

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



3366/2-78

14/VIII-78

A-375

P1 - 11516

Айхнер, Т.

ПОИСК НОВЫХ ЧАСТИЦ,
РАСПАДАЮЩИХСЯ НА Λ (K^0) + АДРОНЫ

Сотрудничество: Берлин-Будапешт-Дубна-Москва-
Прага-Серпухов-София-Тбилиси

1978

P1 - 11516

ПОИСК НОВЫХ ЧАСТИЦ,
РАСПАДАЮЩИХСЯ НА $\Lambda (K^0) +$ АДРОНЫ

Сотрудничество: Берлин-Будапешт-Дубна-Москва-
Прага-Серпухов-София-Тбилиси

Направлено в ЯФ

Айхнер Г., и др.

P1 - 11516

Поиск новых частиц, распадающихся на $\Lambda(K^0) +$ адроны

Методом магнитного искрового спектрометра осуществлен поиск новых частиц, образуемых нейтронами со средней энергией 45 ГэВ и распадающихся по каналам $\Lambda\pi^+$, $K^0(K^0)\pi^\pm$, $\Lambda\pi^+\pi^-$ и ΛK^+K^- .

Получены оценки верхней границы парциальных сечений для образования "очарованных" частиц $C^+(2260)$ и $D^\pm(1870)$ с относительным импульсом $x > 0,5$:

$$\sigma_{C^+} \times BR(C^+ \rightarrow \Lambda\pi^+) < 2 \cdot 10^{-31} \text{ см}^2,$$

$$\sigma_{D^\pm} \times BR(D^\pm \rightarrow K^0\pi^\pm) < 2,5 \cdot 10^{-31} \text{ см}^2.$$

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Eichner G. et al.

P1 - 11516

Search for New Particles Decaying to $\Lambda(K^0) +$ Hadrons

By means of a magnetic spark spectrometer the search for new particles produced by neutrons with an average energy of 45 GeV and decaying over the channels $\Lambda\pi^+$, $K^0(K^0)\pi^\pm$, and $\Lambda\pi^+\pi^-$ and ΛK^+K^- is performed. Estimates of partial cross section upper limit for the production of charmed particles $C^+(2260)$ and $D^\pm(1870)$ with the relative momentum $x > 0.5$ are obtained:

$$\sigma_{C^+} \times BR(C^+ \rightarrow \Lambda\pi^+) < 2 \cdot 10^{-31} \text{ см}^2,$$

$$\sigma_{D^\pm} \times BR(D^\pm \rightarrow K^0\pi^\pm) < 2,5 \cdot 10^{-31} \text{ см}^2.$$

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energy JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna 1978

ВВЕДЕНИЕ

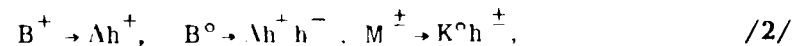
Рождение новых частиц с ненулевым квантовым числом "очарование" обнаружено либо в электромагнитных /1, 2/, либо в слабых взаимодействиях /3/. В сильных взаимодействиях "очарованные" частицы до сих пор не наблюдались, лишь единичные события могли быть интерпретированы как рождение и распад этих частиц /4/. В большинстве выполненных экспериментов их пытались зарегистрировать по продуктам распада, среди которых есть заряженные странные частицы.

В данном эксперименте поиск "очарованных" частиц, рожденных в сильных взаимодействиях, осуществлялся по распадам, среди продуктов которых есть нейтральные странные частицы, Λ - гиперон или K^0 - мезон, хорошо идентифицируемые магнитным искровым спектрометром.

Предполагалось, что "очарованные" частицы рождаются в реакциях



где V^{\pm} и M^{\pm} - соответственно барион и мезон с массами вблизи $2 \text{ ГэВ}/c^2$ с временем жизни $< 10^{-11}$ и малыми ширинами, которые могут распадаться, в частности, по каналам



где h^{\pm} - адроны. Таким образом, в случае рождения в адронных взаимодействиях "очарованных" частиц и их распада по каналам /2/ в спектрах эффективных масс

Λ + адроны /или K^0 -адроны/ должны быть соответствующие узкие пики, ширины которых сравнимы с аппаратным разрешением.

1. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА И УСТАНОВКА

Эксперимент выполнен на канале нейтральных частиц серпуховского ускорителя. Канал был ориентирован на внутреннюю мишень / ϕ 2 мм, длина 2 см, алюминий/ под углом 11,3 мрад к циркулирующему пучку протонов. Формирование пучка частиц осуществлялось системой из трех стальных коллиматоров полной толщиной 9 метров. На выходе формирующей части канала пучок имел размеры 48 мм по горизонтали и 65 мм по вертикали. Полная

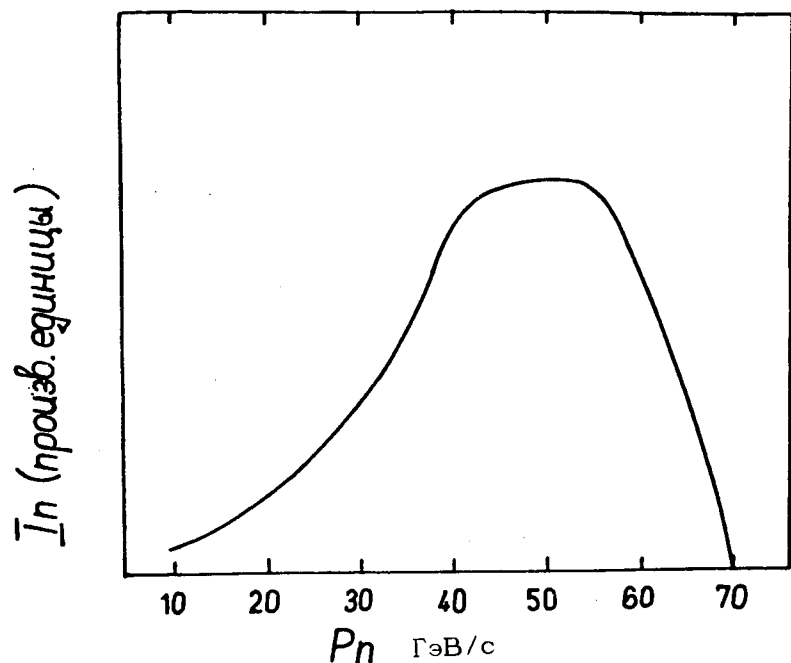


Рис.1. Импульсное распределение нейтронов в пучке /расчет согласно /5/ /.

длина канала от мишени до выхода из последнего формирующего коллиматора составляла 65 метров. Выходя из мишени, пучок проходил около 6 м в магнитном поле ускорителя и очищался от заряженных частиц. Между первым и вторым коллиматорами располагался дистанционно управляемый свинцовый фильтр толщиной от 5 до 20 см для очистки пучка от гамма-квантов. Конвертированные пары и другие заряженные частицы удалялись из пучка полем дополнительного магнита, расположенного сразу за фильтром. На выходе канала пучок состоял в основном из нейтронов с небольшой примесью /около 1,5%/ K_L^0 -мезонов. Средний импульс нейтронов был около 45 ГэВ/с /рис.1/, а их интенсивность - около 10^6 нейтронов/цикл на 10^{11} ускоренных до 70 ГэВ протонов, сбрасываемых на внутреннюю мишень.

Схема экспериментальной установки, основные элементы которой использовались ранее в эксперименте /6/, показана на рис. 2. Углеродная мишень Т / ϕ 5 см и толщина от 1,5 до 10 г/см² /устанавливалась на расстоянии $Z_T = -449,5$ см от центра спектрометрического магнита М. Вылетающие из нее частицы, а также V^0 -распады, произошедшие в распадном объеме DV, регистрировались годоскопами F1, G1 и G2 сцинтилляционных счетчиков, пропорциональными, РС, и искровыми, SC, двухкоординатными камерами с магнитоэлектрическим съемом информации. В состав спектрометра входил также детектор мюонов ДМ. Импульсы заряженных частиц, регистрируемых спектрометром, определялись по их отклонению в спектрометрическом магните. Поле этого магнита изменяло поперечную составляющую импульса на 635 МэВ/с.

Запускающий импульс для SC вырабатывался счетчиком А, включенным на антисовпадения, пропорциональными камерами РС1 и РС2 и годоскопами F1, G1 и G2. При этом требовалось, чтобы сигналы в F1 были одновременно "слева" и "справа" от оси пучка, в G1 был по крайней мере один сигнал, а в G2 сработало не менее трех счетчиков. Информация со всех детекторов записывалась на магнитную ленту через ЭВМ БЭСМ-3М, которая также осуществляла контроль за работой спектрометра.

