

6/3-72

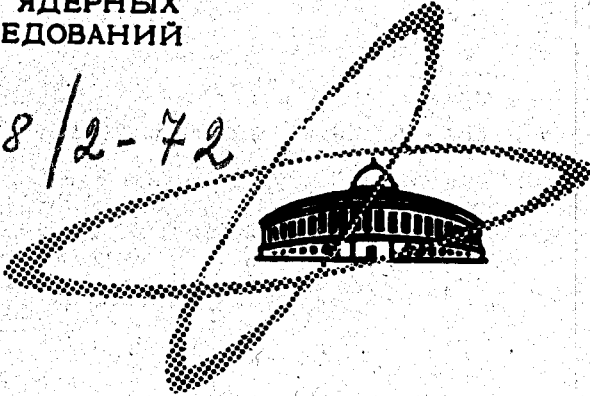
5-903

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

728/2-72

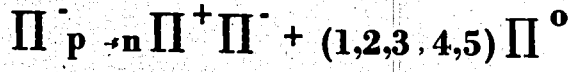
P1 - 6228



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Ю.А. Будагов, Ш.Валкар, В.Б.Виноградов,
А.Г.Володько, В.П.Джелепов, В.С.Кладницкий,
С.Кожухова, Н.К.Куциди, Ю.Ф.Ломакин,
Г.Мартинска, В.Б.Флягин, Ю.Н.Харжеев,
Л.Шандор, В.Г.Яцюк

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ

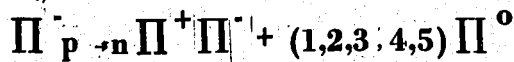


ПРИ 5 ГЭВ/С

1972

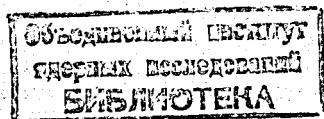
Ю.А. Будагов, Ш.Валкар, В.Б.Виноградов,
А.Г. Володько, В.П.Джелепов, В.С.Кладницкий,
С.Кожухова, Н.К.Куциди*, Ю.Ф.Ломакин,
Г.Мартинска, В.Б.Флягин, Ю.Н.Харжеев,
Л.Шандор, В.Г.Яцюк

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ



ПРИ 5 ГЭВ/С

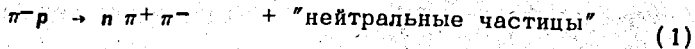
Направлено в ЯФ



1. Введение

Неупругие π^-p -взаимодействия, приводящие к образованию многих нейтральных частиц, в настоящее время изучены мало ^{/1/}. Между тем сечения этих процессов составляют около 50% от полного сечения π^-p -взаимодействий.

Целью данной работы являлось исследование процесса с множественным образованием нейтральных частиц



при импульсе налетающего π^- -мезона 5 Гэв/с.

Ранее процесс (1) исследовался лишь в двух работах: при 2,1 Гэв/с Бойдом и др. ^{/2/} и при 4 Гэв/с Гришиным и др. ^{/3/}. Кроме того, один из парциальных каналов, $\pi^-p \rightarrow n \pi^+ \pi^- \pi^0$, изучался при 8 Гэв/с Аллардом и др. ^{/4/}.

2. Методика эксперимента

Эксперимент основан на анализе 230000 фотографий, которые были получены с помощью метровой пропановой пузырьковой камеры ^{/5/}, экспонированной в пучке π^- -мезонов с импульсом 5 Гэв/с ^{/6/} синхрофазотрона ОИЯИ.

2.1. Отбор событий

В результате двойного просмотра фотографий, выполненного с эффективностью 92%, было отобрано около 6000 двухлучевых событий с двумя и более гамма-квантами, зарегистрированными по электрон-позитронным парам конверсии.

Отобранные события были измерены с помощью полуавтоматических измерительных установок ПУОС, соединенных "он-лайн" с ЭВМ "Минск-22" ^{7/}; геометрическая реконструкция событий производилась по программе О-10 ^{8/} на ЭВМ БЭСМ-4.

