

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

А 458

P1-88-397

РОЖДЕНИЕ ОЧАРОВАННЫХ БАРИОНОВ
 Λ_c^+ В np -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ ЭНЕРГИИ НЕЙТРОНОВ 40-70 ГэВ

Сотрудничество БИС-2: Дубна – Алма-Ата –
Берлин – Будапешт –
Бухарест – Москва –
Пловдив – Прага –
София – Тбилиси

Направлено на Международную конференцию
по физике высоких энергий, Мюнхен,
и Всесоюзную конференцию по космическим
лучам, Алма-Ата

1988

А.Н.Алеев, В.А.Арефьев, В.П.Баландин, 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.П.Любимов, А.Н.Максимов, П.В.Мойсенз, А.Н.Морозов,
В.В.Пальчик, А.В.Поле, А.Прокопеш, В.В.Рыбаков, В.Е.Симонов,
Л.А.Слепец, М.Смижанска, Г.Г.Тахтамышев, К.Хиллер, А.С.Чвыров
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

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

Ю.Клаун, З.Новак, Х.Новак, Х.-Э.Рызек
Институт физики высоких энергий АН ГДР, Берлин

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

О.Балеа, Т.Понта
Центральный институт физики, Бухарест

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

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

В.Д.Чолаков
Пловдивский университет им.П.Хилендарски

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

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

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

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

Л.Н.Абесалашвили, Н.С.Амаглобели, В.П.Джорджадзе,
Н.О.Кадагидзе, Р.А.Кватадзе, В.Д.Кекелидзе, Н.Л.Ломидзе,
Г.В.Мелитаури, Г.И.Никобадзе, Т.Г.Пицхелаури, Г.Т.Татишвили,
М.С.Чаргеишвили, Р.Г.Шанидзе
Научно-исследовательский институт физики высоких энергий ТГУ,
Тбилиси

С помощью спектрометра БИС-2 ранее было исследовано рождение очарованных барионов Λ_c^+ нейтронами на ядрах углерода, алюминия и меди при средней эффективной энергии нейтронов ≈ 58 ГэВ 1,2 . В данной работе представлены первые результаты исследования рождения Λ_c^+ нейтронами на водороде. Эксперимент выполнялся на той же установке и при той же энергии, что и в предыдущих исследованиях. Приводимые данные основаны на анализе $\approx 11 \cdot 10^6$ зарегистрированных пр-взаимодействий. Спектрометр БИС-2 был расположен в пучке нейтронов серпуховского ускорителя /канал 4Н/ /энергетический спектр нейтронов этого пучка приведен в работе 3 . Схема спектрометра БИС-2 показана на рис.1. Жидководородная мишень имела форму цилиндра $\varnothing 6$ см и содержала $2,1$ г/см 2 водорода. Координаты треков вторичных частиц регистрировались пропорциональными камерами РС. Анализирующий магнит М изменял поперечную составляющую импульса заряженных частиц на $-0,625$ ГэВ/с. Два многоканальных пороговых газовых черенковских счетчика С1 и С2 служили для идентификации частиц. Для запуска спектрометра требовалось прохождение через всю установку не менее 4 заряженных частиц.

Проводился поиск инклюзивно рожденных очарованных барионов Λ_c^+ , распадающихся по каналам

$$\Lambda_c^+ \rightarrow \bar{K}^0 p \pi^+ \pi^- \quad /1/$$

$$\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^+ \pi^- \quad /2/$$

с последующими распадами $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ и $\Lambda \rightarrow p \pi^-$. Для выделения очарованных барионов Λ_c^+ по распадам /1/ и /2/ отбирались события с нейтральными странными частицами K^0 и Λ в сопровождении трех и более заряженных частиц. По этим критериям было выделено $\approx 6 \cdot 10^4$ и $\approx 3 \cdot 10^4$ кандидатов в распады /1/ и /2/ соответственно.

