

Б-219

ЯФ, 1967 т. 5, Вып. 4

8/511

с. 834-847

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P - 2773



ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Е. Баля, О. Баля, В.А. Беляков, Е.Н. Кладницкая,  
Е.С. Кузнецова, А. Михул, М. Сабэу

НЕУПРУГИЕ  $\pi$ -р ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ПРИ ЭНЕРГИИ 7,5 ГЭВ

Часть II

4-ЛУЧЕВЫЕ СОБЫТИЯ  $\phi$  ПРОТОНАМИ

1966

P - 2773

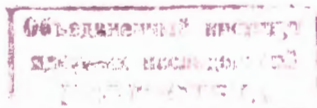
Е. Баля, О. Баля, В.А. Беляков, Е.Н. Кладницкая,  
Е.С. Кузнецова, А. Михул, М. Сабэу

НЕУПРУГИЕ  $\pi$ -р ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ПРИ ЭНЕРГИИ 7,8 ГЭВ

Часть II

4-ЛУЧЕВЫЕ СОБЫТИЯ С ПРОТОНАМИ

Направлено в журнал "Ядерная физика"



4318/3 мр.

Настоящая работа выполнена в результате сотрудничества  
научных групп следующих институтов:

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

В.А. Беляков, Е.Н. Кладнишкая, Е.С. Кузнецова

ИНСТИТУТ АТОМНОЙ ФИЗИКИ (БУХАРЕСТ)

Лаборатория высоких энергий

Е. Баля, О. Баля, А. Михул, М. Сабэу

## В в е д е н и е

Изучению неупругих  $\pi^-p$  взаимодействий с множественным рождением пионов при высоких энергиях посвящено много работ. Наиболее полно исследованы различные каналы реакций от  $\pi^-p$  взаимодействий при импульсе 4 Гэв/с<sup>/1,2/</sup> и 10 Гэв/с<sup>/3-5/</sup>. В интервале энергий 7-8 Гэв первые работы по  $\pi^-N$  взаимодействиям были посвящены изучению импульсных и угловых распределений вторичных частиц<sup>/6-9/</sup>. Позднее более подробно исследовались события с малой множественностью пионов<sup>/10,11/</sup>, события с медленным протоном<sup>/12,13/</sup>, а также взаимодействия, сопровождающиеся образованием  $\pi^0$ -мезонов<sup>/14/</sup>. Множественному рождению пионов при энергиях 7,2 и 7,5 Гэв посвящены также работы<sup>/15,16/</sup>.

Настоящая работа посвящена изучению свойств четырехлучевых  $\pi^-p$  взаимодействий при энергии 7,5 Гэв. Предварительные данные этой работы сообщались на конференции по физике высоких энергий в Дубне в 1984 году<sup>/17/</sup>. Свойства таких взаимодействий изучались другими группами авторов при импульсах 2,75<sup>/18/</sup>, 3,22<sup>/19/</sup>, 3,7<sup>/20/</sup>, 4<sup>/21/</sup>, 4,7<sup>/21/</sup>, 6<sup>/22/</sup>, 6,1<sup>/23,24/</sup>, 10<sup>/4/</sup>, 11,4<sup>/24/</sup>, 16<sup>/26,27/</sup> и 18<sup>/23/</sup> Гэв/с<sup>х)</sup>. Представляет интерес проследить энергетическую зависимость характеристик вторичных частиц и образование резонансных состояний в этих взаимодействиях.

## Экспериментальная методика

В работе использовались снимки, полученные с помощью 24-литровой пропановой камеры ЛВЭ<sup>/28/</sup>, помещенной в магнитном поле напряженностью 13,7 кэ. Было просмотрено 17400 стереофотографий, и по обычным критериям<sup>/13/</sup> отобраны 4-лучевые  $\pi^-p$  взаимодействия, соответствующие реакциям

---

х) Здесь не приведены работы, выполненные при импульсах меньше 2,5 Гэв/с.

$$\pi^- p \rightarrow p\pi^- \pi^+ \pi^- m\pi^0; \quad m=0,1,2\dots \quad (1)$$

$$\pi^- p \rightarrow p\pi^- \pi^- \pi^+ \pi^+ m\pi^0; \quad m=0,1,2\dots \quad (2)$$

Измерения проводились на микроскопах УИМ-21 и полуавтоматах<sup>/29/</sup>. Геометрическая реконструкция событий и расчеты различных параметров выполнялись на электронно-вычислительной машине по специальным программам, составленным в Вычислительном центре ОИЯИ. Положительные частицы с импульсом до 700 Мэв/с и часть частиц с большим импульсом были идентифицированы по ионизации, пробегу, по  $\delta$ -электронам и вторичным взаимодействиям. Все положительные частицы с импульсом в л.с. больше 2,5 Гэв/с считались  $\pi^+$ -мезонами на основе результатов работ<sup>/8,9,30/</sup>. Все отрицательные частицы считались  $\pi^-$ -мезонами, так как вероятность рождения странных частиц ( $K^-$ ,  $\Sigma^-$ ) мала<sup>/31/</sup>.

Падающий пучок  $\pi^-$ -мезонов в изучаемых реакциях имел большой разброс по импульсам ( $\pm 8\%$ ) и это затрудняло разделение событий по каналам реакций.

Для анализа были отобраны 1253 события, удовлетворяющих критериям  $\pi^- p$  взаимодействий<sup>/13/</sup>, у которых импульсы вторичных частиц определены с точностью не хуже 30%.

В зависимости от идентификации положительных частиц в звезде все события разделены на группы, указанные в таблице 1.

События с двумя идентифицированными  $\pi^-$ -мезонами составляют 42% от всех событий с  $n_s = 4$ . Это значение близко к соответствующим значениям при импульсах  $4^{/2/}$  и 10 Гэв/с. Поэтому мы считаем, что группа "3" содержит подавляющее большинство событий, относящихся к реакциям

$$\pi^- p \rightarrow p\pi^- \pi^- \pi^+ \pi^+ m\pi^0; \quad m=0,1,2, \dots \quad (2)$$

Тогда события из групп "2" и "4" можно отнести к реакциям

$$\pi^- p \rightarrow p\pi^+ \pi^- \pi^- m\pi^0; \quad m=0,1,2, \dots \quad (1)$$

Такое статистическое разделение дает возможность рассматривать 2 группы событий, соответствующих реакциям (1) и (2). Эти группы содержат 729 и 524 события, соответственно. Примесь событий от реакции (1) среди событий от реакции (2) не более 10%, так как в эту примесь входят только случаи с большим (2,5 Гэв/с) импульсом протона в лаб системе. Оценка сделана по данным работ<sup>/8,9,30/</sup>. Примесь событий от реакции (2) среди событий от реакции (1) составляет  $\approx 15\%$ . Эта оценка получена из сравнения импульсных спектров  $\pi^-$ -мезонов в лаб. системе, полученных в нашей работе и в работе<sup>/30/</sup>, где изучались  $\pi^+ p$  взаимодействия при 8 Гэв/с.

## Экспериментальные результаты

### 1. Эффективное сечение.

Для определения эффективного сечения 4-лучевых  $\pi^-p$  взаимодействий было использовано 8207 фотографий. Среднее число первичных  $\pi^-$ -мезонов на этих фотографиях составляло 6,7. Эффективность просмотра равна 89%. С учетом 5% примеси  $\mu^-$ -мезонов в первичном пучке и 5% примеси взаимодействий на углеводе, удовлетворяющих критериям отбора  $\pi^-p$  взаимодействий<sup>/13/</sup>, а также доли событий с коротким следом (10%), для эффективного сечения получено значение  $8,8 \pm 0,4$  мб. Соответственно для реакций (1) сечение равно  $5,1 \pm 0,3$  мб, а для реакций (2) -  $3,7 \pm 0,2$  мб.

В таблице II и на рис. 1 приведены значения эффективных сечений для 4-лучевых  $\pi^-p$  взаимодействий при разных энергиях. Дальнейшие результаты приводятся для реакций (1).

### 2. Импульсные и угловые распределения.

Угловые распределения протонов,  $\pi^+$  и  $\pi^-$ -мезонов показаны на рис. 2. Из этого рисунка видно, что угловое распределение протонов резко асимметрично и характеризуется отношением

$$\frac{\bar{n}}{n} = 0,08 \pm 0,01 .$$

При этом около половины протонов вылетает в узком конусе назад ( $\cos \theta^* < -0,8$ ). Таким образом, в четырехлучевых событиях наблюдается тенденция к сохранению протонами своего направления движения в с.ц.м.  $\pi^-$  и  $\pi^+$ -мезоны вылетают в с.ц.м. преимущественно вперед. В угловых распределениях  $\pi^-$ -мезонов наблюдаются пики в интервале  $\cos \theta^* > 0,8$ , причем в угловом распределении  $\pi^-$ -мезонов этот пик выражен более резко. В целом, распределения характеризуются отношениями

$$\frac{\bar{n} \pi^-}{n \pi^-} = 1,77 \pm 0,08 \quad \text{и} \quad \frac{\bar{n} \pi^+}{n \pi^+} = 1,31 \pm 0,08 .$$

Таким образом, полученные угловые распределения явно не согласуются с распределениями, ожидаемыми по статистической модели<sup>х)</sup>. Вместе с тем для большинства событий ( $\approx 80\%$ ) 4-импульс  $\Delta$ , переданный протону, больше 700 Мэв/с, а такие взаимодействия нельзя отнести к периферическим. Можно предположить, что взаимодействие  $\pi^-$ -мезонов с протоном идет с образованием двух промежуточных возбужденных состояний. Продукты распада одного из них (пионного) вылетают в с.ц.м. вперед, а продукты распада другого (барионного) - назад.

