

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



с 346.6 а

A-147

P1 - 7027

3749/2-73

Л.Абесалашвили, К.Шпиринг, В.В.Глаголев,
Е.С.Кузнецова, Р.М.Лебедев, И.С.Саитов

СЕЧЕНИЯ КАНАЛОВ РЕАКЦИИ И ОБРАЗОВАНИЯ
РЕЗОНАНСОВ В 6-ЛУЧЕВЫХ

π p-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 5 ГЭВ/С

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

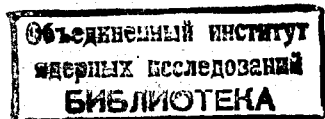
Л. Абесалашвили,¹ К. Шпиринг,² В. В. Глаголев,
Е. С. Кузнецова, Р. М. Лебедев, И. С. Саитов

**СЕЧЕНИЯ КАНАЛОВ РЕАКЦИИ И ОБРАЗОВАНИЯ
РЕЗОНАНСОВ В 6-ЛУЧЕВЫХ**

π р-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 5 ГЭВ/С

Сотрудничество Дубна-Берлин

Доложено на Международной конференции
по физике высоких энергий в Чикаго (1972 год)



¹ Тбилисский государственный университет

² Институт физики высоких энергий АН ГДР,
Берлин, Цойтен

SUMMARY

About 3.5 thousand events with 6 prongs have been measured in π^-p interactions at 5 GeV/c. The cross sections for various reaction channels and resonance production are given in Tables I and II.

In the channel without neutral particles abundant production of Δ^{++} and ρ^0 is observed. There is an evidence for a heavy isobar production as well.

In the channel with one neutral pion abundant production of Δ^{++} , ω^0 , η^0 and clear signals of X^0 (958) are observed. In the angular distribution of the ω^0 production two peaks are observed: one which is dominant in the forward direction and the other in the backward direction. In the mass spectrum of $\pi^+\pi^-\pi^0$ combinations there is a significant bump at the mass of ψ^0 (1019) as well.

In the channel with a neutron and no other neutral particles there is a strong evidence for Δ^- production.

The results at 5 GeV/c are compared with those at other energies (figs. 11 and 12).

I. Введение

Результаты, приведенные в настоящей работе, получены при обработке 3,5 тысяч 6-лучевых событий, найденных при просмотре 500 тысяч снимков со 100-сантиметровой водородной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ /1/, экспонированной в пучке π^- -мезонов с импульсом 5 Гэв/с. Некоторые предварительные результаты докладывались на Киевской конференции в 1970 г. /2/

Процедура обработки экспериментального материала, описанная в работах /3,4,16,17/, позволила разделить события по каналам реакций:

$$\begin{aligned} \pi^-p &\rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^-, & /1/ \\ \pi^-p &\rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0, & /2/ \\ \pi^-p &\rightarrow n\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^-, & /3/ \\ \pi^-p &\rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0Z^0, & /4/ \\ \pi^-p &\rightarrow n\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0Z^0, & /5/ \end{aligned}$$

где Z^0 - один или более π^0 -мезонов.

Результаты разделения событий и сечения соответствующих каналов реакций приведены в таблице 1.

В данной работе основное внимание уделено анализу спектров эффективных масс в каналах 1, 2 и 3, где определены импульсы всех вторичных частиц. Сечения образования резонансов /без поправок на невидимые моды распада/ даны в таблице 2.

ТАБЛИЦА I

Канал реакции	Конечное состояние	Число событий	Сечения мкб
(1)	$p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^-$	903	241 ± 10
(2)	$p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^-\pi^+$	1157	324 ± 12
(3)	$n\pi^+\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-$	331,5	91 ± 6
(4)	$p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^-\pi^+\chi^0$	732,5	223 ± 10
(5)	$n\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^-\pi^-\chi^0$		
Все шестилучевые		3184	$(0,88 \pm 0,02)$ мб

ПРИМЕЧАНИЕ: 1. Символ χ^0 обозначает один или более π^0 - мезон.
2. Приведенные ошибки чисто статистические.