На рис.2 показаны спектры инвариантных масс $\pi^+ \pi^-$ и $p \pi^-$, на которых четко видны сигналы от K^0 и Λ . Их полуширины на полувысоте равны соответственно 3 и 2 МэВ/с 2 . Поэтому для дальнейшего анализа были оставлены события, в которых инвариантные массы $\pi^+ \pi^-$ и $p \pi^-$ для нейтральных вылок отличались от табличных значений масс K_S^0 и Λ не более чем на 10 и 8 МэВ/с 2 соответственно. Для улучшения отношения сигнал - фон требовалось, чтобы вершина V^0 находилась за мишенью на расстоянии

Объединенный институт
ядерных исследований
БИН АН УССР

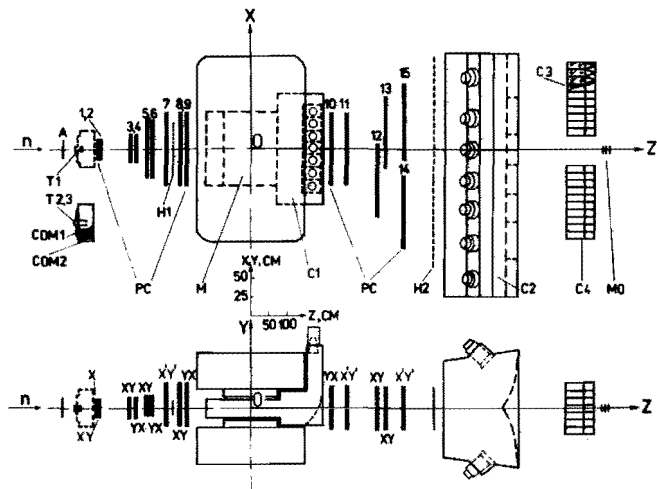


Рис.1. Схема спектрометра БИС-2. А - сцинтилляционный счетчик антисовпадений, Т - жидководородная мишень, COM1 и COM2 - годоскопы сцинтилляционных счетчиков окружения мишени, PC/1 ÷ 14/ - двухкоординатные проволочные пропорциональные камеры, H1 и H2 - годоскопы сцинтилляционных счетчиков, C1 и C2 - многоканальные пороговые газовые черенковские счетчики, C3 - годоскоп черенковских счетчиков полного поглощения, MO - нейтронный монитор, M - анализирующий магнит.

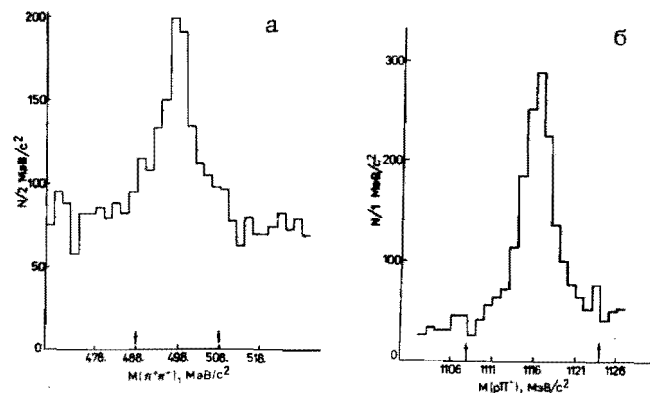


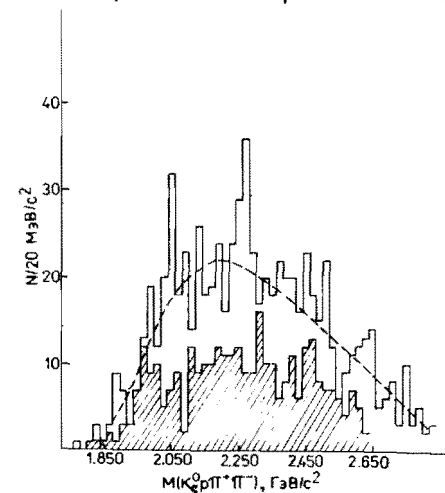
Рис.2. Распределение инвариантных масс: а/ $M(\pi^+\pi^-)$ в области массы K_s^0 -мезона, б/ $M(p\pi^-)$ в области массы Λ -гиперона.

более 5 см. Использовался также ряд ограничений, учитывающих точность пространственного восстановления треков, а также геометрию спектрометра. В частности, требовалось, чтобы минимальное расстояние между траекториями частиц, образующих V^0 , не превышало 1 см, и среднеквадратичное отклонение траекторий в вершинах комбинаций /1/ и /2/ было не более 1 см. Этим требованиям удовлетворяли 4853 события $K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ трека и 3118 событий $\Lambda \rightarrow p\pi^-$ трека. Экспериментальный материал включает в себя кроме взаимодействий нейтронов с водородом также взаимодействия нейтронов с веществом стенок и креплений мишени. Чтобы определить вклад последних, была проведена экспозиция с пустой мишенью и записано $0,5 \cdot 10^6$ событий. В результате анализа этих событий определены критерии отбора, уменьшающие вклад от фоновых событий такого рода до величины не более 12%.