---

<sup>х)</sup> К центральным взаимодействиям можно отнести не более 20% событий. Оценка сделана по изотропной части в угловом распределении протонов в с.ц.м.

Импульсные распределения вторичных частиц показаны на рис. 3. Импульсный спектр протонов в с.д.м. простирается от минимально возможных значений до максимальных. Среднее значение импульса протонов в с.д.м. равно

$$\overline{P^*} = 847 \pm 18 \text{ Мэв/с} .$$

Импульсные распределения  $\pi^+$  и  $\pi^-$  мезонов имеют одинаковый характер; близки и средние значения их импульсов

$$\overline{P^*}_{\pi^-} = 518 \pm 9 \text{ Мэв/с}$$

$$\overline{P^*}_{\pi^+} = 481 \pm 11 \text{ Мэв/с} .$$

Поперечные импульсы большинства вторичных частиц распределены в интервале 0-0,5 Гэв/с (рис. 4-6). Средние значения поперечных импульсов пионов меньше среднего значения поперечного импульса для протонов:

$$\overline{P^{\perp}}_{\pi^+} = 319 \pm 8 \text{ Мэв/с},$$

$$\overline{P^{\perp}}_{\pi^-} = 334 \pm 8 \text{ Мэв/с}$$

$$\overline{P^{\perp}}_p = 391 \pm 8 \text{ Мэв/с} .$$

Продольные импульсы мезонов в с.д.м. реакции невелики, и для большинства событий лежат в области  $\pm 300$  Мэв/с (рис. 4,5). Продольные импульсы протонов распределены более или менее равномерно в широком интервале значений (рис. 6).

Для мезонов наблюдается заметная корреляция между поперечным и продольным импульсами. Пионы с малыми и очень большими продольными импульсами имеют поперечные импульсы в среднем меньше, чем пионы с продольными импульсами в интервале 0,4-0,9 Гэв/с. Это более наглядно видно на рис. 7, где показаны средние поперечные импульсы пионов для различных интервалов продольных импульсов в с.д.м.<sup>х)</sup> Подобная корреляция между поперечным и продольным импульсом наблюдается и для протонов (рис. 6,8).

Уменьшение поперечных импульсов частиц при приближении их продольных импульсов к максимально возможному в с.д.м. следует из закона сохранения импульса. Значительное уменьшение  $\overline{P^{\perp}}$  при малых  $P_v^*$  не может быть объяснено фазовым объемом, по крайней мере, количественно<sup>/5/</sup> и служит указанием в пользу образования частиц через 2 промежуточных возбужденных состояния.

х) Вероятность совпадения полученного распределения с прямой линией меньше 0,01% (по критерию  $\chi^2$ ).

Сравнение экспериментальных данных, полученных при изучении  $\pi^-p$  взаимодействий в интервале импульсов от 4 Гэв/с до 16 Гэв/с, показывает, что имеется ряд общих характеристик этих взаимодействий в указанном интервале импульсов. Это, в первую очередь, — резкая асимметрия угловых распределений протонов в с.д.м., асимметрия  $\pi^-$ -мезонов и, в меньшей степени, —  $\pi^+$ -мезонов. Следует отметить относительно малую величину поперечных импульсов частиц (меньше допустимой фазовым объемом). Общий характер имеют импульсные спектры вторичных частиц. Наблюдается корреляция между поперечными и продольными импульсами частиц в с.д.м.<sup>/4/</sup>. Совокупность этих данных указывает на сходные механизмы взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов с протонами в интервале 4-16 Гэв/с. Имеющиеся данные по средним значениям характеристик частиц для импульсов  $\pi^-$ -мезонов в интервале от 4 до 16 Гэв/с и данные настоящей работы суммированы в таблице III.

Видно, что с увеличением импульса первичных частиц увеличиваются средние импульсы всех вторичных частиц в с.д.м., причем быстрее растет средний импульс протонов. Средние поперечные импульсы  $\pi^-$ -мезонов и протонов увеличиваются незначительно. С увеличением импульса возрастает асимметрия угловых распределений  $\pi^-$ -мезонов и протонов в с.д.м. При этом увеличивается доля частиц, вылетающих под малыми углами к направлению движения первичных частиц в с.д.м. до взаимодействия (см. таблицу III). Последнее обстоятельство тесно связано с тем, что средний поперечный импульс частиц увеличивается медленнее, чем средний продольный импульс в с.д.м.

### 3. Эффективные массы

Изучалось образование резонансных состояний в реакциях (1). Были рассчитаны эффективные массы всех возможных комбинаций из 4-заряженных частиц.

Как уже указывалось выше, в нашем случае разделение по каналам реакций при помощи фит-программы затруднено из-за  $\approx 10\%$  ошибок в импульсах вторичных частиц и большого разброса в импульсе первичного пиона. Мы смогли отобрать лишь группу событий, обогащенных событиями без  $\pi^0$ -мезонов. В эту группу вошли  $\pi^-p$  взаимодействия, для которых масса мишени<sup>/32/</sup> находится в интервале  $800 \leq M_t \leq 1100$  Мэв, а эффективная масса четырех заряженных частиц близка к полной энергии в с.д.м. ( $M_{p\pi^+\pi^-\pi^-} > 3400$  Мэв). Таких взаимодействий оказалось 114 или 16% от общего числа событий с протоном<sup>x)</sup>.

x) В пользу того, что эта группа действительно обогащена событиями без  $\pi^0$ -мезонов, свидетельствует тот факт, что в этой группе наблюдалось только 2 случая с  $\gamma$ -квантами.



На рис. 9, 10 показаны двумерные распределения эффективных масс  $M_{p\pi^+}$ ,  $M_{p\pi^-}$  и  $M_{\pi^+\pi^-}$  для этих событий. В спектре масс ( $\pi^+\pi^-$ )-комбинаций отчетливо видны два пика: узкий в области 500–550 Мэв и широкий  $\rho$  в области 600–900 Мэв. Второй пик в интервале масс 800–900 Мэв мы связываем с образованием  $\rho$ -мезона по реакции  $\pi^-p \rightarrow p\pi^-\rho^0$ ; над фоновой кривой<sup>х)</sup> в интервале масс 0,81–0,9 Гэв находится 45% от общего числа событий без  $\pi^0$ -мезона. При импульсе  $\pi^-$ -мезонов 4 и 10 Гэв/с  $\rho^0$ -мезон образуется соответственно в 33 и 70% случаев реакции (1а).

В распределении по эффективным массам  $M_{p\pi^+}$  хорошо выделяется пик в области 1,15–1,35 Гэв, соответствующий первой нуклонной изобаре  $N_{8,8}^*$ . Выше фазовой кривой, нормированной по событиям с  $M_{p\pi^+} > 1,4$  Гэв, находится 20% событий из выбранной группы.

Влияние нуклонной изобары на распределение по  $M_{\pi^+\pi^-}$  было определено путем вычитания из этого распределения событий из полосы, соответствующей нуклонной изобаре (1,14 Гэв  $< M_{p\pi^+} < 1,34$  Гэв). Оставшееся распределение показано штриховой линией (рис. 9). Видно, что пик, соответствующей  $\rho^0$ -мезону, уменьшается незначительно, несколько меняется его форма (усиливается двугорбость). Пик в области 500–550 Мэв уменьшается значительно, и можно думать, что он, в основном, обусловлен влиянием изобары<sup>хх)</sup>. Соответственно рассматривалось влияние  $\rho^0$ -мезона на распределение по  $M_{p\pi^+}$ . Распределение по  $M_{p\pi^+}$  без событий из полосы  $\rho^0$ -мезона обозначено штриховой линией. Пик нуклонной изобары  $N_{8,8}^*$  остается.

Следует отметить, что образование  $\rho^0$ -мезона наблюдается главным образом в событиях с относительно небольшим четырехмерным импульсом  $\Delta$ , переданным протону ( $\Delta < 700$  Мэв) (см. заштрихованные части распределений).