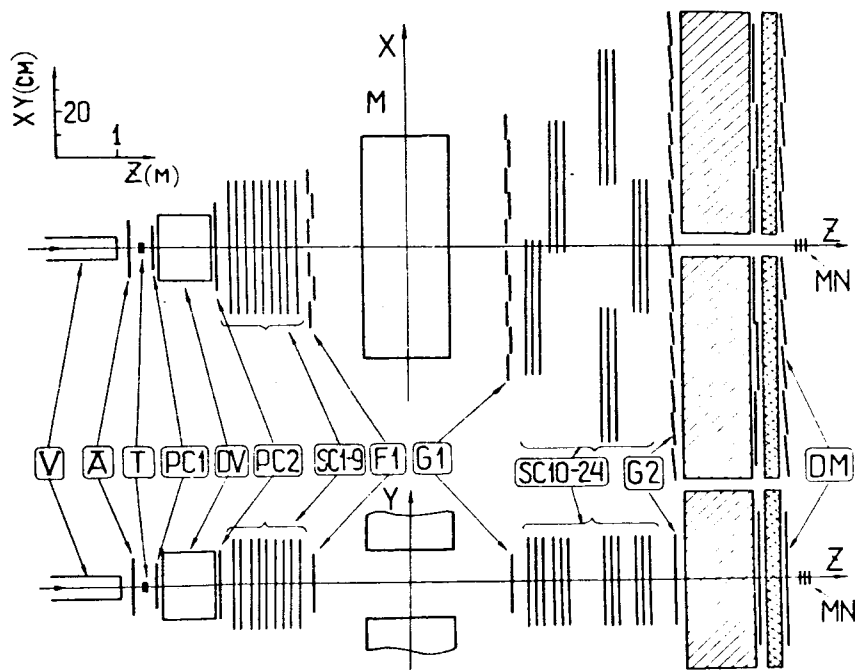


Рис.2. Схема бесфильмового искрового спектрометра. V и DV - объем, заполненный гелием; Т - углеродная мишень; А - сцинтилляционный счетчик; PC1 - двухкоординатная и PC2 - однокоординатная пропорциональные камеры; SC1-9 и SC10-24 - двухкоординатные магнестрикционные искровые камеры; F1, G1, G2 - годоскопы сцинтилляционных счетчиков; М - спектрометрический магнит; ДМ - детектор мюонов; MN - монитор.

В эксперименте было зарегистрировано около $2,3 \cdot 10^6$ взаимодействий, удовлетворяющих указанным условиям запуска спектрометра.

2. ОБРАБОТКА ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

При реконструкции события в пространстве использовался сначала алгоритм поиска кандидатов в Λ или

K^0 , а затем находились остальные треки. Этот метод в большинстве случаев позволял устранить неопределенности в спаривании XZ- и YZ-проекций траекторий и восстановить событие однозначно.

Алгоритм поиска кандидатов в Λ и K^0 состоял в следующем. Программой геометрической реконструкции находилась нейтральная по сумме зарядов частиц пара треков с вершиной в распадном объеме - $441 \text{ см} < Z_{V^0} < -290 \text{ см}$. Таких пар было найдено около 110 тысяч. Далее вычислялись две инвариантные массы этих пар в предположении, что в первом случае частицы являются протоном и π^- -мезоном, а во втором - π^+ - и π^- -мезонами. Пара треков идентифицировалась как $\Lambda(K^0)$, если величина $\ell_{p\pi^-}(\ell_{\pi^+\pi^-})$ была меньше $3 \text{ мм} / \ell_{ij}$ - расстояние наибольшего сближения двух траекторий в пространстве / и соответствующие инвариантные массы лежали в интервалах $/1,101 < M_{p\pi^-} < 1,131/$ и $/0,478 < M_{\pi^+\pi^-} < 0,518/ \text{ ГэВ}/c^2$.

Комбинации с найденными таким образом Λ или K^0 были разбиты на три типа, которые содержали дополнительно к V^0 по крайней мере одну (h^\pm) или две (h_1^\pm, h_2^\pm) заряженные частицы:

- | | |
|---|--------------------------|
| а/ $\Lambda h^\pm / h^\pm$ из мишени/ | - 17867 комбинаций, |
| б/ $K^0 h^\pm / h^\pm$ из мишени/ | - 14952 комбинация, |
| в/ $\Lambda h_1^\pm h_2^\pm / h_1^\pm$ и h_2^\pm из мишени/ | } всего 2912 комбинаций. |
| г/ $\Lambda h^\pm / h^\pm$ из распадного объема/ | |