Для выделения искоемых сигналов и уменьшения фона проводилась идентификация заряженных частиц по информации от пороговых газовых черенковских счетчиков C1 и C2. На основании этой информации определялись условные вероятности, или веса, с которыми заряженная частица могла быть идентифицирована как π , K или p. Более подробно процедура идентификации заряженных частиц в спектрометре БИС-2 описана в работе /4/.

Из всех возможных комбинаций трех заряженных частиц, сопровождающих K_s^0 , с помощью черенковских счетчиков C1 и C2 выбирались такие, которые удовлетворяли гипотезе $p\pi^+\pi^-$, а из заряженных частиц, сопровождающих Λ , - удовлетворяющие гипотезе $\pi^+\pi^+\pi^-$.

На рис.3 показано распределение инвариантных масс системы $K_s^0 p\pi^+\pi^-$. В гистограмму вошло 758 комбинаций. При массе $\sim 2,27 \text{ ГэВ}/c^2$ в распределении виден пик в двух интервалах по $20 \text{ МэВ}/c^2$. Его ширина согласуется с аппаратным разрешением



спектрометра по инвариантной массе $K_s^0 p\pi^+\pi^-$. В пике содержится ~ 25 событий над фоновой кривой. Заштрихованная гистограмма представляет спектр ин-

Рис.3. Спектр инвариантных масс системы $K_s^0 p\pi^+\pi^-$. Заштрихованная гистограмма - спектр инвариантных масс системы $K_s^0 p\pi^+\pi^-$. Здесь и на остальных рисунках пунктирная кривая - аппроксимация фона полиномиальной функцией.

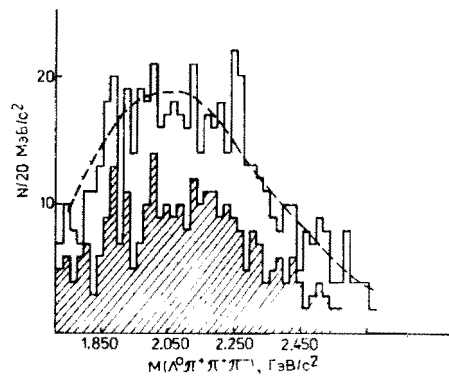


Рис.4. Спектр инвариантных масс системы $\Lambda\pi^+\pi^+\pi^-$. Заштрихованная гистограмма – спектр инвариантных масс системы $\Lambda\pi^+\pi^-\pi^-$.

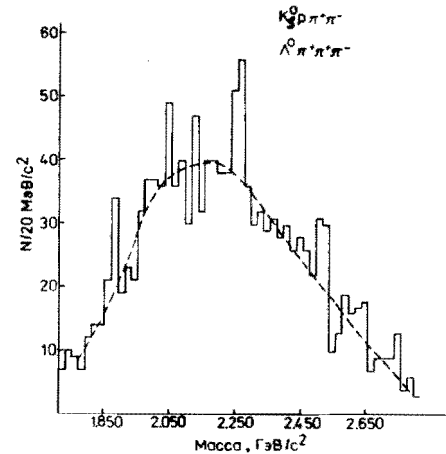


Рис.5. Суммарный спектр инвариантных масс систем $K_S^0 p\pi^+\pi^-$ и $\Lambda\pi^+\pi^+\pi^-$.

вариантных масс комбинации $K_S^0 p\pi^-\pi^-$ с отрицательным суммарным зарядом. В нем статистически обеспеченных пиков не наблюдается. Отсюда следует, что сигнал, зарегистрированный в спектре инвариантных масс системы $K_S^0 p\pi^+\pi^-$, не может быть обусловлен распадом гиперонного резонанса, а свидетельствует о наблюдении Λ_c^+ -бариона, распадающегося по каналу /1/.