В спектре  $M_{p\pi^-}$  наблюдается небольшой пик, соответствующий  $N_{1,8}^*$  (1520) изобаре (рис. 10). События, соответствующие реакции  $\pi^-p \rightarrow N_{1,8}^* + \rho^0$ , мало: в области пересечения полос изобары  $N_{1,8}^*$  и  $\rho^0$ -мезона находится всего 8 случаев.

Исследовался также спектр эффективных масс трехнионных комбинаций  $M_{\pi^+\pi^-\pi^0}$ . В области  $A_1$ -мезона ( $M_{A_1} = 1080$  Мэв) наблюдается лишь несколько случаев, в области  $A_2$ -мезона ( $M_{A_2} = 1300$  Мэв) наблюдается широкий максимум (рис. 11).

х) В качестве фоновой кривой взята фазовая кривая для реакции

$$\pi^-p \rightarrow p\pi^+\pi^-\pi^0,$$

нормированная по части гистограммы  $M_{\pi^+\pi^-} < 0,8$  и  $M_{\pi^+\pi^-} > 0,9$  Гэв.

(1а)

хх)  $\pi^+$ -мезон от распада  $N^{*++}$  вместе с  $\pi^-$ -мезоном дают эффективную массу  $M_{\pi^+\pi^-}$  в области 500–550 Мэв.

Для  $A_2$ -мезона характерен распад по схеме  $A_2^- \rightarrow \rho^0 + \pi^-$ , поэтому естественно ожидать пик  $A_2$ -мезона в событиях с образованием  $\rho^0$ -мезона. На рис. 11в приведено распределение по  $M_{\pi^+\pi^-\pi^-}$  для событий, у которых, по крайней мере, одна из масс  $M_{\pi^+\pi^-}$  попадает в область  $\rho^0$ -мезона. Можно сказать, что если  $A_1$  и  $A_2$ -мезоны и образуются в исследуемой группе событий, то не более чем в 8 и 10% случаев, соответственно. Таким образом, в выделенной группе событий образуются  $\rho^0$ -мезоны ( $\leq 45\%$ ),  $N_{\delta,\delta}^*$  изобара ( $\approx 20\%$ ),  $N_{1,3}^*$  изобара ( $\approx 5\%$ ),  $A_1$  и  $A_2$ -мезоны ( $< 10\%$ ), доля совместного образования  $N_{\delta,\delta}^{*0} + \rho^0$  мала ( $< 1\%$ ). Следует отметить, что экспериментальное распределение по  $M_{\pi^+\pi^-\pi^-}$  совершенно не согласуется с фазовой кривой. Это указывает на существенное отличие механизма образования пионов в реакции 1а от статического механизма, в частности, на возможное влияние различных резонансов.

Выделить группу событий с  $1\pi^0$ -мезоном (реакция 1б) в наших условиях практически невозможно. Поэтому для исследования рождения резонансов использовались спектры эффективных масс для всех событий.

В спектре эффективных масс  $M_{\rho\pi^+}$  и  $M_{\rho\pi^-}$  (рис. 12) видны пики, соответствующие первой нуклонной изобаре  $N_{\delta,\delta}^*$  (1238). Фоновые кривые к этим распределениям получены следующим образом: были рассчитаны фазовые кривые, описывающие распределение  $M_{\rho\pi^+}$  для реакций:

$$\pi^- p \rightarrow \rho \pi^+ \pi^- \pi^- \quad (1a)$$

$$\rightarrow \rho \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0 \quad (1б)$$

$$\rightarrow \rho \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0 \pi^0. \quad (1в)$$

Эти фазовые кривые были суммированы пропорционально парциальным сечениям реакций (1а-1в). Последние получены путем использования энергетического хода реакций (1а-1в) в интервале импульсов  $\pi^-$ -мезонов от 2 до 10 Гэв/с<sup>1/33-35,18,19,2,4/</sup>.

Сечение реакции (1в) принималось равным сечению реакции

$$\pi^- p \rightarrow \rho \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0 \quad (m > 1).$$

Это допущение вполне оправдано, так как доля реакций с 3 и более  $\pi^0$ -мезонами мала (не более 15%). Эта оценка получена из сравнения среднего числа  $\pi^0$ -мезонов на одно четырехлучевое  $\pi^- p$ -взаимодействие, определенного по числу  $\gamma$ -квантов ( $\bar{m}_{\pi^0} = 1,13 \pm 0,15$ ), со средним числом  $\pi^0$ -мезонов, полученным на основе парциальных сечений реакций (1а-1в) ( $\bar{m}_{\pi^0} = 1,1$ ).

Суммарная фазовая кривая была нормирована на число комбинаций в области  $M_{\rho\pi} > 1,4$  Гэв. Из сравнения экспериментального спектра масс  $M_{\rho\pi^+}$  с фазовой кривой следует, что события с образованием нуклонной изобары  $N_{\delta,\delta}^{*++}$  составляют

22% от событий с протонами (реакция (1))<sup>х)</sup>. Аналогичное сравнение экспериментального и фазового распределений для  $M_{p\pi}$  показывает, что  $N_{3,3}^{*0}$  изобара образуется примерно в 10% событий. Более отчетливо пик  $N_{3,3}^{*0}$  изобары проявляется в распределениях событий, у которых протон и  $\pi^+$ -мезон (или протон и  $\pi^-$ -мезон) вылетают назад в с.ц.м. (см. заштрихованные части спектров на рис. 12).

Это свидетельствует о том, что по сравнению с протонами и  $\pi^\pm$ -мезонами, вылетающими в разные полусферы, большая доля вылетающих назад в с.ц.м. протонов и  $\pi^\pm$ -мезонов принадлежит одному возбужденному барионному состоянию.

Представляет интерес изучение спектра эффективных масс  $M_{\pi^+\pi^-}$ . К настоящему времени известны резонансы  $\rho^0$  и  $f^0$  в спектре  $M_{\pi^+\pi^-}$ , имеются указания на существование частиц с массой  $\approx 500$  Мэв<sup>2/</sup>,  $\omega^0$ -мезона с  $M \approx 710$  Мэв и  $g$ -мезона с  $M = 1675$  Мэв. В суммарном спектре  $M_{\pi^+\pi^-}$  (рис. 13) нет заметных пиков, которые могли бы соответствовать указанным резонансам, в частности,  $\rho$ -мезону. Отсутствие пика в области  $\rho^0$ -мезона, по-видимому, связано с тем, что  $\rho^0$  образуется с меньшей вероятностью в реакциях 1б и 1в, чем в 1а, а именно, реакция 1б и 1в вносят основной вклад в сечение реакций с протонами<sup>1/</sup>.

Для исследования образования  $\rho^0$ -мезона был избран другой путь. Периферический механизм образования  $\rho^0$ -мезонов<sup>2,36/</sup> заставляет ожидать появления  $\rho^0$ -мезонного пика для случаев с  $\cos\theta_{\pi^*}^* > 0$  и  $\cos\theta_{\pi^+}^* > 0$ . И, действительно, пик  $\rho^0$ -мезона появляется в таких событиях (рис. 14), причем более отчетливо в подгруппе событий, где один из  $\pi$ -мезонов имеет большой ( $P_{\pi^*} \geq 3,0$  Гэв/с) импульс в лабораторной системе. (Заштрихованная часть распределения на рис. 14). В том же спектре видны выбросы в интервале масс 1050–1150 Мэв и 1200–1350 Мэв, которые, возможно, соответствуют  $\chi^0$  (1100)<sup>х)</sup> и  $f^0$  (1250)-мезонам, но вклад их мал.

В суммарном спектре  $M_{\pi^+\pi^-}$  для реакций (1) имеется отклонение от фазовой кривой в области 0,3–0,7 Гэв (рис. 13). Оно может быть, например, следствием образования  $\omega^0$ -мезона или других резонансов, в частности, нуклонной изобары  $N_{3,3}^{*+}$ . Спектр  $M_{\pi^+\pi^-}$  для мезонов от распада  $\omega^0$ -мезона по схеме  $\omega^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  дает вклад в область 0,3–0,6 Гэв.  $\pi^+$ -мезоны от распада  $N_{3,3}^{*++}$  вместе с  $\pi^-$ -мезоном дают вклад в эффективные массы в той же области. Заметим, что в группе событий, обогащенной событиями без  $\pi^0$ -мезонов, не наблюдается широкого пика в области 300–600 Мэв, есть лишь выброс в интервале 500–550 Мэв, который может быть обусловлен  $N_{3,3}^{*++}$  изобарой.

х) Эта оценка включает в себя как нуклонные изобары, образовавшиеся непосредственно в  $\pi$ - $p$  взаимодействиях, так и изобары, являющиеся продуктами распада более высоких нуклонных изобар.

xx) Название  $\chi$ -мезон заимствовано из обзора M. Roos<sup>37/</sup>.