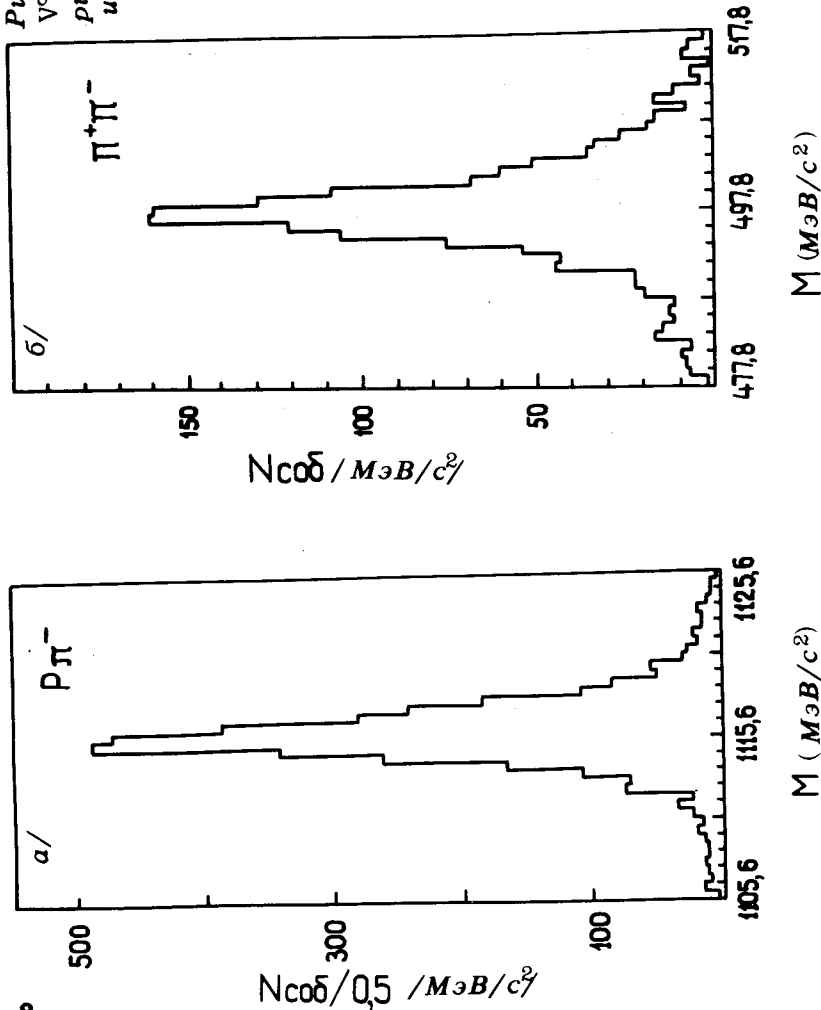
Естественно, среди событий типа "а" содержатся кандидаты в $\Sigma^\pm / 1385/$, а среди событий "г" - кандидаты в Ξ^- -гиперон.

В дальнейшем для отбора событий использовались разные комбинации следующих критериев:

- 1/ $|M_\Lambda - M_{p\pi^-}| < 7,5 \text{ МэВ}/c^2$;
- 2/ $|M_{K^0} - M_{\pi^+\pi^-}| > 15 \text{ МэВ}/c^2$ /для комбинаций, удовлетворивших критерию 1/;

- 3/ $\ell_{V^0 h} < 5 \text{ мм}$;
- 4/ $Z_{V^0} > -430 \text{ см}$;
- 5/ $|Z_T - Z_h| < 11 \text{ см}$;
- 6/ $|M_{K^0} - M_{\pi^+\pi^-}| < 10 \text{ МэВ}/c^2$;

Рис.3. Распределение Λ^0 -событий по инвариантным массам $M_{p\pi^-}$ и $M_{\pi^+\pi^-}$.



7/ $|M_{\Lambda^0} - M_{p\pi^-}| > 7,5 \text{ МэВ}/c^2$ /для комбинаций, удовлетворивших критерию 6/;

8/ $Z_{\Lambda} - Z_{\Xi^-} > 10 \text{ см};$

9/ $|Z_{\pi^+} - Z_{h_1 h_2}| < 15 \text{ см};$

10/ $|Z_{h_1 h_2} - Z_{\Lambda(h_1 h_2)}| < 11 \text{ см};$

11/ $Z_{\Lambda(K^0)} - Z_{h_1 h_2} > 10 \text{ см};$

12/ расстояние вершины треков $h_1 h_2$ от траектории $\Lambda(K^0)$ меньше 5 мм.

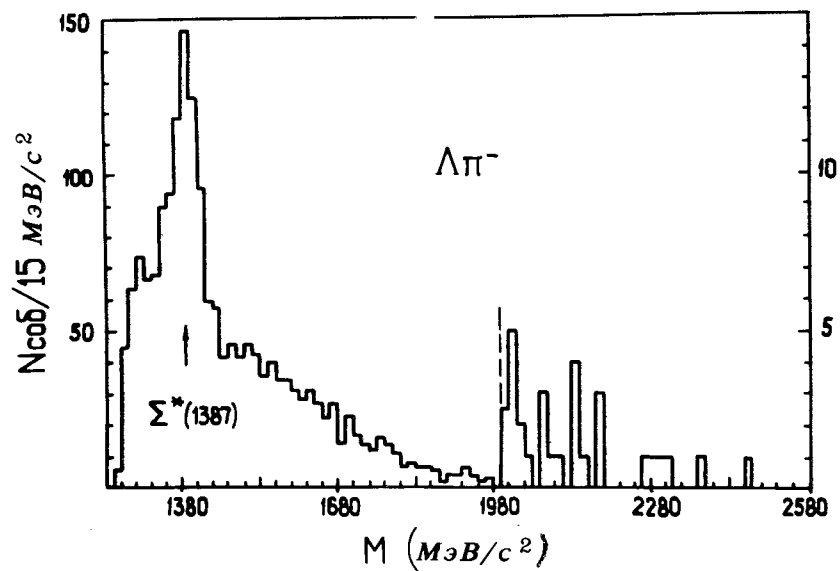
Здесь через Z_i и Z_{jk} обозначены Z -координаты вершины i или пересечения j - и k -треков. Численные значения критериев 1 ÷ 12 равны 2 ÷ 7 стандартным отклонениям соответствующего аппаратного разрешения.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОБЫТИЙ ПО ИНВАРИАНТНЫМ МАССАМ