ТАБЛИЦА II

Реакция	Резонанс	Масса мэв	Ширина мэв	Доля %	Сечение мкб
$\pi^+\rho \rightarrow \rho^+\pi^+\pi^-\pi^-$	Δ^{++}	1203 ± 6	80 ± 32	39 ± 11	100 ± 29
		798 ± 9	125 (фикс.)	39	100
$\pi^+\rho \rightarrow \rho^+\pi^+\pi^-\pi^-$	ρ^+	1210 ± 5	96 ± 25	49 ± 12	162 ± 38
		$785,4 \pm 1,5$	26 ± 3	46 ± 4	151 ± 15
		550 (фикс.)	14 ± 3	$8,3 \pm 1,6$	28 ± 6
				$1,4 \pm 0,4$	$4,6 \pm 1,2$
$\pi^+\rho \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-\pi^-$	χ^0 (958)	1214 ± 13	50 ± 31	33 ± 16	31 ± 15

При определении сечений рождения резонансов в качестве фона использовался фазовый объем с учетом отражений тех резонансов, которые рождаются в данном канале с сечением, составляющим значительную часть сечения канала.

II. Рождение резонансов в канале 1

В канале 1 имеет место интенсивное рождение изобары Δ (1236) и ρ^0 -мезона. На рис. 1 приведен спектр эффективных масс $p\pi^+$ -комбинаций /по две комбинации от каждого события/, где отчетливо виден пик изобары Δ^{++} , рождающейся в /39±11/% случаев.

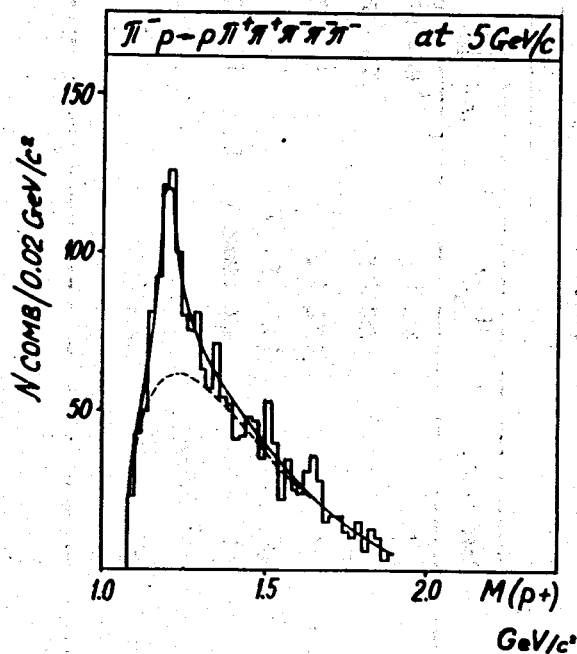


Рис. 1. Спектр эффективных масс $p\pi^+$ -комбинаций в канале 1. Пунктирной линией показана оценка фона: распределение фазового объема с учетом отражений изобары Δ^{++} (1236) для одной трети событий. Сплошная кривая - результат фитирования спектра кривой Брайта-Вигнера с учетом приведенного фона.

Оценка фона в данном случае проводилась также и с помощью цилиндрического фазового объема, взятого с весом $\exp(-4 \sum_{i=1}^6 p_{\perp i})$, где $p_{\perp i}$ - поперечный импульс i -ой

вторичной частицы. Распределение, полученное таким образом, не имело существенных отличий от полученного с помощью обычного фазового объема.

При определении сечения образования ρ^0 -мезона в полной мере проявляются трудности, связанные с большим числом вторичных пионов, так как для каждого события имеется шесть возможных $\pi^+\pi^-$ -комбинаций, что в три раза больше, например, числа $p\pi^+$ -комбинаций. Статистические флуктуации фона не позволяют однозначно связать избыток событий над фоновой кривой в области массы ρ -мезона на рис. 2, где приведен спектр

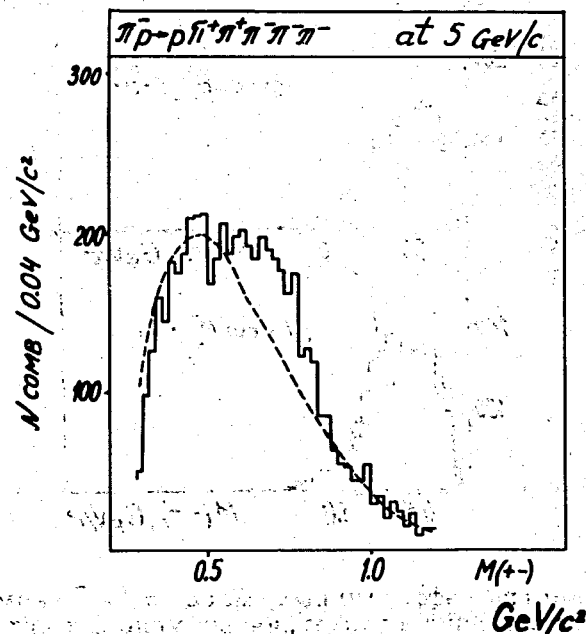


Рис. 2. Спектр эффективных масс $\pi^+\pi^-$ -комбинаций в канале 1. Пунктирная линия - распределение фазового объема с учетом отражений изобары Δ^{++} (1236) для одной трети событий.