На рис.4 показан спектр инвариантных масс системы $\Lambda\pi^+\pi^+\pi^-$. Гистограмма содержит 645 комбинаций. При значении массы 2,265 ГэВ/с² в распределении наблюдается пик, содержащий ~13 событий над фоном. Заштрихованная гистограмма представляет спектр масс изотопически сопряженной комбинации $\Lambda\pi^+\pi^-\pi^-$, в котором в области массы Λ_c^+ статистически обеспеченного сигнала не наблюдается. Предполагая, что наблюдаемые пики в спектрах эффективных масс $K_S^0 p\pi^+\pi^-$ и $\Lambda\pi^+\pi^+\pi^-$ являются сигналами двух мод распада очарованного бариона Λ_c^+ , мы представляем на рис.5 суммарное распределение инвариантных масс систем $K_S^0 p\pi^+\pi^-$ и $\Lambda\pi^+\pi^+\pi^-$, где при значении массы ~2,265 ГэВ/с² наблюдается пик, содержащий 35 ± 10 событий над уровнем фона в 73 события. Статистическая значимость сигнала соответствует 4 стандартным отклонениям от фона. Среднее значение массы в пике составляет $2,268 \pm 0,005$ ГэВ/с². Комбинаторный фон в районе пика пренебрежимо мал. Для определения сечения рождения очарованных барионов Λ_c^+ нейтронами на протонах использовалось выражение

$$\sigma_p \cdot V = \frac{N}{N_p \cdot M_p \cdot V_s \cdot \epsilon} \quad /3/$$

где V – относительные вероятности распадов Λ_c^+ по каналам /1/ или /2/; N – числа наблюдаемых распадов Λ_c^+ ; N_p – число протонов на 1 см² мишени; M_p – поток нейтронов; V_s – относительные вероятности распадов $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ и $\Lambda \rightarrow p\pi^-$; ϵ – эффективности регистрации Λ_c^+ по каналам /1/ и /2/.

Апертура спектрометра БИС-2 позволяет регистрировать очарованные барионы Λ_c^+ в кинематической области, которая определяется значениями фейнмановской переменной $x_F > 0,5$ и поперечного импульса $P_T \leq 1$ ГэВ/с. Эффективность регистрации Λ_c^+ -барионов в этой области рассчитывалась методом Монте Карло с учетом расположения детекторов установки, их эффективности, условий триггера, многократного рассеяния, распада Λ и K^0 . Были получены следующие значения парциальных сечений рождения Λ_c^+ , распадающихся по каналам /1/ и /2/:

$$\sigma_p(x_F > 0,5) \cdot V(\Lambda_c^+ \rightarrow \bar{K}^0 p\pi^+\pi^-) = (1,0 \pm 0,3 \pm 0,2) \text{ мкб.} \quad /4/$$

$$\sigma_p(x_F > 0,5) \cdot V(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\pi^+\pi^+\pi^-) = (0,28 \pm 0,15 \pm 0,04) \text{ мкб.} \quad /5/$$

Первая из приведенных ошибок является статистической, вторая учитывает погрешности, обусловленные неопределенностью в определении потока нейтронов и возможным вкладом от взаимодействий нейтронов со стенками жидководородной мишени*.

На основе соотношений /4/ и /5/ определим отношение парциальных ширин распадов:

$$\frac{V(\Lambda_c^+ \rightarrow \bar{K}^0 p\pi^+\pi^-)}{V(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\pi^+\pi^+\pi^-)} = 3,5 \pm 2,2. \quad /6/$$

Используя значение относительной вероятности распада $V(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\pi^+\pi^+\pi^-) = (2,8 \pm 0,7 \pm 1,1)\%$ из работы /8/, получаем сечение рождения Λ_c^+ нейтронами с энергией ~58 ГэВ на протонах:

$$\sigma_p(x_F > 0,5) = (10,0 \pm 5,9 \pm 4,2) \text{ мкб.} \quad /7/$$

*В работе /5/, использующей эти же исходные данные, но другой способ определения сечений /нормировка не на поток первичных нейтронов, а на число зарегистрированных событий, содержащих $\Lambda \rightarrow \geq 3$ трека/, было получено значение

$$\sigma(x_F > 0,5) \cdot V(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\pi^+\pi^+\pi^-) = (0,26 \pm 0,11) \text{ мкб.}$$

Можно сравнить сечения рождения Λ_c^+ на протонах и на ядрах. Параметризуем зависимость сечения на ядре от атомного веса в виде

$$\sigma_A = \sigma_0 \cdot A^\alpha. \quad /8/$$

Тогда, используя значение $\alpha = 0,73 \pm 0,20$, полученное в ^{2/} при сравнении сечений рождения Λ_c^+ на углероде, алюминии и меди, и парциальные сечения рождения Λ_c^+ на углероде σ_c из работы ^{1/}:

$$\sigma_c (x_F > 0,5) \cdot V(\Lambda_c^+ \rightarrow \bar{K}^0 p \pi^+ \pi^-) = (10 \pm 4) \text{ мкб}, \quad /9/$$

$$\sigma_c (x_F > 0,5) \cdot V(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^+ \pi^-) = (2,3 \pm 1,1) \text{ мкб}, \quad /10/$$