Идентификация положительных треков звезды производилась визуально на просмотрных столах. При этом учитывались: ионизация положительного трека, наличие δ -электронов на нем, наличие характерной цепочки распадов $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ и остановок частиц в камере. Было идентифицировано около 60% событий, из которых 2/3 имели положительную вторичную частицу π^+ -мезон, 1/3 - протон.

Для последующего анализа были оставлены события (табл. 1) типа

$$\pi^- p \rightarrow p \pi^+ \pi^- + (2,3) \gamma, \quad (2)$$

$$\pi^- p \rightarrow (\pi^+ / p) \pi^- + (2,3) \gamma, \quad (3)$$

удовлетворяющие критериям, приведенным в нашей предыдущей работе ^{9/}.

Путем измерения плотности δ -электронов ^{10/} на положительных треках была определена доля событий типа (2) среди событий (3), которая оказалась равной $\alpha = 0,32 \pm 0,05$ ^{x/}. Кроме того, было получено, что величина α в пределах приведенной погрешности не зависит от импульса положительной частицы.

^{x/} Используемая методика определения доли π^- -мезонов среди неразделенных треков была проверена на 153 отрицательных треках с результатом $\alpha = 0,96 \pm 0,11$.

Значение $\alpha = 0,33 \pm 0,06$ было определено также расчетным путем, исходя из оцененных с помощью изоспиновой модели ^{x/} сечений реакций

$$\pi^- p \rightarrow n \pi^+ \pi^- + (1,2,3,4,5) \pi^0, \quad (4)$$

$$\pi^- p \rightarrow p \pi^- + (1,2,3,4,5) \pi^0. \quad (5)$$

2.2. Примесь фоновых событий

Примесь событий с гамма-квантами, не принадлежащими исследуемому взаимодействию, в условиях настоящего эксперимента не превышает 1%. Это значение было получено путем моделирования процесса определения принадлежности зарегистрированного гамма-кванта к данному взаимодействию ^{/10/}.

Примесь событий со странными частицами, оцененная по данным работ ^{/12,13/} с учетом вероятности регистрации K^0 -мезонов и Λ -гиперонов, в нашем эксперименте не превышает 3%.

Фоновые взаимодействия с ядром углерода (π^-C -взаимодействия) были частично исключены при просмотре событий (отбрасывались все события, имеющие признаки ядерного расщепления) и критерием отбора по недостающей массе:

$$MM(\pi^+ \pi^- \gamma \gamma) > 0,25 \text{ ГэВ}^2.$$

(Здесь символ MM обозначает квадрат недостающей массы). Величина оставшейся примеси π^-C -взаимодействий составляет около 10%.

^{x/} Статистическая изоспиновая модель предсказывает отношения между сечениями различных зарядовых состояний процесса с данным числом вторичных частиц (см., например ^{/11/}). Это дает возможность, например, исходя из сечения реакции $\pi^- p \rightarrow p \pi^+ 2 \pi^-$, получить сечения реакций $\pi^- p \rightarrow n \pi^+ \pi^- \pi^0$ и $\pi^- p \rightarrow p \pi^- 2 \pi^0$.

2.3. Методика определения сечений

Для определения сечений был использован метод подгонки к экспериментальным распределениям линейной комбинации расчетных распределений, соответствующих парциальным каналам. При этом неизвестными параметрами являются сечения парциальных каналов.

Этот метод был применен нами ранее при измерении сечений реакций $\pi^- p \rightarrow n + (2,3,4,5) \pi^0$ /14/, а также в ряде работ других авторов (см., например, /2,3/).

Расчетные распределения, а также вероятности регистрации реакций были получены путем моделирования событий методом Монте-Карло с помощью программы FOWL /15/ на ЭВМ БЭСМ-6 с учетом динамики взаимодействия, вероятности регистрации гамма-квантов в камере и критериев отбора событий /10,16/.