эффективных масс всех возможных $\pi^+\pi^-$ -комбинаций, с рождением ρ^0 -мезонов.

На рис. 3 показан тот же спектр для двух симметричных интервалов по углу $\theta^*(\pi^+\pi^-)$ между векторами импульсов системы $\pi^+\pi^-$ и первичного π^- -мезона в с.ц.м.:

$$-1,0 < \cos \theta^*(\pi^+\pi^-) < -0,4$$

$$0,4 < \cos \theta^*(\pi^+\pi^-) < 1,0$$

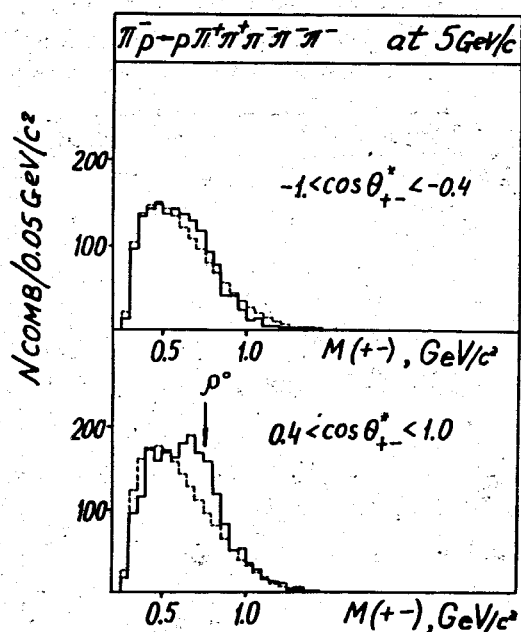


Рис. 3. Спектры эффективных масс $\pi^+\pi^-$ -комбинаций в канале 1 для двух симметричных угловых интервалов:

$$-0,1 < \cos \theta^*(\pi^+\pi^-) < -0,4$$

$$0,4 < \cos \theta^*(\pi^+\pi^-) < 1,0$$

Пунктирные линии - распределения фазового объема.

В спектре масс комбинаций, летящих вперед, имеется четкий пик в области массы ρ -мезона, позволяющий сделать вывод о том, что избыток событий над фоном на рис. 2 обусловлен в значительной степени образованием ρ^0 -мезонов, которое характеризуется преимущественным вылетом в переднюю полусферу.

При получении оценки сечения образования ρ^0 -мезонов для уменьшения числа фоновых комбинаций использовалось следующее обстоятельство. Было установлено, что при нашей энергии пион, который является в с.ц.м. наиболее медленным среди одинаково заряженных пионов данного события, лишь в малой части случаев оказывается продуктом распада ρ^0 -мезона. В спектрах эффективных масс $\pi^+\pi^-$ -комбинаций, содержащих хотя бы один из таких пионов, нет заметных признаков ρ^0 -мезонов. Поэтому в гистограмму на рис. 4 включались только по две $\pi^+\pi^-$ -комбинации на каждое событие, которые не содержали ни наиболее медленного положительного, ни наиболее медленного отрицательного пиона. Анализ этого распределения позволил получить оценку нижнего предела сечения образования ρ^0 -мезона, которая дана в таблице 2.

Поскольку барионные резонансы имеют тенденцию двигаться в том же направлении, что и первичный протон, нами было построено распределение эффективных масс $p\pi^+\pi^-$ -комбинаций для интервала

$$-1,0 < \cos \theta^*(p\pi^+\pi^-) < -0,4$$

В этом распределении /рис. 5/ в интервале масс 1,60 - 1,75 Гэв/с² имеется возвышение над распределением фазового объема величиной в четыре стандартных отклонения, которое может быть обусловлено образованием одной из тяжелых изобар.