получаем соотношения для сечения на нуклон σ_0 :

$$\sigma_0 (x_F > 0,5) \cdot V(\Lambda_c^+ \rightarrow \bar{K}^0 p \pi^+ \pi^-) = (1,60 \pm 0,60) \text{ мкб}, \quad /11/$$

$$\sigma_0 (x_F > 0,5) \cdot V(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^+ \pi^-) = (0,38 \pm 0,18) \text{ мкб}. \quad /12/$$

Сравнение величин /11/ и /12/ с полученными в этой работе значениями /4/ и /5/ показывает, что

$$\sigma_0 = (1,5 \pm 0,8) \cdot \sigma_p. \quad /13/$$

Однако это соотношение, находящееся в качественном соответствии с предсказаниями модели ^{7/}, следует рассматривать как весьма приближенное из-за ошибок эксперимента, как статистических, так и возможных систематических.

В заключение приведем основные результаты, полученные в данной работе:

1. В пр-взаимодействиях при средней эффективной энергии нейтронов ~58 ГэВ наблюдается рождение очарованных барионов Λ_c^+ , распадающихся по каналам $\Lambda_c^+ \rightarrow \bar{K}^0 p \pi^+ \pi^-$ и $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^+ \pi^-$.

2. Измерены парциальные сечения ($\sigma_p \cdot V$) указанных процессов для наблюдаемой кинематической области $x_F \geq 0,5$, $P_T \leq 1$ ГэВ/с:

$$\sigma_p (x_F > 0,5) \cdot V(\Lambda_c^+ \rightarrow \bar{K}^0 p \pi^+ \pi^-) = (1,0 \pm 0,3 \pm 0,2) \text{ мкб},$$

$$\sigma_p (x_F > 0,5) \cdot V(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^+ \pi^-) = (0,28 \pm 0,15 \pm 0,04) \text{ мкб}.$$

3. На основе величины $V(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^+ \pi^-) = (2,8 \pm 0,7 \pm 1,1)\%$ из работы ^{6/} получено значение сечения рождения Λ_c^+ нейтронами на водороде в указанной кинематической области:

$$\sigma_p (x_F > 0,5) = (10,0 \pm 5,9 \pm 4,2) \text{ мкб}.$$

4. Измерено отношение вероятностей распадов:

$$V(\Lambda_c^+ \rightarrow \bar{K}^0 p \pi^+ \pi^-) / V(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^+ \pi^-) = 3,5 \pm 2,2.$$

5. Проведено сравнение сечения рождения Λ_c^+ на протонах σ_p с сечением рождения на нуклоне ядра σ_0 , рассчитанным по соотношению $\sigma_A = \sigma_0 \cdot A^\alpha$ исходя из данных БИС-2 о рождении Λ_c^+ на ядрах. Получены оценки $\sigma_0 = (1,5 \pm 0,8) \sigma_p$.

Авторы признательны А.М.Балдину, К.Ланису, А.А.Логуну, М.Г.Мещерякову, И.А.Савину, А.Н.Сисакяну, Л.Д.Соловьеву, Н.Е.Тюрину, Х.Я.Христову, П.А.Черенкову, Э.И.Мальцеву за поддержку работы; благодарят коллективы серпуховского ускорителя и СЭО ОИЯИ за обеспечение эксперимента во время сеансов БИС-2; сотрудников ЛВЭ ОИЯИ, способствовавших эксперименту на разных этапах его проведения, а также Е.М.Лихачеву за постоянное участие в эксперименте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aleev A.N. et al. - Z.Phys., 1984, C23, p.333.
2. Алеев А.Н. и др. - ЯФ, 1987, 46, с.1127.
3. Баландин В.П. и др. ОИЯИ, P1-86-403, Дубна, 1986.
4. Гуськов Б.Н. и др. ОИЯИ, P1-86-248, Дубна, 1986.
5. Vesko M. et al. FZU 8-88, Praha, 1988.
6. Bowcock T. et al. - Phys.Rev.Lett., 1985, 55, p.923.
7. Баранов С.П. Препринт 343, Москва, ФИАН СССР, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 июня 1988 года.