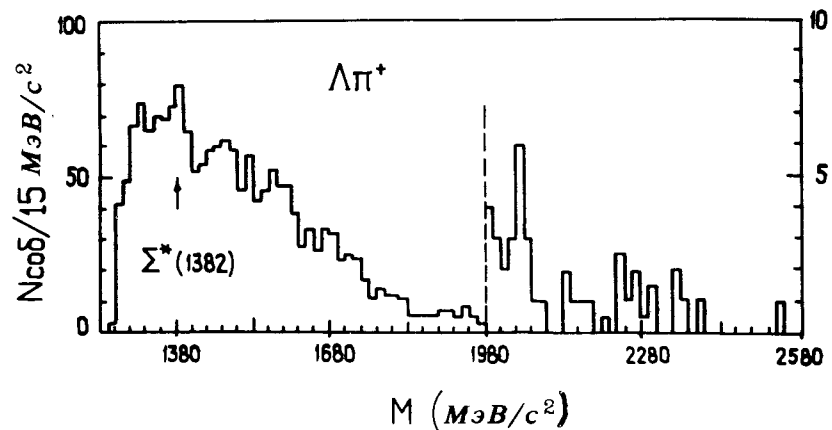
Предположив, что в событиях типа "а" h^\pm есть пион, и потребовав выполнения критериев 1 ÷ 5, мы нашли 1788 $\Lambda\pi^+$ -событий и 1868 $\Lambda\pi^-$ -событий. Λ , вошедшие в число этих событий, входят также в распределение, представленное на рис. 3а, откуда следует, что разрешение спектрометра по инвариантной массе $M_{p\pi^-}$ в районе массы Λ -гиперона равно $1,3 \text{ МэВ}/c^2$. Распределения событий по инвариантным массам $M_{\Lambda\pi^-}$ и $M_{\Lambda\pi^+}$ показаны на рис. 4а и 4б соответственно. В системе $\Lambda\pi^-$ хорошо виден пик от $\Sigma^-/1385/$. В системах $\Lambda\pi^\pm$ в области масс выше $2 \text{ ГэВ}/c^2$ наблюдаются лишь единичные события.

Применив к событиям типа "г" критерии отбора 1 ÷ 4 и 8, мы нашли 160 событий с вершиной в распадном объеме, распределения которых по инвариантным массам $M_{\Lambda\pi^\pm}$ показаны на рис. 5. В системе $\Lambda\pi^-$ отчетливо виден пик, соответствующий Ξ^- -гиперону с массой $M = 1321 \text{ ГэВ}/c^2$.

Наблюдение $\Sigma^-/1385/$ и Ξ^- свидетельствует о высокой разрешающей способности спектрометра и корректности процедуры отбора событий.



a/



б/

Рис.4. Распределения по инвариантным массам событий типа $\Lambda\pi^-$ /а/ и $\Lambda\pi^+$ /б/ с вершиной в мишени Т.

Предположив, что в событиях типа "б" h^\pm есть пион, и потребовав выполнения критериев 3 ÷ 7, мы нашли 600 $K^0\pi^+$ и 623 $K^0\pi^-$ -событий. K^0 , вошедшие в число этих событий, входят также в распределение, показанное на рис. 3б, откуда следует, что разрешение спектрометра по инвариантной массе $\pi^+\pi^-$ в районе массы K^0 равно $2,6 \text{ МэВ}/c^2$.

Суммарное распределение событий по инвариантным массам $K^0\pi^\pm$ приведено на рис. 6. В районе массы D^\pm -мезонов не наблюдается ни одного события.

