Р.Г.Шанидзе  
Институт физики высоких энергий ТГУ, Тбилиси

На серпуховском ускорителе, энергии которого близки к порогу рождения очарованных частиц, в эксперименте ВИС-2 нами ранее были зарегистрированы  $\Lambda_c^-$ -барион и  $\bar{D}$ -мезоны<sup>/1/</sup>. В настоящей работе мы приводим данные по наблюдению очарованных барионов  $\Sigma_c^+$ , рожденных в нейтрон-протонных взаимодействиях. Это первое наблюдение очарованных барионов, принадлежащих изотриплету  $\Sigma_c^+$  в сильных взаимодействиях при столь низких энергиях. Отметим, что  $\Sigma_c^+$  наблюдались в нескольких экспериментах, в основном в  $e^+e^-$ -аннигиляции<sup>/2/</sup>, нейтринных<sup>/3/</sup> и фотонных<sup>/4/</sup> пучках. В адронных взаимодействиях  $\Sigma_c^+$  частицы наблюдались только в эксперименте E-400<sup>/5/</sup>, в пучке нейтронов со средней энергии 640 ГэВ.

Спектрометр ВИС-2 с помощью которого проводился эксперимент, был расположен в канале нейтральных частиц серпуховского ускорителя. Схема спектрометра ВИС-2 приведена на рис.1. Пучок нейтральных частиц состоял в основном (98%) из нейтронов, имеющих энергии от 20 до 70 ГэВ. Максимум энергетического спектра нейтронов приходился на 40 ГэВ. Мишень из водорода имела форму цилиндра с диаметром 6 см и длиной по пучку 30 см ( $2,1 \text{ г/см}^2$ ). Основными компонентами спектрометра являлись: анализирующий магнит с апертурой  $100 \times 30 \text{ см}^2$  и значением магнитного поля  $2,1 \text{ Тл}$ ; система пропорциональных камер, состоящая из 30 плоскостей; для регистрации заряженных частиц; два годоскопа сцинтилляционных счетчиков, используемые в триггере; и система идентификации заряженных адронов. Система идентификации состояла из двух многоканальных пороговых газовых черенковских счетчиков МПГЧС1 и МПГЧС2, первый из которых был наполнен водородом, располагался в магните и имел 7 каналов. Второй



счетчик, МПЧС-2, наполнялся фреоном и имел 14 каналов. Заряженные адроны идентифицировались такой системой, если их импульс был больше 3 ГэВ/с. При этом в интервале до 10 ГэВ/с могли быть выделены  $\pi$ -мезоны, а в интервале 10-20 ГэВ/с частицы  $\pi$ ,  $K$  и  $p$  практически разделялись полностью. С установкой БИС-2 и системой идентификации заряженных адронов более подробно можно познакомиться по работам <sup>6/</sup>. Логика триггера, запускавшего спектрометр, соответствовала прохождению через основные элементы установки не менее четырех заряженных частиц.

Данная работа основана на анализе  $9 \cdot 10^6$  нейтрон-протонных взаимодействий, зарегистрированных в эксперименте по изучению адронного рождения очарованного бариона  $\Lambda_c$ .

Для наблюдения  $\Sigma_c$ -состоянии мы воспользовались методом равенности масс. Этот метод основан на том факте, что свободная энергия в распаде  $\Sigma_c \rightarrow \Lambda_c + \pi$  мала и, следовательно, разрешение по величине разности инвариантных масс систем  $\Lambda_c \pi$  и  $\Lambda_c$  значительно лучше разрешения по инвариантной массе отдельно взятых состояний  $\Lambda_c$  или  $\Sigma_c$ . Типичные значения этого разрешения для многих современных экспериментов находятся в интервале (1-2) МэВ/с<sup>2</sup>. Для БИС-2 оно было определено методом Монте-Карло и составило 1,0 МэВ/с<sup>2</sup>. Достоинствами метода равенности масс являются улучшение фоновых условий наблюдения  $\Sigma_c$  и нечувствительность ко многим систематическим ошибкам при измерении инвариантной массы. Этот метод успешно использовался в работах <sup>2,5/</sup>.