III. Рождение резонансов в каналах 2 и 3

В канале 2 так же, как и в канале 1, имеет место интенсивное рождение изобары $\Delta^{++}(1236)$. Пик в спектре эффективных масс $p\pi^+$ -комбинаций в области массы

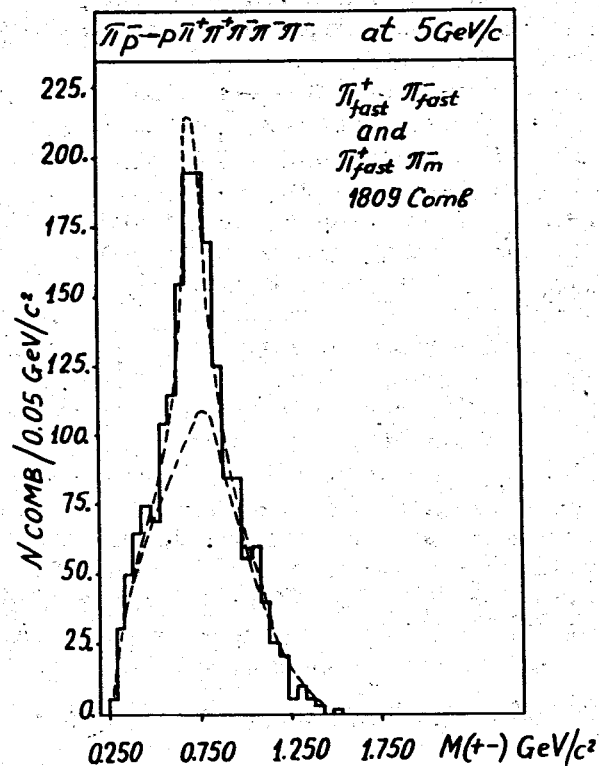


Рис. 4. Спектр эффективных масс $\pi^+\pi^-$ -комбинаций в канале 1, не содержащих пионов, которые являются наиболее медленными среди одноименно заряженных пионов данного события. Нижняя пунктирная кривая - оценка фона /распределение фазового объема для отобранных комбинаций/. Верхняя пунктирная кривая - результат фитирования спектра кривой Брайта-Вигнера с учетом приведенного фона.

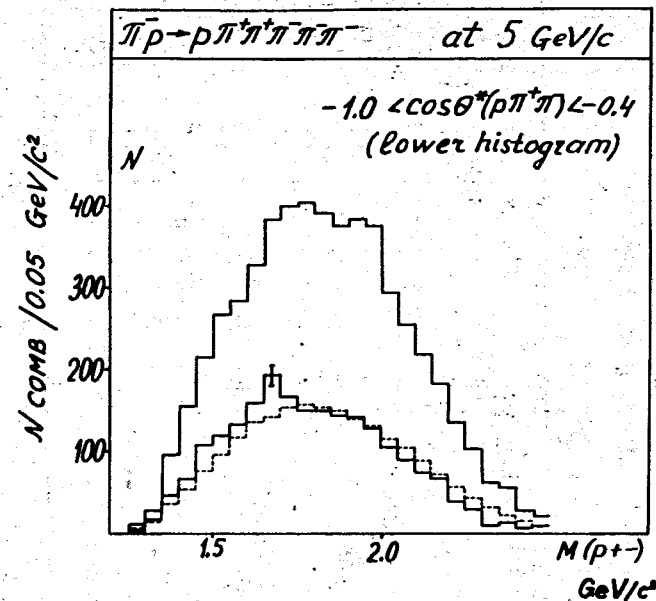


Рис. 5. Спектры эффективных масс $\rho\pi^+\pi^-$ -комбинаций в канале 1: верхняя гистограмма содержит все комбинации, нижняя - с выборкой по условию $-1,0 < \cos\theta^*(\rho\pi^+\pi^-) < 0,4$, пунктирная - распределение фазового объема, нормированное на число комбинаций, содержащихся в нижней гистограмме.

Δ^{++} /рис. 6/ отвечает образованию этой изобары в $49 \pm 12\%$ случаев.

В этом канале имеет место, кроме того, интенсивное рождение ω^0 и η^0 -мезонов, составляющее, соответственно, $46 \pm 4\%$ и $14 \pm 3\%$ случаев. В спектре эффективных масс $\pi^+\pi^-\pi^0$ -комбинаций, помимо пиков ω^0 и η^0 -мезонов, в интервале $0,98 - 1,04$ Гэв/с², т.е. в области массы $\phi^0(1019)$ имеется избыток событий над фоновой кривой, превышающий четыре стандартных отклонения.