Распределение по  $M_{\pi^+\pi^-\pi^-}$  для всех реакций (1) (рис. 15в) также отличается от фазовой кривой. Четких максимумов, соответствующих  $A_1$  и  $A_2$ -мезонам, не наблюдается. В распределении по  $M_{\pi^-\pi^-}$  (рис. 15а) имеется выброс в интервале 400–500 Мэв, который является отражением нуклонной изобары  $N_{3,3}^{*0}$ . Наблюдается отклонение от фазовой кривой и в распределениях по  $M_{p\pi^+\pi^-}$  и  $M_{p\pi^-\pi^-}$ . Для всех распределений по массе характерен избыток случаев в области меньших значений масс (рис. 18) по сравнению с фазовыми кривыми.

Все эти отклонения от фазовой кривой могут быть обусловлены влиянием ряда резонансов в пионных и пион-нуклонных системах, взаимодействием частиц в конечном состоянии, т.е., в конечном итоге, отличием механизма  $\pi^-p$  взаимодействия от статистического.

Анализ данных настоящей работы по изучению спектров эффективных масс и данных других авторов [2, 4, 18–23] показывает, что образование  $\rho^0$ -мезонов наблюдается главным образом в реакции  $\pi^+ + p \rightarrow p \pi^+ \pi^- \pi^+$  в широком интервале импульсов первичных  $\pi^-$ -мезонов (2,7–18 Гэв/с). В реакции  $\pi^- + p \rightarrow p \pi^- \pi^- \pi^+ \pi^0$  мезон рождается на более, чем в 15% событий [2, 4, 19], тогда как в реакции (1а) вклад  $\rho^0$ -мезона достигает 70% [4]. События с образованием  $\rho^0$ -мезона характеризуются малыми 4-импульсами  $\Delta$ , передаваемыми протону. Нуклонная изобара  $N_{3,3}^{*++}$  образуется как в реакции (1а), так и в реакции (1б), причем при меньших импульсах (3–8 Гэв/с)  $N_{3,3}^{*+}$  с большей вероятностью рождается в реакции (1а) (25–30%), а при более высоких импульсах – в реакции (1б).

Образование  $A_2$ -мезона наблюдалось в реакции (1а) в интервале импульсов 3 – 6 Гэв/с. В реакциях (1б) с вероятностью 20–30% образуется  $\omega^0$ -мезон ( $P_{\pi^-} = 2,75$ –6,1 Гэв/с). При увеличении импульса первичных пионов вероятность образования  $\omega^0$ -мезона уменьшается [4].

### З а к л ю ч е н и е

Наблюдающиеся в реакциях  $\pi^-p \rightarrow p \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0$  ( $m \geq 0$ ) асимметрия угловых распределений, корреляция между поперечными и продольными импульсами частиц в с.д.м., расхождение между экспериментальными и фазовыми распределениями эффективных масс указывают на образование вторичных частиц через промежуточные возбужденные состояния. Для подтверждения этого указания необходим более детальный анализ экспериментальных данных, включая данные о недостающих  $\pi^0$ -мезонах.

В заключение авторы выражают благодарность Э.Г. Бубелеву за многократные обсуждения и полезные советы, М.И. Соловьеву, Н.М. Вирясову, И. Курелару, В.Н. Пеневу, Т. Понта за помощь в работе и обсуждения, сотрудникам Вычислительного центра

Е.П. Жидкову, И.И. Говоруну, Н.В. Марковой, Г.И. Тентюковой за составление и обсуждение ряда программ для электронно-счетной машины, группе лаборантов за просмотр и измерения событий. Румынские сотрудники благодарят проф. Х. Хулубея за оказанную помощь и обсуждение.

Т а б л и ц а 1

Группа	Число событий
1. С идентифицированным протоном	213
2. С одним идентифицированным $\pi^+$ -мезоном	381
3. С двумя идентифицированными $\pi^+$ -мезонами	524
4. С неидентифицированными положительными частицами	135

Т а б л и ц а П

Импульс $\pi^-$ -мезонов (Гэв/с)	1,59 <sup>/33/</sup>	2,03 <sup>/34/</sup>	2,14 <sup>/35/</sup>	2,75 <sup>/18/</sup>	3,2 <sup>/19/</sup>	4,0 <sup>/2/</sup>	7,5	10 <sup>/4/</sup>	16 <sup>/24/</sup>
$\sigma_s$ (мб)	1,18 $\pm$ 0,07	2,73 $\pm$ 0,18	3,21 $\pm$ 0,11	4,7 $\pm$ 0,1	5,2 $\pm$ 0,4	7,44 $\pm$ 0,17	8,8 $\pm$ 0,4	8,33 $\pm$ 0,35	9,9 $\pm$ 0,9
$\sigma_p$ (мб)	1,06 $\pm$ 0,06	2,38 $\pm$ 0,17	2,84 $\pm$ 0,10	3,60 $\pm$ 0,08	3,9 $\pm$ 0,3	4,87 $\pm$ 0,13	5,1 $\pm$ 0,3	5,0 $\pm$ 0,2	
$\sigma_n$ (мб)	0,12 $\pm$ 0,02	0,35 $\pm$ 0,04	0,37 $\pm$ 0,02	1,15 $\pm$ 0,05	1,3 $\pm$ 0,2	2,57 $\pm$ 0,09	3,7 $\pm$ 0,2	3,33 $\pm$ 0,21	

Т а б л и ц а    III

$P_{\pi^-}$ (ГэВ/с)		4/2/	7,2 <sup>34</sup> /	7,5	10 <sup>4</sup> /	16 <sup>27</sup> /
$\bar{P}^+$	$\pi^-$	472 $\pm$ 5	520 $\pm$ 30	518 $\pm$ 9	664 $\pm$ 15	690 $\pm$ 70 -40
	$\pi^+$	382 $\pm$ 6	480 $\pm$ 20	481 $\pm$ 11	525 $\pm$ 18	680 $\pm$ 70 -30
	p	681 $\pm$ 6		847 $\pm$ 16	1164 $\pm$ 25	
$\bar{P}^+$	$\pi^-$	296 $\pm$ 6	330 $\pm$ 30	334 $\pm$ 6	360 $\pm$ 23	342 $\pm$ 22 -11
	$\pi^+$	253 $\pm$ 7				
	p	376 $\pm$ 8	350 $\pm$ 40	391 $\pm$ 8	404 $\pm$ 36	424 $\pm$ 69 -39
$\frac{\bar{h}}{n}$	$\pi^-$	1,42 $\pm$ 0,06	1,60 $\pm$ 0,13	1,77 $\pm$ 0,09	2,22 $\pm$ 0,16	2,18 $\pm$ 0,33
	$\pi^+$	1,07 $\pm$ 0,06	1,39 $\pm$ 0,11	1,31 $\pm$ 0,09	1,62 $\pm$ 0,15	
	p	0,30 $\pm$ 0,02		0,09 $\pm$ 0,01	0,18 $\pm$ 0,02	
$\cos\theta^* > 0,8$	$\pi^-$	21%	21%	23%	33%	38%
	$\pi^+$	14%		21%	23%	
$\cos\theta^* < -0,8$	p	41%		55%	67%	

Приведенные данные -- результат усреднения по всем  
4-лучевым событиям с протонами.