Поиск  $\Sigma_c$  проводился в событиях, в которых было зарегистрировано не менее четырех заряженных частиц, из которых хотя бы две частицы имели положительный заряд. При отборе событий требовалось, чтобы траектории всех этих частиц составляли общую вершину. Эта вершина должна была находиться в районе мишени. Таким образом обеспечивалась выборка нейтрон-протонных

взаимодействий с небольшой примесью нейтрон-ядерных взаимодействий, которые были обусловлены взаимодействием нейтронов пучка на ядрах вещества стенок мишени. В таких событиях искались каскады распадов:  $\Sigma_c \rightarrow \Lambda_c + \pi$ ,  $\Lambda_c \rightarrow p \bar{K} \pi^+$ .

Комбинация из трех заряженных частиц с инвариантной массой, полученной в предположении, что этими частицами являются  $p$ ,  $\bar{K}$  и  $\pi^+$ , лежащей в интервале (2,23-2,43) ГэВ/с<sup>2</sup>, считалась кандидатом в распад очарованного бариона  $\Lambda_c$ , если для каждой частицы в комбинации выполнялось два условия: значение импульса по модулю было больше 3 ГэВ/с; на основании анализа информации, полученной от МПЧС1 и МПЧС2, для каждой частицы исключалась возможность 'неправильной' идентификации. Первое условие позволяло исключить кинематическую область, в которой система идентификации не различала частицы. При помощи второго условия из анализа исключались заведомо ложные комбинации. Неоднозначные решения системы идентификации в основном были обусловлены невозможностью разделения  $p$ -и  $\bar{K}$ -частиц в интервале импульсов до 10 ГэВ/с. Комбинации  $p \bar{K} \pi^+$  содержащие неоднозначные решения, отбраковывались кандидатами в распад  $\Lambda_c$ . Для увеличения доли очарованных барионов  $\Lambda_c$  в отобранных комбинациях применялись также следующие ограничения: требовалось, чтобы модуль суммарного импульса комбинации  $p \bar{K} \pi$  был больше 20 ГэВ/с, а квадрат его поперечной составляющей превышал  $0,2$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>.

Кандидаты в очарованные барионы  $\Sigma_c$  искались среди событий, содержащих кандидаты в распады  $\Lambda_c$  и дополнительную заряженную частицу. При этом требовалось, чтобы удовлетворялись следующие условия: заряженная частица рождалась в вершине, соответствующей распаду  $\Lambda_c$ , и системой идентификации не отвергалась вероятность быть пионом. Было найдено 7130 событий, в которых имелся хотя бы один кандидат в распады  $\Sigma_c^{++}$ . На рис.2 приводится построенный



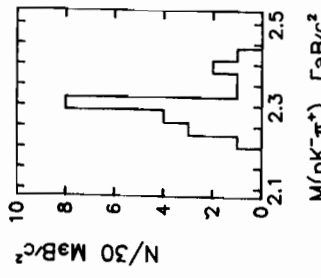


Рис. 3. Распределение инвариантной массы подсистемы  $pK^+\pi^+$  из области резонансного спектра, соответствующей состоянию  $\Sigma_c^{++}$ .

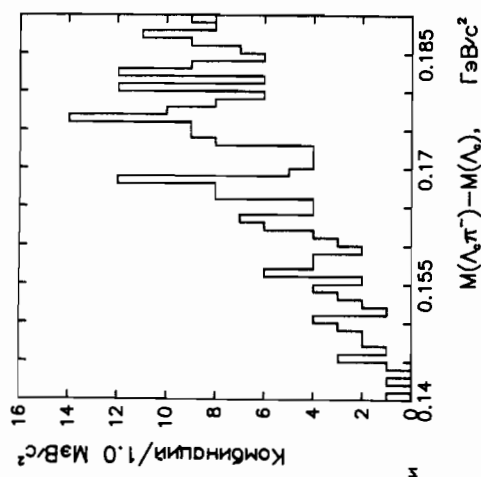


Рис. 4. Распределение инвариантных масс систем  $\Lambda_c^+\pi^-$  и  $\Lambda_c^0$ .