Подгонялись распределения по эффективной массе систем частиц $\pi^+ \pi^- \gamma$, $\pi^+ \pi^- 2\gamma$ и по недостающей массе к системам частиц $\pi^+ \pi^-$, $\pi^+ \pi^- \gamma$, $\pi^+ \pi^- 2\gamma$. Выбор указанных распределений обусловлен тем, что они существенно изменяются при переходе от реакции к реакции; кроме того, эти распределения мало чувствительны к предположениям, используемым при моделировании событий (в основном определяются фазовым объемом).

Определение сечений производилось по двум наборам экспериментальных данных. Набор 1 содержал события типа (2) с импульсом π^+ - мезонов менее 800 Мэв/с ("обрезанные" спектры); набор 2 содержал события типа (2) и (3) (полные спектры). Получение полных спектров производилось двумя способами. По первому способу количество событий в i -ом интервале полного спектра равнялось:

$$N_i = N_i^\pi + a N_i^{\pi/p}$$

Здесь N_i^π ($N_i^{\pi/p}$) - количество событий типа (2) (типа (3)) в i -ом интервале спектра, по второму способу -

$$N_i = N_i^{\pi} + N_i^{\pi/p} - (1-a) \rho_i^p N_i^{\pi/p},$$

где $N_i^{\pi/p} = \sum_j N_j^{\pi/p} \rho_j^p$, ρ_j^p ($\sum_j \rho_j^p = 1$) - расчетный спектр примеси событий от реакций (5) среди событий от реакций (4). Оказалось, что в пределах статистических погрешностей сконструированные разными способами полные спектры совпадают.

3. Результаты

На рис. 1 показаны полные экспериментальные спектры, использованные для определения сечений. Там же приведены расчетные спектры, соответствующие реакциям $\pi^- p \rightarrow n \pi^+ \pi^- + (1,2,3,4,5) \pi^0$ x/. На верхней половине рисунка даны суммарные расчетные кривые (результат подгонки). Вероятность P (χ^2) равна 60%, число экспериментальных точек - 130, число параметров - 5.

Величины сечений, полученные по двум наборам, согласуются в пределах погрешностей; средние значения сечений приведены в таблице 2. Приведенные ошибки в парциальных сечениях включают, во-первых, погрешности, получаемые при подгонке ($\pm 7\%$ - 50%), во-вторых, погрешность полного сечения процесса (1) ($\pm 8\%$), в-третьих, погрешности, связанные с неточным значением вероятности регистрации реакций (4) ($\pm 4\%$ - 14%).

Нормировка сечений произведена на полное сечение процесса (1), $\sigma = 5,76 \pm 0,46$ мбн, определенное на основе данных, полученных с помощью водородных пузырьковых камер /1,17/.

На рис. 4 показаны угловые и импульсные распределения вторичных π^- -мезонов в с.ц.м., а в табл. 3 - средние значения этих распределений и коэффициенты асимметрии вылета π^- -мезонов:

x/ Сумма сечений реакций с образованием 6 и более π^0 -мезонов не превышает 10 мбн.

$K_{\pi} = (\vec{N} - \vec{N}') / (\vec{N} + \vec{N}')$. Здесь $\vec{N}(\vec{N}')$ - количество π -мезонов, вылетевших в переднюю (заднюю) полусферу.

На рис. 5 приведена зависимость среднего поперечного импульса π -мезонов от продольного импульса в с.ц.м.

На рис. 6 даны спектры эффективных масс различных комбинаций частиц: $\gamma\gamma$, $\pi^+\pi^-$, $\pi^+\pi^-\gamma\gamma$, $\pi^+\gamma\gamma$, $\pi^-\gamma\gamma$, $\pi^+\gamma$, $\pi^-\gamma$. Эти спектры построены из событий типа (2), т.е. из событий с идентифицированными π^+ -мезонами.

4. Обсуждение результатов

В разделе 4 приведены результаты сравнения полученных нами экспериментальных данных о процессе (1), а также соответствующих данных при других энергиях налетающего π^- -мезона, с различными теоретическими моделями:

А) статистической моделью;

Б) реджизованной мультипериферической моделью (CLA - модель /18/);

В) эмпирической моделью $x/$, предложенной /19,20/ для объяснения наблюдаемой зависимости сечений от импульса налетающей частицы;

Г) феноменологической квазидвухчастичной анизотропной моделью (ФКА-модель) $xx/$.