Л и т е р а т у р а

1. L. Bondar, E. Keppel, G. Kraus, W.P. Dodd, B. Tallini, G. Wolf, I. Butterworth, F.I. Campayne, M. Ibbotson, N.N. Biswas, I. Derado, D. Lüers, N. Schmitz. Phys. Lett., 5, 209 (1963).
2. Aachen-Birmingham-Bonn-Hamburg-London (I.C.)-München Collaboration. Nuovo Cim. 31, 485, 729 (1964).
3. P. Fleury, G. Kayas, F. Muller and C. Pelletier. Proc. of the 1962 Intern. conf. on High Energy Physics at CERN p. 597.
4. N.N. Biswas, I. Derado, N. Schmitz, and W.D. Sherhard. Phys. Rev., 134, B. 901 (1964).
5. M. Bardadin, L. Michejda, S. Otwinowski, R. Sosnowski. Report rN511/VI Warsaw (1964).
6. В.А. Беляков, Ван Шу-фень, В.В. Глаголев, Н. Далхажав, Р.М. Лебедев, Н.Н. Мельникова, В.А. Никитин, В. Петржилка, В.А. Свиридов, М. Сух, К.Д. Толстов. ЖЭТФ, 39, 937 (1960). Препринт ОИЯИ Р-530, Дубна 1960.
7. Н.Г. Биргер, Ван Ган-чан, Ван Цу-дзэн, Дин Да-пао, Ю.В. Катышев, Е.Н. Кладнищкая, Д.К. Копылова, В.Б. Любимов, Нгуен Дин Ты, А.В. Никитин, М.И. Подгоревский, М.И. Соловьев, З.Трка. ЖЭТФ, 41, 1461 (1961). Препринт ОИЯИ Р-789, Дубна 1961.
8. C. Grote, J. Klabuhn, J. Klugov, U. Krecker, U. Kundt, K. Lanus, and H.W. Meier. Nucl. Phys. 34, 659, 676, 685 (1962).
9. K. Lanus. Proc. of the 1962 Intern. Conf. on High Energy Physics at CERN p. 617.
10. C. Grote, J. Klabuhn, J. Klugov, U. Krecker, U. Kundt, K. Lanus, and H.W. Meier. Nucl. Phys. 34, 648 (1962).
11. H. Hulubei, C. Besliu, T. Besliu, A. Constantinescu, M. Gavrilas, A. Mihul, E. Balea, O. Balea, V. Balint, I. Curelaru, I. Makarovitsch, D. Mumaiuanu, T. Ponta, C. Potoceanu, M. Sabau. Phys. Lett., 6, 77 (1963).
12. Д.К. Копылова, В.Б. Любимов, М.И. Подгоревский, Х. Рузаев, З. Трка. ЖЭТФ, 44, 1481 (1963). Отчет ЛВЭ ОИЯИ Б 4 1249, Дубна, 1963.
13. Е. Бая, О. Бая, В.А. Беляков, Е.Н. Кладнищкая, Е.С. Кузнецова, И. Курелару, А. Михуд, М. Сабэу. Препринт ОИЯИ 2481, Дубна 1965.
14. В.Б. Любимов, А.В. Никитин, З. Трка. Препринт ОИЯИ Р-974, Дубна 1962.
15. М.С. Айнутдинов, С.М. Зомбковский, С.Я. Никитин, Я.М. Селектор, В.Н. Шуляченко. ЖЭТФ, 43, 1543 (1962); ЖЭТФ, 44, 413 (1963).
16. А.Х. Виняцкий, И.Г. Голяк, В.И. Руськин, Ж.С. Такибаев. ЖЭТФ, 44, 424 (1963).
17. Е.Н. Кладнищкая. Труды XII Международной конференции по физике высоких энергий в Дубне, 1964 г. стр. 489.
18. Saclay-Orsay-Bari-Bologna Collaboration. Proc. of the Sienna Intern. Conf. on Elementary Particles, p. 232 (1963). LPCHE 64-14 (1964).  
Труды XII Международной конференции по физике высоких энергий в Дубне 1964, стр. 449.



19. Suh Urkchung, O.T. Dahl, L.M. Hardy, R.L. Hess, G.R. Kalbfleisch, J. Kirz, D. Miller, and G.A. Smith. Proc. of the Sienna Intern. Conf. on Elementary Particles, p. 201 (1963). Phys. Rev. Lett., 12, 621 (1964). Труды Международной конференции по физике высоких энергий в Дубне, 1964 г., стр. 422.
20. S. Goldhaber, G. Goldhaber, B.S.C. Shen, G.H. Trilling. Труды XII Международной конференции по физике высоких энергий в Дубне, 1964, стр. 474.
21. N.P. Samios, A.N. Bachman, R.M. Lea, T.E. Kalogeropoulos, W.D. Shepard. Phys. Rev. Lett., 9, 139 (1962).
22. V.E. Barnes, W.B. Fonler, K.W. Lai, S. Orenstern, D. Radojicic, and M.S. Webster et al. Phys. Rev. Lett., 16, 41 (1966).
23. G. Bellini, M. di Corato, E. Fiorini, P. Negri, S. Ratti. Proc. of the Sienna Intern. Conf. on Elementary Particles, p. 621 (1963).
24. G. Bellini, M. di Corato, F. Dulmio, and E. Fiorini. Nuovo Cim., 40, A948 (1965).
25. T. Ferbel and H. Taft. Nuovo Cim., 28, 1214 (1963).
26. S.J. Coldsack, L. Riddiford, B. Tallini et al. Nuovo Cim., 23, 941 (1962).
27. J. Bartke, H. Piotrowska, A. Trabucco De Marko. Acta Physica Polonica, 27, 869 (1965).
28. Ван Ган-чан, М.И. Соловьев, Ю.Н. Шкобян. ПТЭ, 1, 41 (1959).
29. В.А. Алмазов, И.А. Голутвин, В.Д. Инкин и др. Препринт ОИЯИ 1352, 1963.
30. M. Deutschmann, R. Krichel, R. Speth, H. Weber, W. Woischning, C. Grote, J. Klygow, A. Meyer, S. Nowak, S. Brandt, V.T. Cocconi, O. Czyzewski, J. Danysz, P. Dalpiaz. Труды XII Международной конференции по физике высоких энергий в Дубне, 1964 г., стр. 508.
31. В.С. Барашенков, И. Патера. Препринт ОИЯИ Р-1163, Дубна 1962.
32. Н.Г. Бюргер, Ю.А. Смородин. ЖЭТФ, 37, 1355 (1959).
33. Saclay-Orsay-Bari-Bologna Collaboration. Nuovo Cim. 29, 515 (1963).
34. D.D. Carmony, F. Grand, R.T. Van de Walle and Nguyen Huu Xuong. Proc. of the Intern. Conf. on High Energy Physics at CERN (1962), p.44.
35. P.H. Satterblom, W.D. Walker, and A.R. Erwin. Preprint of the University of Wisconsin (1964).
36. C. Alff, D. Colley, N. Gelfand, V. Nauenberg, D. Riller, J. Steinberger, T.H. Tau, H. Brugger, P. Kramer, and R. Plano. Proc. of the 1962 Intern. Conf. on High Energy Physics at CERN p. 50.
37. M. Roos. Nucl. 52 n 1 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 июня 1966 г.

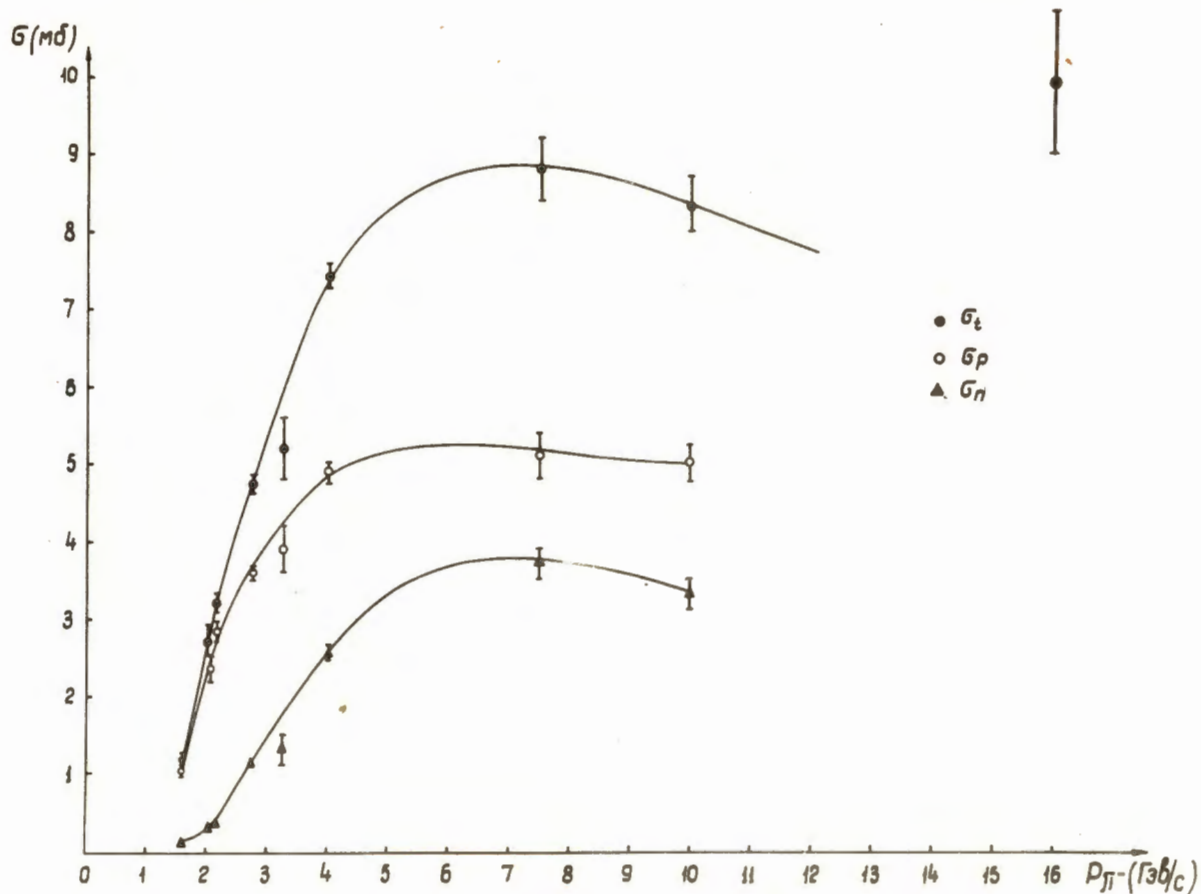


Рис. 1. Энергетическая зависимость сечений четырехлучевых  $\pi^- p$  взаимодействий.  $\sigma_t$  - полное сечение 4-лучевых событий с множественным рождением пионов;  $\sigma_p$  - сечение реакций  $\pi^- p \rightarrow p + \pi^- + \pi^+ + \pi^- + \pi^+ + \pi^0 (m \geq 0)$ ;  $\sigma_n$  - сечение реакций  $\pi^- p \rightarrow p + \pi^- + \pi^+ + \pi^- + \pi^+ + \pi^0$ .