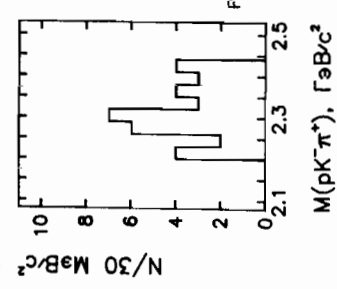


Рис. 5. Распределение инвариантной массы подсистемы  $pK^+\pi^+$  из области резонансного спектра, соответствующей состоянию  $\Sigma_c^0$ .

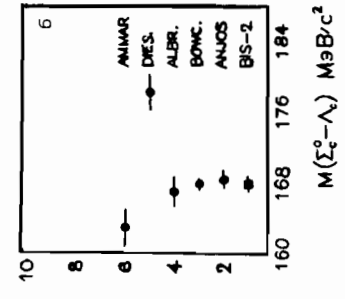
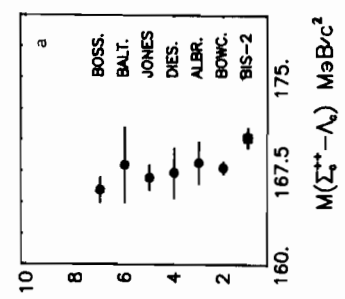


Рис. 6. Опубликованные экспериментальные данные по разностям масс  $\Sigma_c^{++}-\Lambda_c$  и  $\Sigma_c^0-\Lambda_c$ . Экспериментальные погрешности даются как квадратичная сумма статистических и систематических ошибок.

фотонных пучках. В адронных взаимодействиях такие данные пока не получены. Только в эксперименте ACCMOR, проведенном на ускорителе SPS, в пучке  $\pi^-$  с энергией 250 ГэВ получено ограничение на отношение сечений  $(\Sigma_c^{++}/\Sigma_c^0)/\Lambda_c^+$  с 90% уровнем достоверности оно меньше 11%.

В эксперименте BIS-2, в нейтрон-протонных взаимодействиях очарованные барионы  $\Lambda_c$  были зарегистрированы в двух каналах распада  $(\Lambda_c^{++}/\Lambda_c^0) \rightarrow pK^+\pi^+$  и  $(\Lambda_c^0) \rightarrow pK^+\pi^0$ . Для оценки отношения  $R^{++} = \sigma(\Sigma_c^{++})/\sigma(\Lambda_c^+)$  и  $R^0 = \sigma(\Sigma_c^0)/\sigma(\Lambda_c^+)$  мы воспользовались результатами работы /9/, в которой в кинематической области  $x > 0,5$  и  $p_T^2 < 1,0$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> было измерено сечение рождения очарованного бариона  $\Lambda_c$ . Отношение  $R$  мы определяли выражением

$$R = \frac{N_1 B_1 \epsilon_1}{N_2 B_2 \epsilon_2}$$

где  $N_1$  и  $N_2$  - количество зарегистрированных в эксперименте очарованных барионов  $\Sigma_c$  и  $\Lambda_c$ ,  $B_1$  и  $B_2$  - относительные вероятности распадов  $\Lambda_c^{++} \rightarrow pK^+\pi^+$  и  $\Lambda_c^0 \rightarrow pK^+\pi^0$ , а  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  - вероятности регистрации распадов  $\Sigma_c^{++} \rightarrow \Lambda_c^+ p$  и  $\Lambda_c^0 \rightarrow pK^+\pi^0$  на установке BIS-2. Вероятность регистрации включала в себя геометрический акцептанс установки, эффективность системы запуска, а также поправки, учитывающие влияние трименных ограничений.  $N_1$  - количество зарегистрированных распадов  $\Sigma_c^{++}$  получено в данной работе. Оно равно  $12 \pm 5$  для состояния  $\Sigma_c^{++}$  и  $8 \pm 6$  для  $\Sigma_c^0$ . Вероятность регистрации  $\epsilon_1$  вычислялась методом Монте-Карло при условии, что дифференциальные характеристики процесса рождения  $\Sigma_c$  аналогичны характеристикам рождения  $\Lambda_c$ . Значения  $N_2 = 18 \pm 6$  и  $\epsilon_2 = (5,6 \pm 0,4) \cdot 10^{-4}$  были взяты из работы /9/, а значения для парциальных вероятностей  $B_1 = 2,6 \pm 0,9$  и  $B_2 = 1,7 \pm 0,7$  - из данных

таблицы свойства частиц /10/. Окончательно было получено  $R^{++} = R^0 = (5-10)\%$ .