$x/$ В этой модели предполагается, что зависимость сечения реакции от импульса налетающей частицы имеет вид: $\sigma = \text{const} \frac{P_1^n}{P^* E^*} R(E^*)$, где P_1 - импульс налетающей частицы, P^* и E^* - импульс и полная энергия сталкивающихся частиц в с.ц.м., $R(E^*)$ - фазовый объем, показатель степени n связан с механизмом реакции.

$xx/$ В ФКА модели предполагается, что матричный элемент процесса $\pi^- p \rightarrow N + n \pi$ определяют, в основном, барионные переменные, а именно, угловое распределение бариона в с.ц.м. первичного взаимодействия, которое является входной характеристикой модели. Подробнее об ФКА модели см., например, /21/.

Эти модели имеют ограниченную область применения и поэтому использовались нами для описания лишь отдельных характеристик исследуемого процесса.

Для описания зависимости сечений реакций (4) от числа π^0 -мезонов мы применяли модель А, зависимости сечений реакций от импульса налетающего пиона мы сравнивали с предсказаниями моделей Б и В, и наконец, описание угловых и импульсных характеристик производили с помощью модели Г.

4.1. Зависимость сечений реакций

$\pi^- p \rightarrow n \pi^+ \pi^- + (1, \dots, 5) \pi^0$ от числа π^0 -мезонов и импульса налетающего π^- -мезона

На рис. 2 полученные нами сечения показаны в зависимости от числа π^0 -мезонов, образуемых в реакциях (4). Кривая — предсказания статистической модели. В этой модели зависимость сечений реакций (4) от числа образуемых π^0 -мезонов имеет вид /22/

$$\sigma(m) = C_1 (C_2)^{m+2} f_{T,S}(m) R(m, E^*) I(m). \quad (6)$$

Здесь C_1 и C_2 — константы ^{x/}, $f_{T,S}(m)$ — множитель, учитывающий сохранение изотопического спина и тождественность частиц, $R(m, E^*)$ фазовый объем системы $(m+2)\pi$ -мезонов и одного нуклона с полной энергией E^* в с.п.м., $I(m)$ — изоспиновый коэффициент.

Как видно из рис. 2, модель качественно правильно описывает зависимость сечений реакций (4) от числа π^0 -мезонов. Однако экспериментальные значения сечений реакций (4) уменьшаются медленнее с увеличением числа π^0 -мезонов, чем предсказанные значения. Наиболее

^{x/} Константы C_1 и C_2 были определены путем калибровки зависимости (6) на сечения реакций $\pi^- p \rightarrow p \pi^- \pi^0$ и $\pi^- p \rightarrow p \pi^+ 2\pi^- \pi^0$, при 5 Гэв/с.

сильное расхождение наблюдается для реакции с образованием четырех π^0 -мезонов.

Среднее число π^0 -мезонов на одно взаимодействие типа (1) оказалось равным $\bar{n}_{\pi^0} = 1,8 \pm 0,2$, предсказанное значение равно $1,4 \pm 0,1$.

На рис. 3 полученные нами сечения реакций



представлены совместно с имеющимися данными по этим реакциям в зависимости от импульса налетающего π^- -мезона. /2-4/

Кривые на этих рисунках являются предсказаниями модели Б (пунктир) ^{x/} и модели В (сплошная линия). Как видно из рис. 3, модель В удовлетворительно описывает экспериментальные данные (показатель степени n взят равным 3 и 5 для реакций (7) и (8), соответственно), тогда как предсказания модели Б не согласуются с ними.

4.2 Угловые и импульсные распределения вторичных π -мезонов

На рис. 4 и 5 экспериментальные угловые и импульсные распределения вторичных заряженных π -мезонов сравниваются с предсказаниями ФКА модели. Как видно из этих рисунков, ФКА модель в основном описывает эти распределения, за исключением распределения π^+ -мезонов по $\cos \theta^*$.