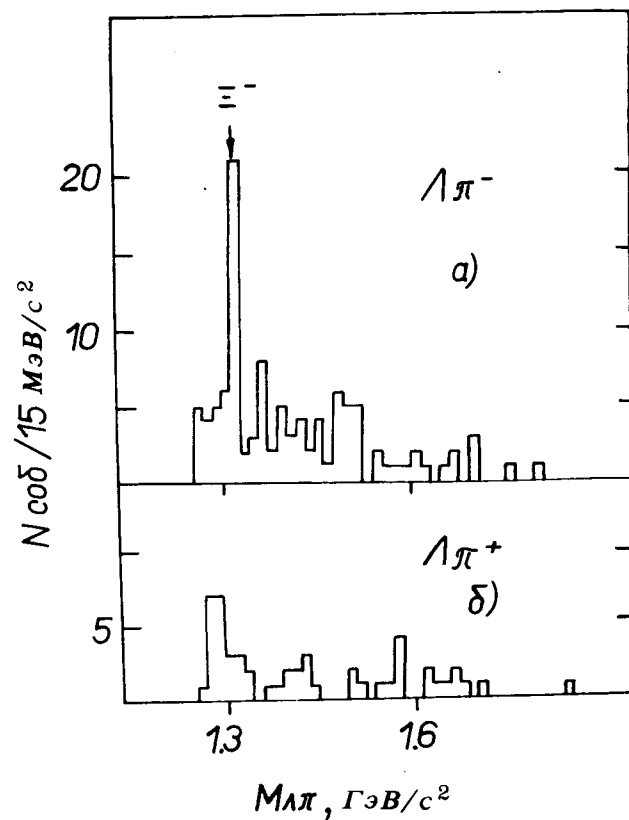


Рис.5. Распределения по инвариантным массам событий типа $\Lambda\pi^-$ и $\Lambda\pi^+$ с вершиной в распадном объеме.

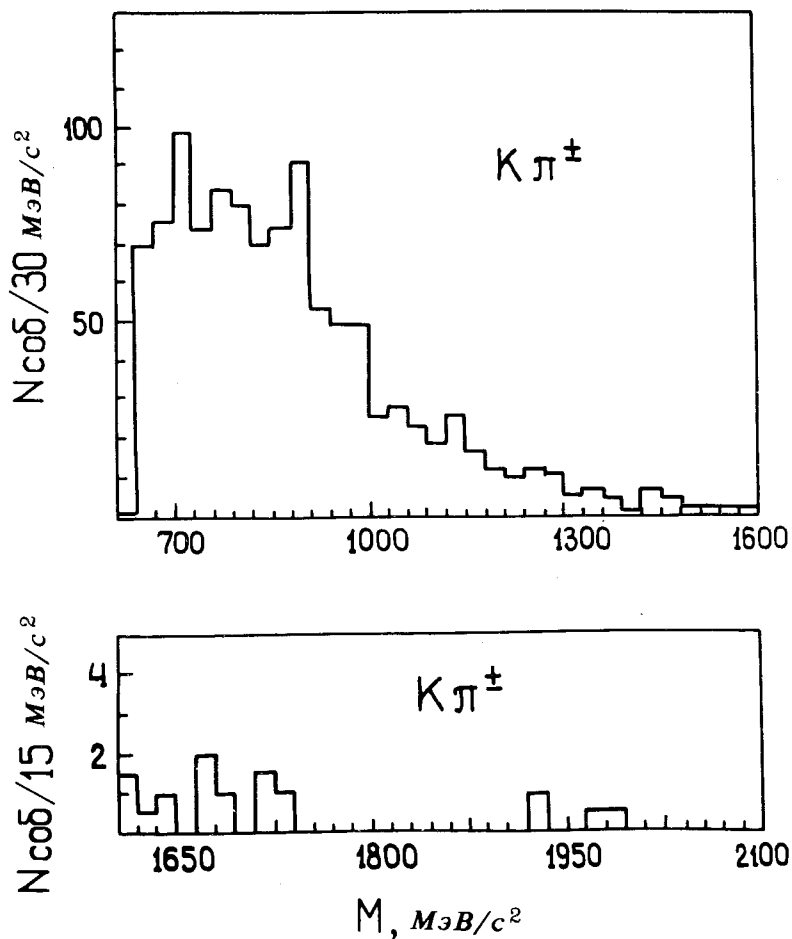


Рис.6. Распределения событий по инвариантным массам систем $K\pi^\pm$.

Предположив, что в событиях типа "в" h_1^\pm и h_2^\mp есть пион или каон, и применив к ним критерии отбора $1 \div 4$ и $9 \div 12$, мы нашли 364 события, распределения которых по инвариантным массам систем $\Lambda\pi^+\pi^-$, ΛK^+K^- , $\Lambda K^+\pi^-$ и $\Lambda K^-\pi^+$ показаны на рис. 7. В системе $\Lambda\pi^+\pi^-$ виден выброс при инвариантной массе $2,09 \text{ ГэВ}/c^2$ *,

* Предварительное сообщение об этом содержится в /7/.