В спектре эффективных масс всех возможных $\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ -комбинаций /незаштрихованная гистограмма на рис. 8/ наблюдается небольшой пик со средней массой, близкой к массе $\chi^0(958)$. Возможный вклад фона в этой области масс незначителен. Если в этот спектр включать только $\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ -комбинации, содержащие

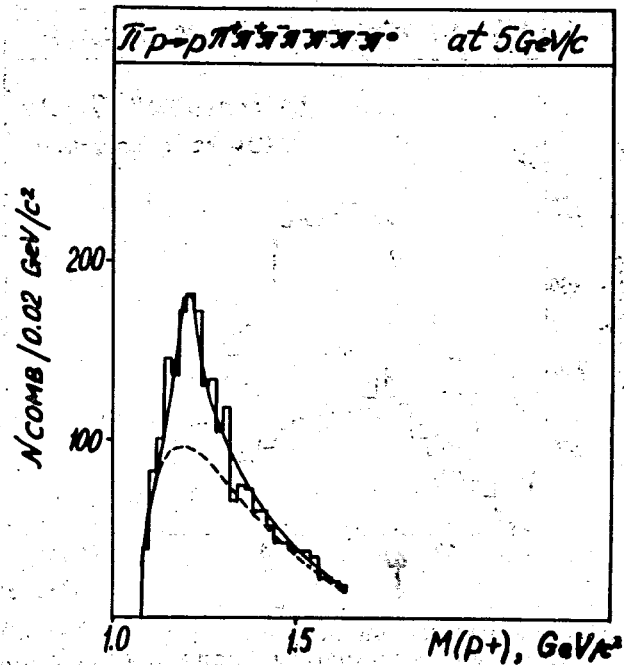


Рис. 6. Спектр эффективных масс $p\pi^+$ -комбинаций в канале 2. Пунктирная кривая - оценка фона /распределение фазового объема с учетом отражений ω^0 -мезона в 45% случаев/. Сплошная кривая - результат фитирования спектра кривой Брайта-Вигнера с учетом приведенного фона.

хотя бы одну $\pi^+\pi^-\pi^0$ -комбинацию с массой, находящейся в интервале 0,54 - 0,56 Гэв/с², то наблюдаемый пик почти не изменяется /заштрихованная гистограмма на рис. 8/. Это является сильным аргументом в пользу того, что мы наблюдаем рождение X^0 -мезона, который может распадаться на пять пионов только каскадно с образованием промежуточной системы $\pi^+\pi^-\eta^0$.

Поскольку число X^0 -мезонов не превышает семнадцати, то в таблице 2 приведена оценка только сечения рождения этого резонанса.

Для событий с X^0 -мезоном было построено распределение эффективных масс таких $p\pi^-$ -комбинаций, где

отрицательный пион не является продуктом распада X^0 -мезона. В этом распределении не наблюдалось группирование событий вокруг массы изобары $\Delta^0(1236)$, что указывает на отсутствие квазидвухчастичной реакции

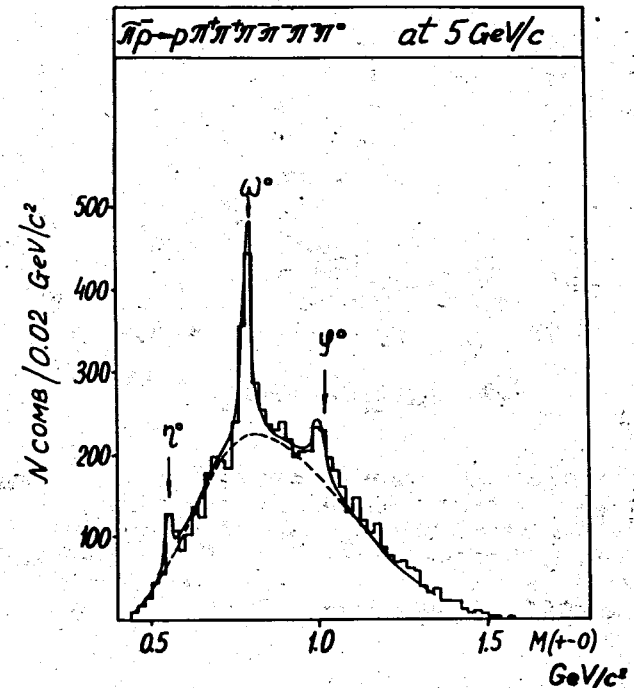
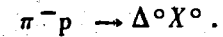


Рис. 7. Спектр эффективных масс $\pi^+\pi^-\pi^0$ -комбинаций в канале 2. Пунктирная кривая - оценка фона /распределение фазового объема с учетом отражений ω^0 -мезонов в 45% случаев/. Сплошная кривая - результат фитирования спектра тремя кривыми Брайта-Вигнера с учетом приведенного фона.