Наблюдается существенное различие в коэффициентах асимметрии для π^+ - и π^- -мезонов (табл. 3). В то же время средние значения

^{x/} Использованы результаты расчетов, выполненные в /23/.

поперечных импульсов удовлетворительно согласуются между собой и с предсказаниями ФКА модели.

Отличие в коэффициентах асимметрии для π^+ - и π^- -мезонов наблюдалось и в ряде других работ. Так, например, в работе Бондара и др. ^{/24/} в реакции $\pi^-p \rightarrow n 2\pi^+ 2\pi^-$ при 4 ГэВ/с $K_{\pi^+} = 0,04 \pm 0,01$, а $K_{\pi^-} = 0,13 \pm 0,01$, в работе Алларда и др. ^{/4/} в реакции $\pi^-p \rightarrow n \pi^+ \pi^- \pi^0$ при 8 ГэВ/с $K_{\pi^+} = 0,05 \pm 0,07$, а $K_{\pi^-} = 0,74 \pm 0,04$.

4.3 Спектры эффективных масс

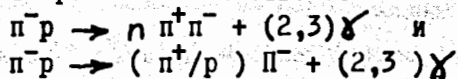
На рис. 6 приведены спектры эффективных масс различных комбинаций вторичных частиц. В спектрах эффективных масс комбинаций с двумя гамма-квантами штриховкой показаны события, в которых гамма-кванты образуют π^0 -мезоны ^{x/}. На рис. 6а приведено распределение по эффективной массе двух гамма-квантов.

Отчетливо наблюдается пик от распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$, однако нет указаний на образование η -мезона. Не наблюдается также образования ρ -мезонов в спектрах эффективных масс систем $\pi^+\pi^-$, $\pi^+\gamma\gamma$ и $\pi^-\gamma\gamma$ (рис. 6б-6г). В спектре $M(\pi^+\pi^-\gamma\gamma)$ (рис. 6д) могли бы образоваться η - и ω -мезоны. Однако они также не наблюдаются.

При исследовании событий типа $\pi^-p \rightarrow \pi^-p + (2,3)\gamma$ в работе ^{/9/} было получено указание на возможное существование резонанса в системе $\pi^-\gamma$ с массой 270 Мэв. На рис. 6е и 6ж даны спектры масс систем $\pi^+\gamma$ и $\pi^-\gamma$, образующихся в процессе (1). В спектре $\pi^-\gamma$ (рис. 6ж) наблюдается пик при 270 Мэв, однако его статистическая значимость невелика. Отсутствие указания на образование резонанса $\pi\gamma$ (270) в процессе (1) может быть обусловлено рядом обстоятельств: малой величи-

^{x/} Для отбора π^0 -мезонов были использованы следующие критерии: $105 \leq M(\gamma\gamma) \leq 165$ Мэв и $3^\circ \leq \theta_{\gamma\gamma} \leq 35^\circ$. При этом теряется около 17% π^0 -мезонов, а фон составляет 19%.

Таблица 1. Отобранное количество событий типа



Тип события	Количество γ -квантов		Итого
	2	3	
p^+	538	87	625
p^+/p	452	75	527

Таблица 2. Сечения реакций $\bar{p}r \rightarrow n p^+ p^- + (1, \dots, 5) p^0$

Реакция	Сечение, мкбн
$\bar{p}r \rightarrow n p^+ p^- p^0$	3090 ± 550
$\bar{p}r \rightarrow n p^+ p^- 2p^0$	1400 ± 250
$\bar{p}r \rightarrow n p^+ p^- 3p^0$	660 ± 140
$\bar{p}r \rightarrow n p^+ p^- 4p^0$	560 ± 90
$\bar{p}r \rightarrow n p^+ p^- 5p^0$	50 ± 25

Таблица 3. Коэффициенты асимметрии K_{\perp} и средние значения (в Мэв/с) полных и поперечных импульсов p^+ и p^- -мезонов

	p^+ эксперимент	p^- эксперимент	ФКА модель
K_{\perp}	$-0,12 \pm 0,04$	$0,13 \pm 0,04$	$0,13$
\bar{P}_{\perp}^+	394 ± 8	414 ± 8	434
\bar{P}_{\perp}^-	304 ± 7	314 ± 7	317

ной сечения образования, худшими фоновыми условиями (максимум фона в исследуемых реакциях находится при 300 Мэв, а в ^{19/} при 500 Мэв) и др.