В заключение приведем основные результаты, полученные в данной работе:

1. На серпуховском ускорителе в нейтрон-протонных взаимодействиях зарегистрировано рождение очарованных барионов  $\Sigma_c$ . Очарованные барионы  $\Sigma_c$  зарегистрированы по каскадным распадам  $\Sigma_c \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^+$ ,  $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^+$ .

2. Измерены разности масс:

$$\Sigma_c^{++} - \Lambda_c^+ = 170 \pm 20, 8 \text{ МэВ}/c^2,$$

$$\Sigma_c^0 - \Lambda_c^+ = 167,9 \pm 1,0 \text{ МэВ}/c^2.$$

3. Определено отношение сечений рождения  $\Sigma_c^{++}$  и  $\Sigma_c^0$  к  $\Lambda_c^+$ . В нейтрон-протонных взаимодействиях, при эффективной энергии в системе центра масс  $\sqrt{s} = 10,5$  ГэВ, в кинематической области  $x > 0,5$  и  $p_t^2 < 1,0$  (ГэВ/c)<sup>2</sup> оно находится в пределах (10-20)%.

За постоянный интерес и поддержку этих исследований авторы признательны А.М.Балдину, С.С.Герштейну, А.А.Комару, Э.И.Мальцеву, И.А.Савицу, А.Н.Сисакян, А.Н.Тавхелидзе, Н.Е.Тюрину и П.А.Черенкову. Мы благодарим В.И.Джорджадзе, Е.М.Михачеву, Л.В.Сильвестрова и Г.Г.Тахтамышева за участие в эксперименте.

#### Литература

1. Aleev A.N. et al. Z.Phys., 1984,C23,333,  
Aleev A.N. et al. Z.Phys., 1988,C37,243.
2. Albrect H. et al. Phys. Lett., 1988,211B,489,  
Womsock T. et al. Phys. Rev. Lett., 1989,62,1240.
3. Батусов Ю.А. и др. ОИЯИ, Д1-88-932, Дубна, 1988,  
Jones G.T. et al. Z.Phys., 1987,C36,593,

- Аннар Р. и др. Письма в ЖЭТФ, 1986,43,401,  
Bosetti P.C. et al. Phys. Lett., 1982,109B,234,  
Caliccio M. et al. Phys. Lett., 1980,93B,521,  
Baltay C. et al. Phys. Rev. Lett., 1979,42,1721,  
Barish S.J. et al. Phys. Rev., 1977,D15,1,  
Cazzoli E.G. et al. Phys. Rev Lett., 1975,34,1125.
4. Anjos J.C. et al. Phys. Rev. Lett., 1988,62,1721,  
Adamovich M.I. et al. Phys. Lett., 1984,140B,119,  
Knapp B. et al. Phys. Rev. Lett., 1976,37,882.  
5. Diesburg M. et al. Phys. Rev. Lett., 1987,95,2711.  
6. Анхнер Г. и др. ОИЯИ, Д1-80-644, Дубна, 1980,  
Гушков Б.Н. и др. ОИЯИ, Д1-86-248, Дубна, 1986.  
7. Barlag S. et al. CERN EP/88-104, 1988.  
8. Алеев А.Н. и др. ОИЯИ, Д1-88-387, Дубна, 1988.  
9. Vesko M. et al. FZU 8-88, Prague, 1988.
10. Review of Particle Properties. Phys. Lett., 1988,204B.

Рукопись поступила в издательский отдел  
6 октября 1989 года.