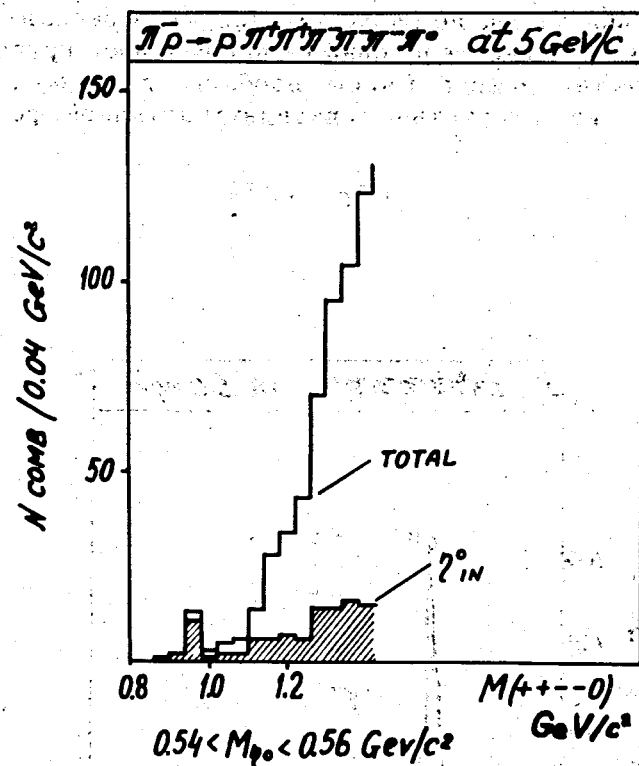


Рис. 8. Спектры эффективных масс $\pi^+\pi^-\pi^0$ и $\pi^+\pi^-\eta^0$ комбинаций /соответственно, незаштрихованная и заштрихованная гистограммы/ в канале 2. В качестве $\pi^+\pi^-\eta^0$ -комбинаций отбирались $\pi^+\pi^+\pi^-\pi^0$ -комбинации, содержащие хотя бы одну $\pi^+\pi^-\pi^0$ -комбинацию с массой в интервале 0,54 - 0,56 Гэв/с².

В с.д.м. угловое распределение ω^0 -мезонов, образовавшихся в канале 2, представлено на рис. 9 заштрихованной гистограммой. Оно характеризуется, помимо хорошо известного преимущественного вылета ω^0 -мезонов в переднюю полусферу, наличием пика назад. Это распределение было получено с помощью следующей процедуры. В спектрах эффективных масс $\pi^+\pi^-\pi^0$ -комбинаций для

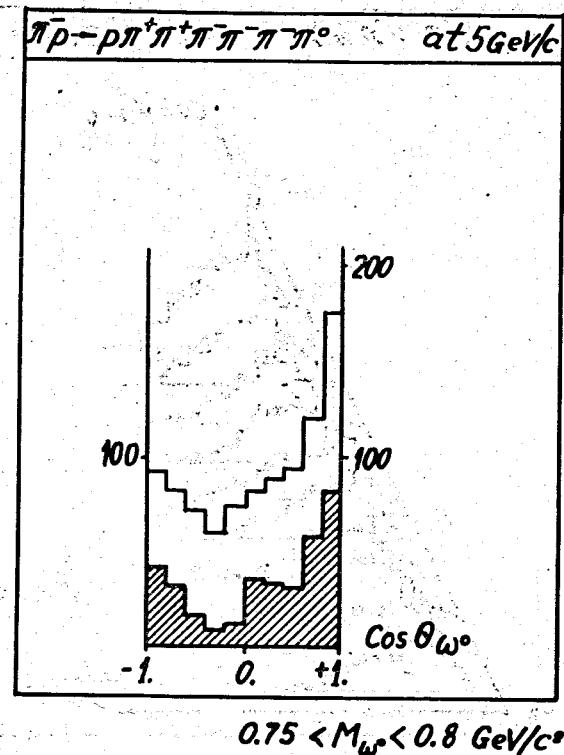


Рис. 9. Незаштрихованная гистограмма - угловое распределение в с.д.м. в канале 2 для $\pi^+\pi^-\pi^0$ -комбинаций с массой в интервале 0,75 - 0,80 Гэв/с², заштрихованная - то же распределение после вычитания фона под пиком ω^0 -мезона /о процедуре вычитания см. в тексте/.