Мы благодарны сотрудникам Лаборатории высоких энергий за содействие в экспозиции камеры на синхрофазотроне, сотрудникам Лаборатории вычислительной техники и автоматизации за измерение событий и лаборантам нашей группы за просмотр фотографий и обработку событий.

Литература

1. E. Flaminio, J.D. Hansen et al. CERN/HERA, 70-7.
2. J. Boyd, A.R. Erwin et al. Phys.Rev., 166, 1458 (1968).
3. В.Г. Гришин, М. Иреш и др. ЯФ, 10, 1204 (1969).
4. J.F. Allard, J.Hennessy et al. Nuovo Cim., 50, 106 (1967).
5. А.В. Богомолов, Ю.А. Будагов и др. ПТЭ, 1, 81 (1964).
6. В.С. Кладницкий, В.Б. Флягин. ПТЭ, 1, 24 (1965).
7. В.Н. Шигаев, А.А. Шуравин. В кн. "IV симпозиум по радиоэлектронике". Институт ядерных исследований ЧАН, Прага, 1967.
8. Н.А. Буздавина, В.Б. Виноградов, В.Б. Флягин. Сообщение ОИЯИ, Б1-10-3572, Дубна, 1967.
9. Ю.А. Будагов, В.Б. Виноградов и др. Препринт ОИЯИ, 1-5874, Дубна, 1971. Письма в ЖЭТФ, 13, 665 (1971).
10. Ш. Валкар, В.Б. Виноградов и др. Сообщение ОИЯИ, 13-8140, Дубна, 1971.
11. В.Б. Виноградов, Н.К. Куциди и др. Препринт ОИЯИ, P1-5471; Дубна, 1970.
12. L.Bertanza, V.B.Culwick et al. Phys.Rev., 130, 786 (1963).
13. Yu.A. Budagov, V.B. Vinogradov et al. "Strange Particle Production in π^-p Interactions at 5 GeV/c". In "15 Int. Conf.on NER.Abstracts of Contributions", v.2, p.539, Kiev, 1970.
14. Ю.А. Будагов, В.Б. Виноградов и др. ЯФ, 12, 1222, (1970).
15. F. James. FOWL, CERN Program Library, W 505.

16. В.Б. Виноградов, Г. Мартинска, Л. Шандор. Сообщение ОИЯИ, 13-5516, Дубна, 1970.
17. B. Terreault. Ph.D.Thesis. Univ. of Illinois, 1969.
18. Chan Hong Mo, J.Loskiewicz, W.W.M.Allison. Nuovo Cim., 57, 93 (1968).
19. T. Hofmohl, A. Wroblewski. Phys.Lett., 31B, 391 (1970).
20. J.H. Hansen, W.Kittel, D.R.O.Morrison. Nucl.Phys., B25, 605 (1971).
21. В.Г. Гришин, Ш.В. Иногамов и др. Препринт ОИЯИ, P1-5706, Дубна, 1971.
22. С.З. Беленький, В.М. Максименко и др. УФН, 62, 1, (1957).
23. R. Sosnowski, A. Wroblewski. Acta Physica Polonica, B1, 139 (1970).
24. L. Bondar, K. Bongartz et al. Nuovo Cim., 31, 485 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел
14 января 1972 года.