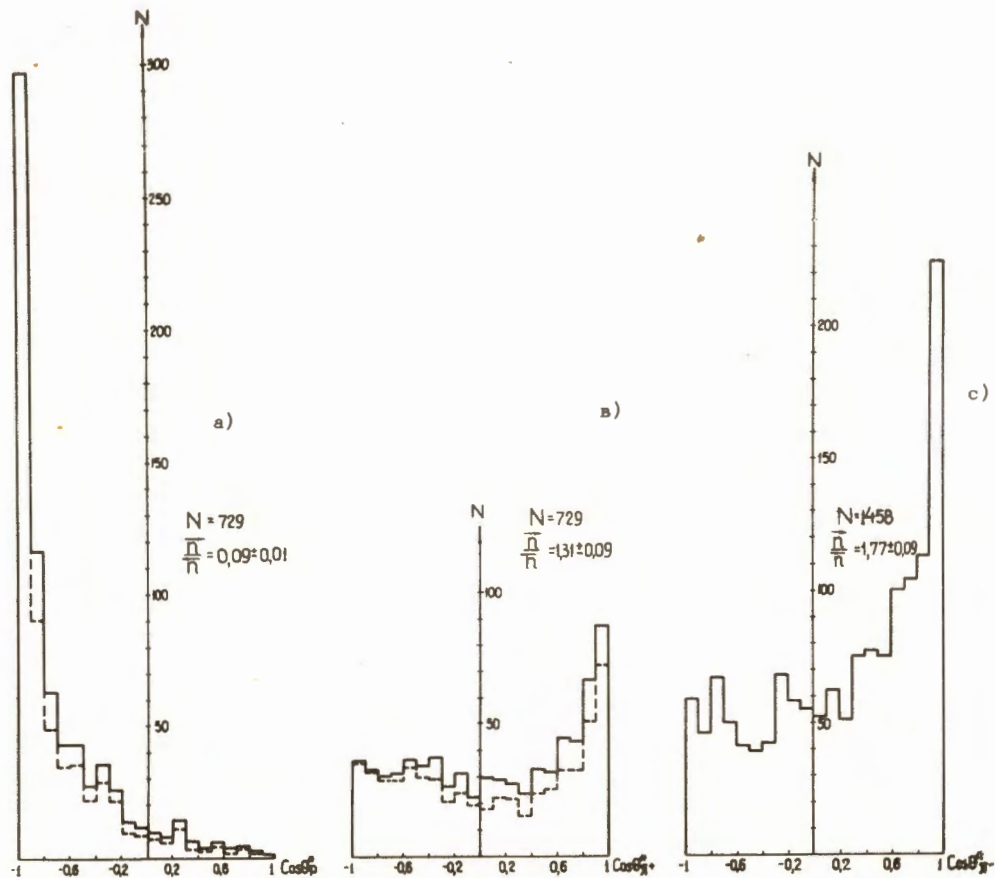


Рис. 2. Угловые распределения вторичных частиц в с.ц.м. для реакций  $\pi^- + p \rightarrow p + \pi^- + \pi^+ + \pi^- + \pi^0$  ( $m \geq 0$ );

а) протонов, в)  $\pi^+$ -мезонов, с)  $\pi^-$ -мезонов. Пунктиром на а) и в) указаны распределения без частиц и из группы 4 (см. таблицу 1).

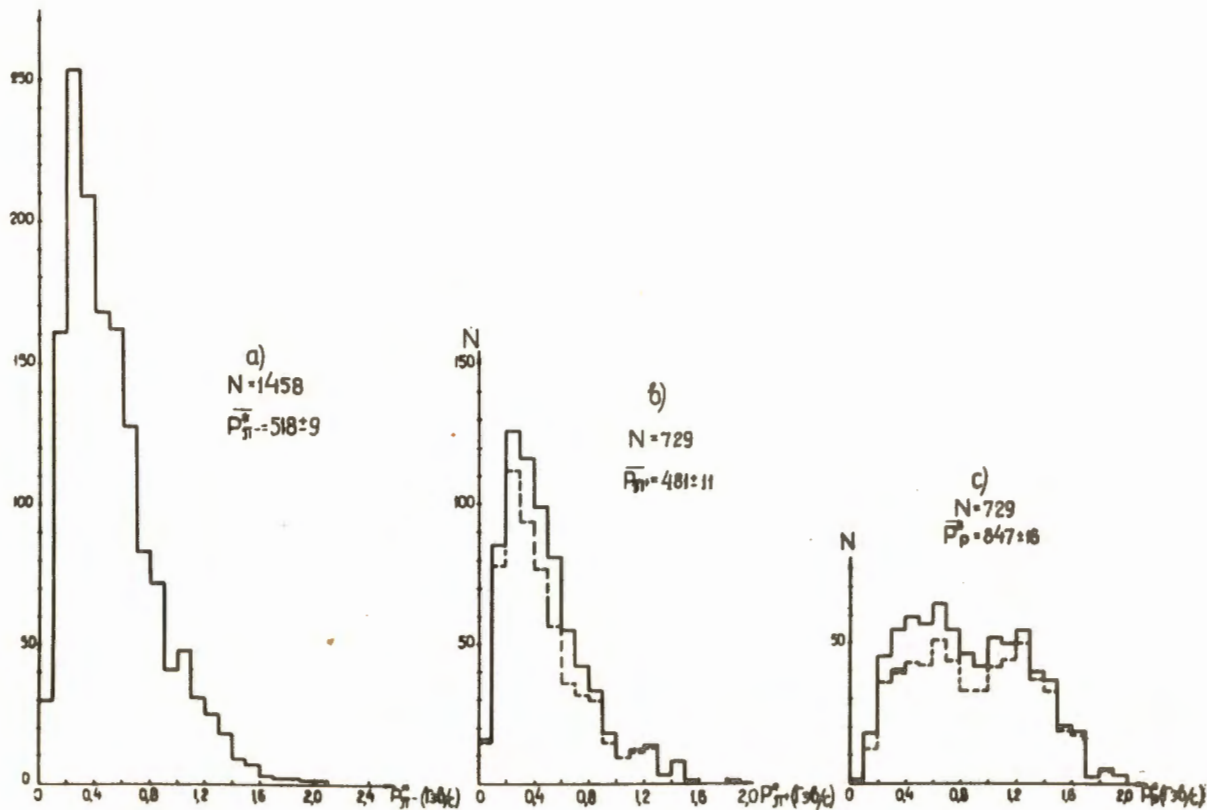


Рис. 3. Импульсные распределения вторичных частиц в с.п.м. а)  $\pi^-$ -мезонов, в)  $\pi^+$ -мезонов, с) протонов. Пунктиром на в) и с) указано то же, что и на рис. 2.