различных угловых интервалов /рис. 10/ были проведены от руки плавные кривые, которые использовались для оценки фона под узким пиком ω^0 -мезона. После этого в каждом таком спектре число комбинаций над фоновой кривой в интервале масс 0,75-0,80 Гэв/с² считалось пропорциональным числу ω^0 -мезонов с углом вылета, находящимся в пределах соответствующего интервала.

Дальнейший анализ показал, что пик назад в рождении ω^0 -мезонов полностью обусловлен событиями, в которых протон летит в переднюю полусферу.

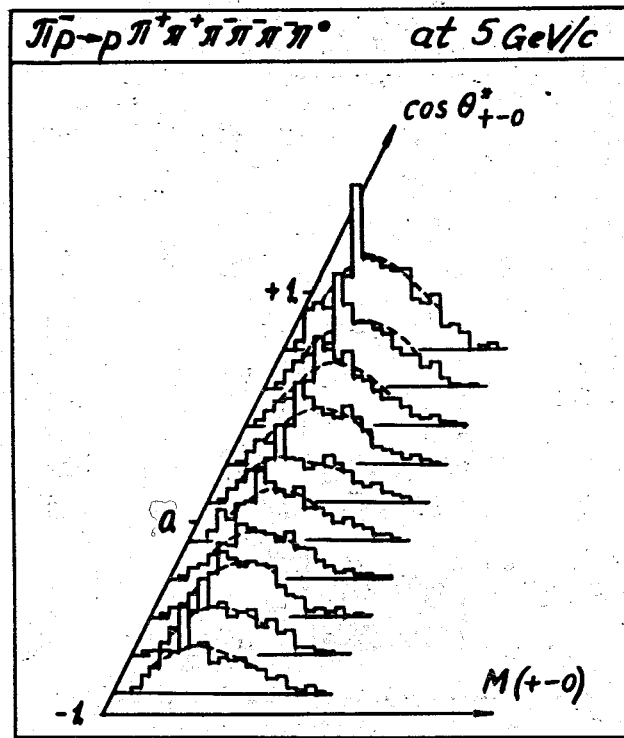


Рис. 10. Спектры эффективных масс $\pi^+ \pi^- \pi^0$ -комбинаций в канале 2 для 10 интервалов по косинусу угла вылета системы $\pi^+ \pi^- \pi^0$ в с.ц.м. Ширина интервалов - 0,2. Пунктирные кривые проведены от руки и использовались в качестве оценки фона под пиком ω^0 -мезона.

В канале 3 в спектре эффективных масс $\pi \pi^-$ -комбинаций виден пик Δ^- (1236), образующихся в $33 \pm 16\%$ случаев.

IV. Зависимость сечений от энергии

На рис. 11 и 12 показана зависимость сечений каналов 1 и 2 и рождения резонансов в этих каналах от импульса первичного π^- -мезона $[7,9-14]$. Наши данные находятся в хорошем согласии с результатами, полученными при близких энергиях.

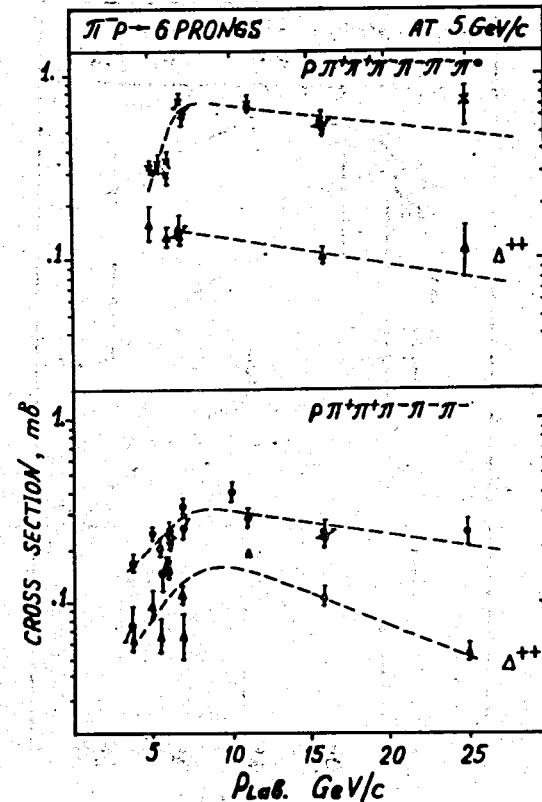


Рис. 11. Значения сечений каналов реакций /1/ и /2/ и образования изобары Δ^{++} (1236) в этих каналах, определенные в настоящей работе и работах $[7,9-14]$, в зависимости от импульса пучка в лабораторной системе. Пунктирные кривые проведены от руки для наглядности.