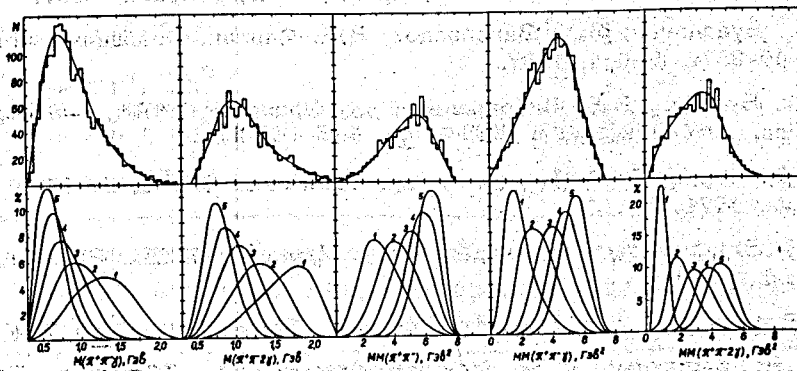


Рис. 1. Экспериментальные распределения (гистограммы) по эффективной массе (M) систем частиц $\pi^+\pi^-\gamma$, $\pi^+\pi^-2\gamma$ и по квадрату недостающей массы (MM) к системам частиц $\pi^+\pi^-$, $\pi^+\pi^-\gamma$, $\pi^+\pi^-2\gamma$ и соответствующие расчетные распределения для реакций $\pi^-p \rightarrow n \pi^+\pi^- + (1,2,3,4,5) \pi^0$ (кривые). На верхней половине рисунка на экспериментальные спектры наложена подобранная суммарная расчетная кривая.

Рис. 2. Зависимость сечений реакций $\pi^- p \rightarrow n \pi^+ \pi^- \pi^0$ от числа образующихся π^0 -мезонов. Кривой показаны предсказания статистической модели.

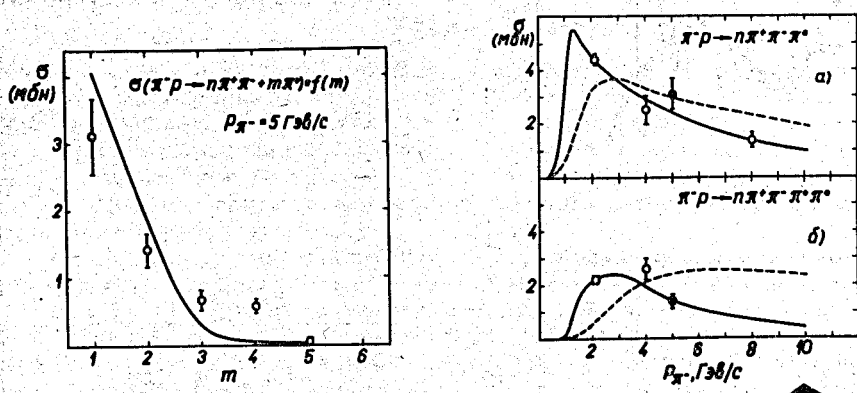


Рис. 3. Зависимости сечений реакций $\pi^- p \rightarrow n \pi^+ \pi^- \pi^0$ и $\pi^- p \rightarrow n \pi^+ \pi^- 2 \pi^0$ от импульса налетающего π^- -мезона. Пунктиром показаны предсказания реджизованной мультипериферической модели, сплошной линией - предсказания эмпирической модели. Значком \bullet обозначены данные настоящей работы.