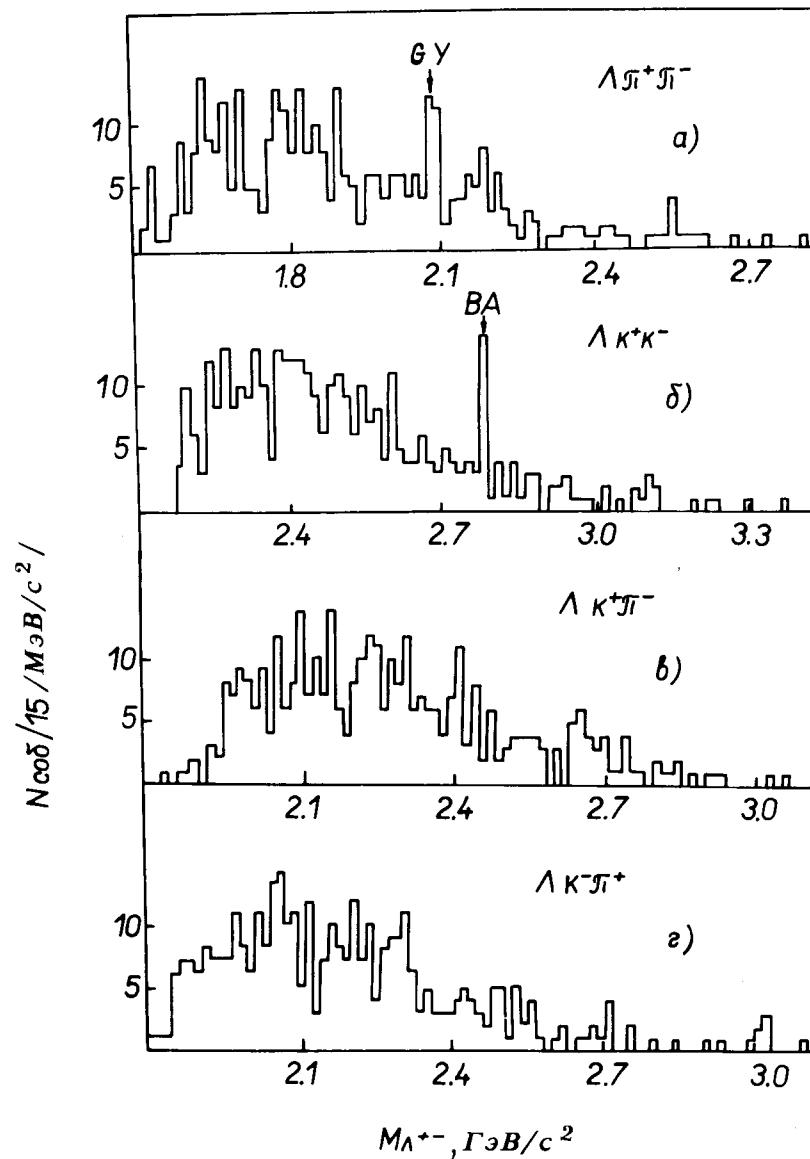


Рис.7. Распределения событий по инвариантным массам систем Λh^+h^- .

а в системе $\Lambda K^+ K^-$ - при массе $2,79 \text{ ГэВ}/c^2$. Полные ширины этих выбросов /около $20 \text{ МэВ}/c^2$ /согласуются с разрешением спектрометра. События из этих пиков совершенно различные. В распределениях по инвариантным массам систем $\Lambda h_1 h_2$ для других возможных интерпретаций h_1 и h_2 , включающих пионы, каоны и нуклоны, "очевидных" узких выбросов не наблюдается.

ОЦЕНКА СЕЧЕНИЙ

В эксперименте определяется величина парциальных сечений $\sigma_i \times BR$, где BR - вероятность распада по данному каналу, а σ_i - сечение рождения частицы i с импульсом выше некоторого порогового значения $P_{\text{пор}}$.

При оценке границ парциальных сечений для $C^+(2260) \rightarrow \Lambda \pi^+$ и $D^\pm(1870) \rightarrow K^0 \pi^\pm$, а также величин сече-

Таблица

Частица или особенность, канал распада	Число событий	Средняя относительная эффективность регистрации, $\epsilon/\epsilon_{\Sigma^-(1385)}$	$\sigma_i \times BR$, мкб/нуклон
$\Sigma^-(1385) \rightarrow \Lambda \pi^-$	400	1	20
$\Xi^- \rightarrow \Lambda \pi^-$	15	0,75	1
$C^+(2260) \rightarrow \Lambda \pi^+$	1	1	0,05
$D^\pm(1870) \rightarrow K^0 \pi^\pm$	0	0,5	0,1*
$\text{GY}(2090) \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^-$	15	0,5	15
$\text{BA}(2790) \rightarrow \Lambda K^+ K^-$	11	0,5	10

* На одно событие.