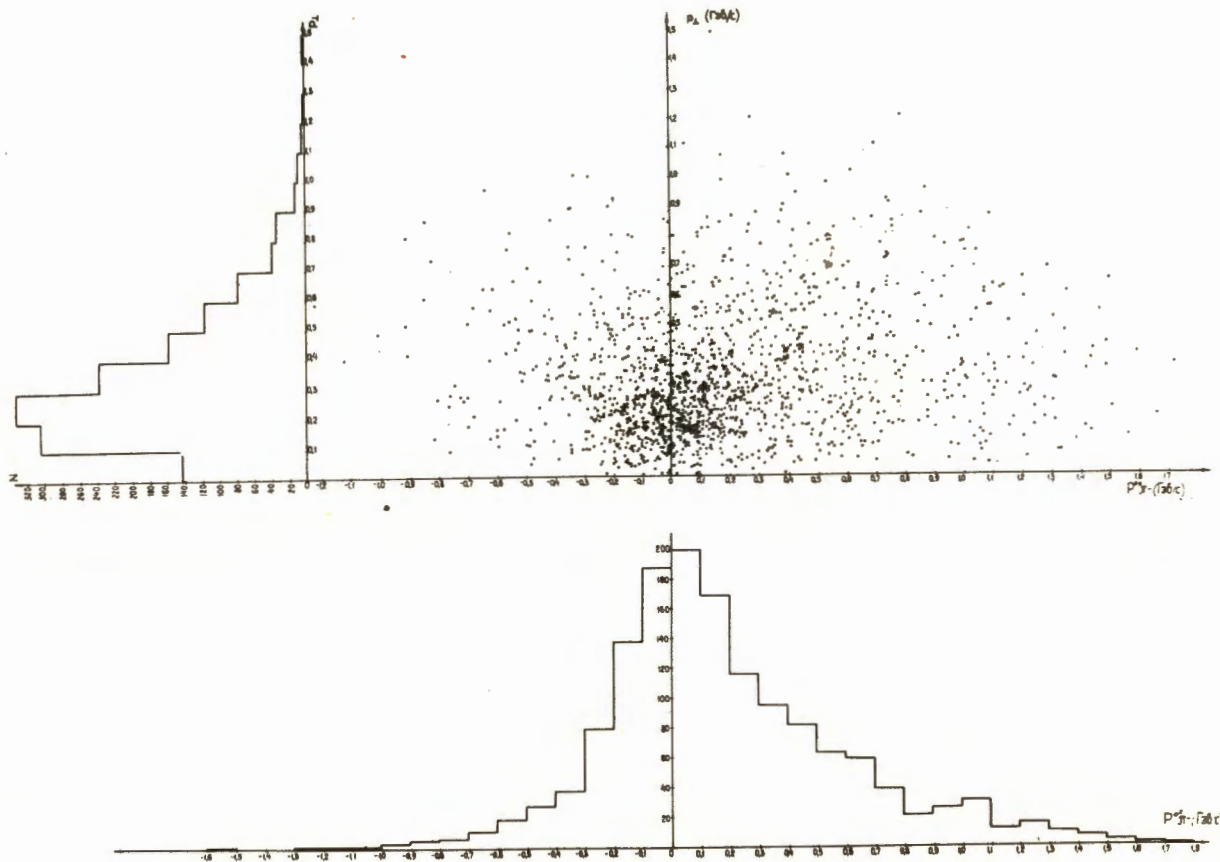


Рис. 4.  $P_{\perp}^*$  -  $P_{\parallel}^*$  - распределение для  $W^-$ -мезонов.

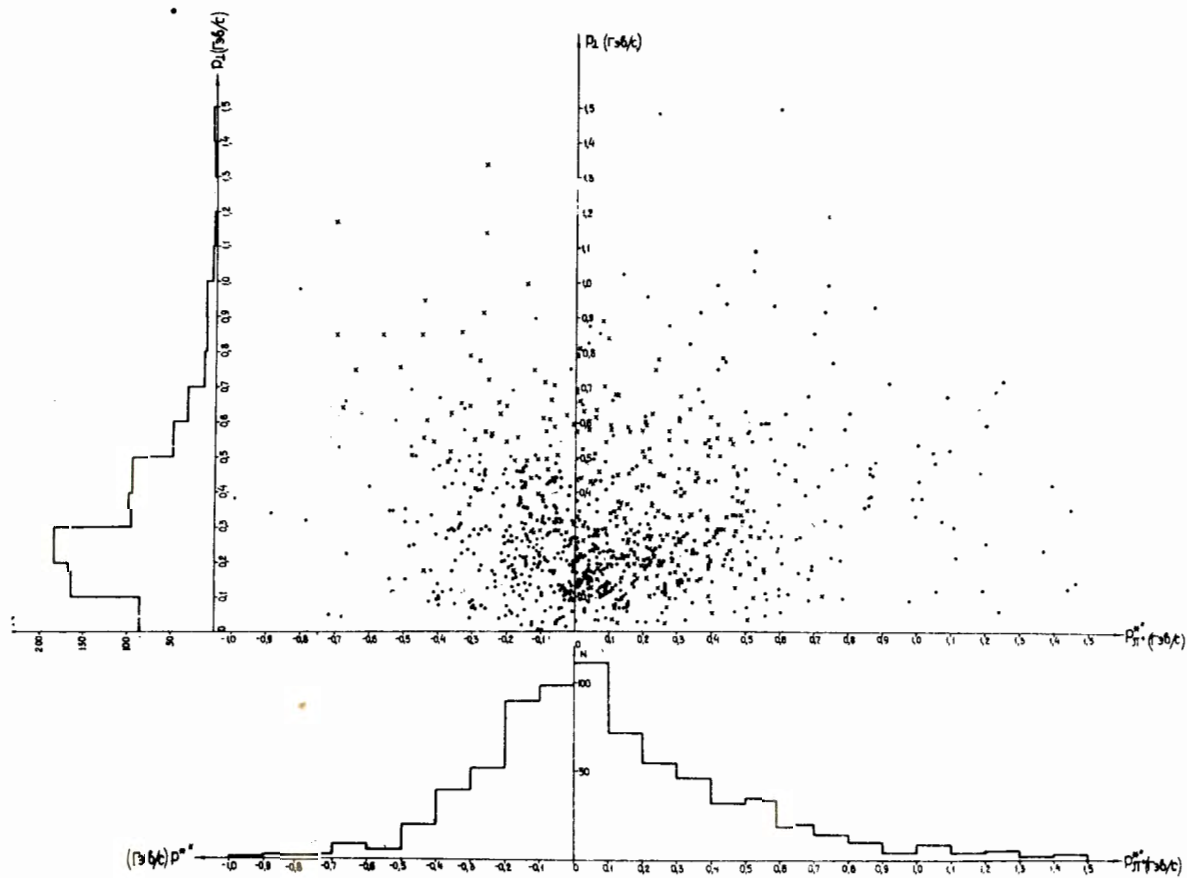


Рис. 5.  $P_{\perp}^+ - P_{\parallel}^+$  - распределение для  $\pi^+$ -мезонов. Точки относятся к частицам из группы 1 и 2, а крестики - к частицам из группы 4 (см. таблицу 1).

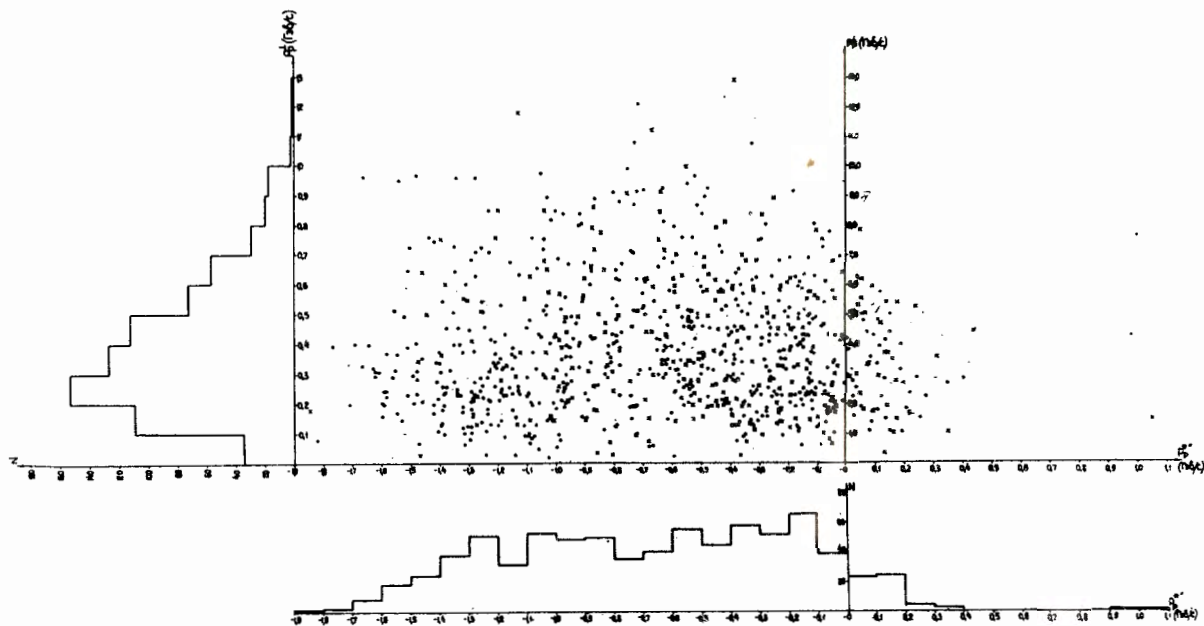


Рис. 6.  $P_{II}^+ - P_{II}^{*}$  - распределение для протонов. Обозначения те же, что и на рис. 5.