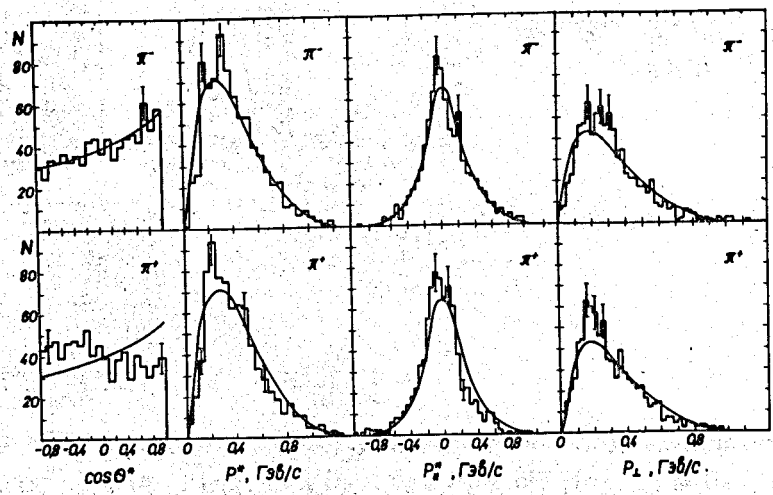


Рис. 4. Угловые и импульсные распределения вторичных π -мезонов, образуемых в реакции $\pi^- p \rightarrow n \pi^+ \pi^- \pi^0$. Кривыми показаны предсказания ФКА модели.

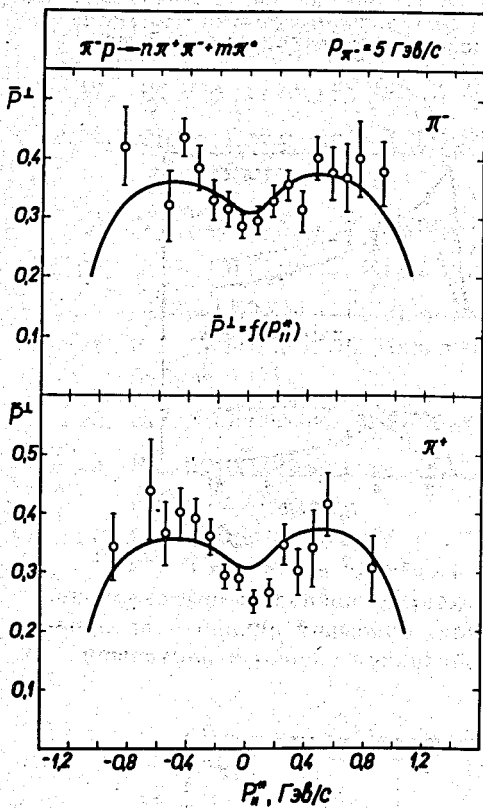


Рис. 5. Зависимости средних поперечных импульсов π^+ и π^- -мезонов от продольного импульса в с.п.м. Кривыми показаны предсказания ФКА модели.

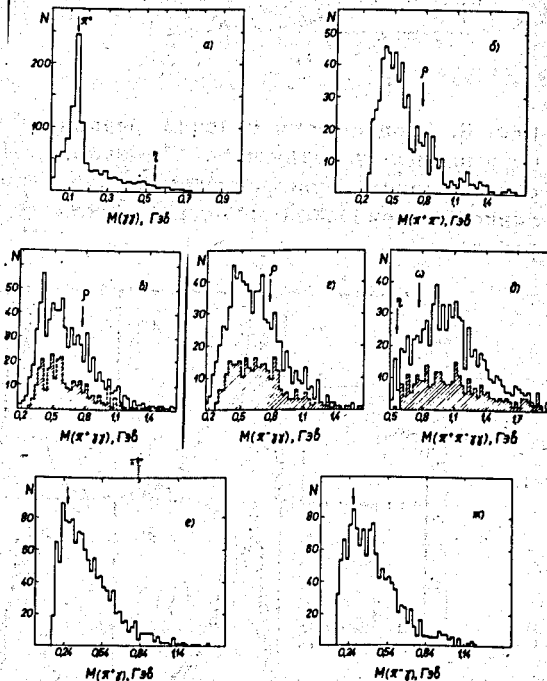


Рис. 6. Распределения по эффективным массам для событий типа (2): а) $M(\gamma\gamma)$, б) $M(\pi^+\pi^-)$, в) $M(\pi^+\gamma\gamma)$, г) $M(\pi^-\gamma\gamma)$, д) $M(\pi^+\gamma)$, ж) $M(\pi^-\gamma)$.

Заштрихованы распределения событий с гамма-квантами, образующими π^0 -мезоны.