ний, соответствующих выбросам в спектрах эффективных масс $\Lambda \pi^+ \pi^-$ и $\Lambda K^+ K^-$, условно обозначенных GY и BA , мы производили нормировку на число зарегистрированных в эксперименте $\Sigma^-/1385/$ и Ξ^- , используя данные о сечениях их рождения /8/ и применяя соотношение

$$\sigma_i \times BR_i = \sigma_a \times BR_a \times \frac{\epsilon_a}{\epsilon_i} \times \frac{n_i}{n_a}, \quad /3/$$

где $\epsilon_{i,a}$ и $n_{i,a}$ - средние эффективности регистрации и числа наблюдаемых в эксперименте соответствующих событий.

Эффективность ϵ регистрации установкой частиц, распадающихся по каналам /2/, существенно зависит от импульса этих частиц: ниже $P_{\text{пор}}$, эта эффективность практически равна нулю, выше порога она сначала резко возрастает, а затем выходит на "плато".

Для распада $C^+/2260/ \rightarrow \Lambda \pi^+$ согласно расчетам методом Монте-Карло $P_{\text{пор}} = 25 \text{ ГэВ}/c$. Для остальных каналов распадов /2/ частиц с массами около $2 \text{ ГэВ}/c^2$ величина $P_{\text{пор}}$ заключена в области $20-30 \text{ ГэВ}/c$. Таким образом, условие $P > P_{\text{пор}}$ приблизительно соответствует тому, что могут регистрироваться только частицы с относительным импульсом $x = P_{\parallel}/P_0 > 0,5$, т.е. только частицы от фрагментации нелетающего нейтрона. Этим объясняется, в частности, факт, что в эксперименте наблюдается значительное число $\Sigma^-/1385/$ и почти не наблюдается $\Sigma^+/1385/$.

В таблице приведены основные данные, характеризующие достигнутую в эксперименте точность: число наблюдаемых событий, средние относительные эффективности регистрации $\epsilon/\epsilon_{\Sigma^-(1385)}$, рассчитанные методом Монте-Карло, и величины $\sigma_i \times BR$.

Величины $\sigma_i \times BR$ для $\Sigma^-/1385/ \rightarrow \Lambda \pi^-$ и $\Xi^- \rightarrow \Lambda \pi^-$ были оценены исходя из полных сечений их рождения в пр-взаимодействиях /соответственно 110 и 11,5 мкб/ и характера их инклюзивных спектров /8/.

Из-за неопределенностей в способе вычитания фона при определении числа наблюдаемых $\Sigma^-/1385/$, в оценке

величины σ_i для $\Sigma^-/1385/$ и Ξ^- , а также при вычислении методом Монте-Карло средних эффективностей установки систематические ошибки в определении величин $\sigma_i \times BR$ могут составлять - 40% ÷ +80%.

Приведенным в таблице величинам $\sigma_i \times BR$ для одного события распадов C^+ или D^\pm соответствуют следующие оценки верхней границы этих величин /на 90%-ном уровне достоверности/:

$$C^+ (2260) \rightarrow \Lambda \pi^+ \quad \sigma_{C^+} (x > 0,5) \times BR < 2 \cdot 10^{-31} \text{ см}^2 / \text{нуклон.}$$

$$D^\pm (1870) \rightarrow K^0(\bar{K}^0) \pi^\pm \quad \sigma_{D^\pm} (x > 0,5) \times BR < 2,5 \cdot 10^{-31} \text{ см}^2 / \text{нуклон.}$$

В заключение авторы благодарят члена-корреспондента АН СССР А.М.Балдина, академика АН СССР А.А.Логунова, академика АН ГДР К.Ланиуса и профессора М.И.Соловьева за поддержку этих экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Goldhaber G. e.a. *Phys.Rev.Lett.*, 1976, 37, p.255;
- Peruzzi I. e.a. *Phys.Rev.Lett.*, 1976, 37, p.565.
2. Knapp B. e.a. *Phys.Rev.Lett.*, 1976, 37, p.882.
3. Cazzoli E.G. e.a. *Phys.Rev.Lett.*, 1975, 34, p.1125.
4. Apel W.D. e.a. *ИЯЭ*, 76-69, *Serpukhov*, 1976.
5. Grote H. e.a. *Atlas of Particle Production Spectra*, CERN, 1970.
6. Бирулев В.К. и др. *ЯФ*, 1976, 24, 748.
7. Денисов С.П. Труды ХУШ Международной конференции по физике высоких энергий, Тбилиси /1976/. ОИЯИ, Д1,2-10400, Дубна, 1976.
8. Ansorge R.E. e.a. *Nucl.Phys.*, 1976, B103, p.509.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 апреля 1978 года.