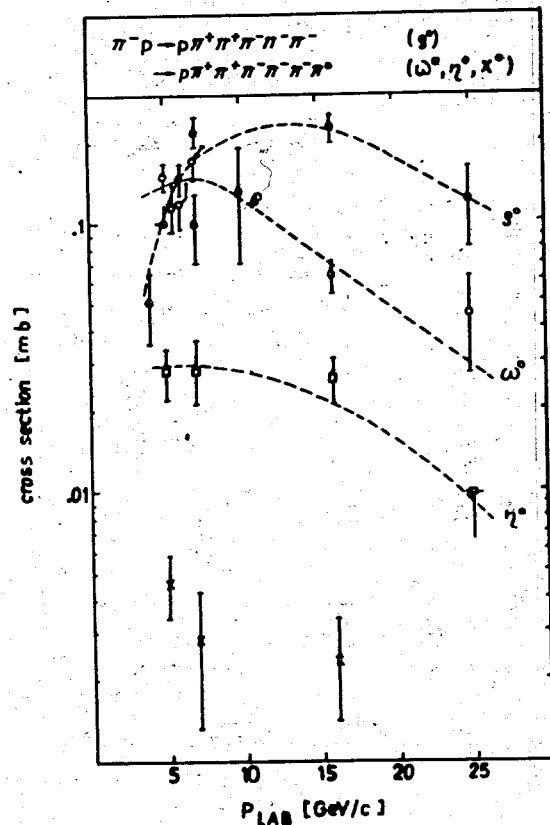


Рис. 12. Значения сечений образования ρ^0 -мезона в канале 1 и ω^0, η^0 и χ^0 -мезонов в канале 2, определенные в настоящей работе и работах [7,9-14] в зависимости от импульса пучка в лабораторной системе. Пунктирные кривые проведены от руки для наглядности.

Сечения каналов реакций и рождения резонансов в б-лучевых π^-p -взаимодействиях имеют приблизительно одинаковую зависимость от энергии.

Авторы выражают свою благодарность профессору К.Ланиусу за полезные дискуссии и советы, коллегам из группы однометровой водородной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ и ИФВЭ АН ГДР, участвовавшим в эксперименте на начальной его стадии, коллективам лаборантов обоих институтов, а также М.Р.Атаян и Н.П.Богачеву.

Литература

1. A.V.Belonogov et al. Nucl. Instr. and Meth. 20 (1963), 114.
2. V.V.Glagolev et al. Talk given at the XV-th Int. Conf. on High Energy Physics, Kiev, USSR, 1970.
3. А.Г.Заикина и др. ОИЯИ, 10-6368, Дубна, 1972.
4. М.Р.Атаян, И.С.Саитов. ОИЯИ, 13-6086, Дубна, 1971.
5. A.Citron et al. Phys.Rev.Lett. 13 (1964), 205.
6. R.H.Allen and V.G.Lind. Bull.Am.Phys.Soc. 13 (1968), 589.
7. K.Abe et al. Phys.Rev. D2 (1970), 91.
8. R.A.Luke and V.G.Lind. Bull.Am.Phys.Soc. 13 (1968), 589.
9. F.Bomse et al. Phys.Rev. 162 (1967), 1328.
10. K.F.Suen et al. Phys.Rev. D1 (1970), 54.
11. P.L.Berenyi et al. Nucl.Phys. B37 (1972), 621.
12. J.E.Campbell and M.A.Ijaz. Nucl.Phys. B12 (1969), 549.
13. P.Daronian et al. CERN Th 68-7, 1968, 226.
14. B.Junkmann et al. Nucl.Phys. B8 (1968), 471.
15. J.W.Elbert, Thesis, Univ. of Wisconsin, 1971.
16. U.Gensch et al. PHE 72-13, 1972.
17. Н.А.Буздавина и др. ОИЯИ, P11-4762, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 июня 1973 года.