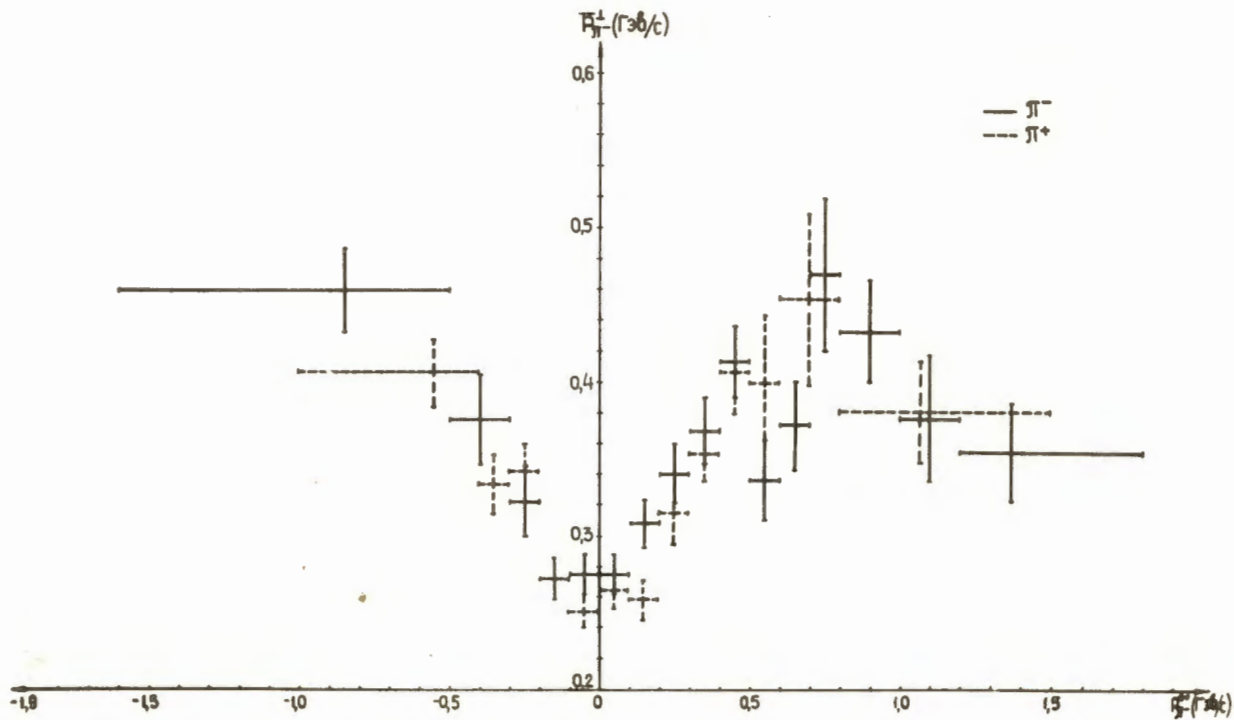


Рис. 7. Зависимость средних поперечных импульсов  $\pi^-$ - и  $\pi^+$ -мезонов для различных интервалов продольных импульсов в с.п.м.



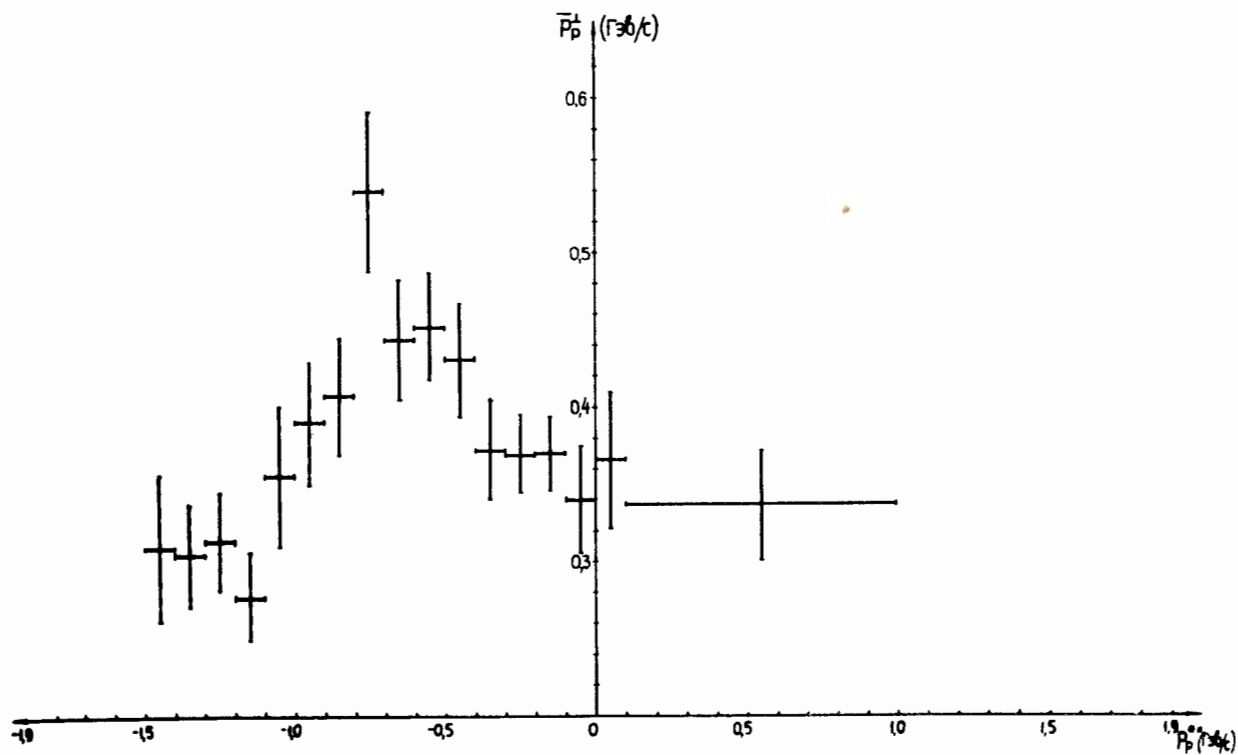


Рис. 8. Зависимость среднего поперечного импульса протонов для различных интервалов продольного импульса в с.п.м.

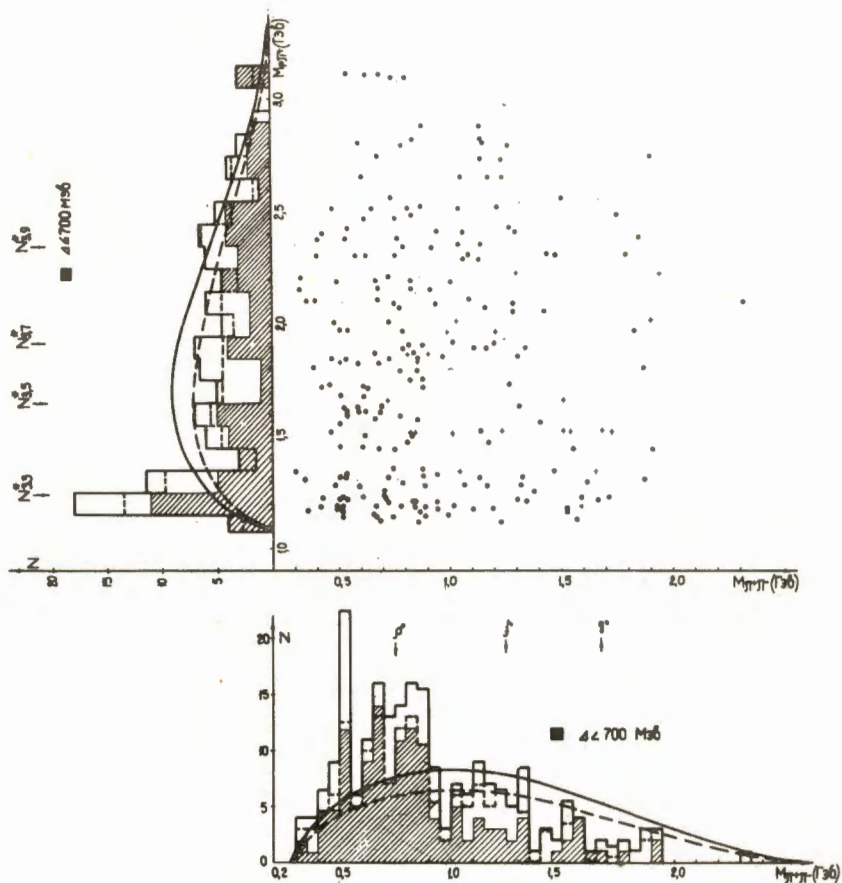


Рис. 9. Двумерное распределение по эффективным массам ( $p\pi^+$ ) и ( $\pi^+\pi^-$ ) комбинаций для событий без  $\pi^0$ -мезонов. Пунктиром указаны распределение по  $M_{\pi^+\pi^-}$  без полосы  $1,14 < M_{\pi^+\pi^-} < 1,34$  и распределение по  $M_{p\pi^+}$  без полосы  $0,8 < M_{p\pi^+} < 0,9$ . Заштрихованные части распределений относятся к событиям с  $\Delta \leq 700$  Мэв.

Сплошной линией указаны фазовые кривые, нормированные на полные спектры, пунктирной — фазовые кривые, нормированные на области  $M_{\pi^+\pi^-} < 800$  Мэв и  $M_{\pi^+\pi^-} > 800$  Мэв в распределении по  $M_{\pi^+\pi^-}$ , и на область  $M_{p\pi^+} > 1,4$  Гэв в распределении по  $M_{p\pi^+}$ .

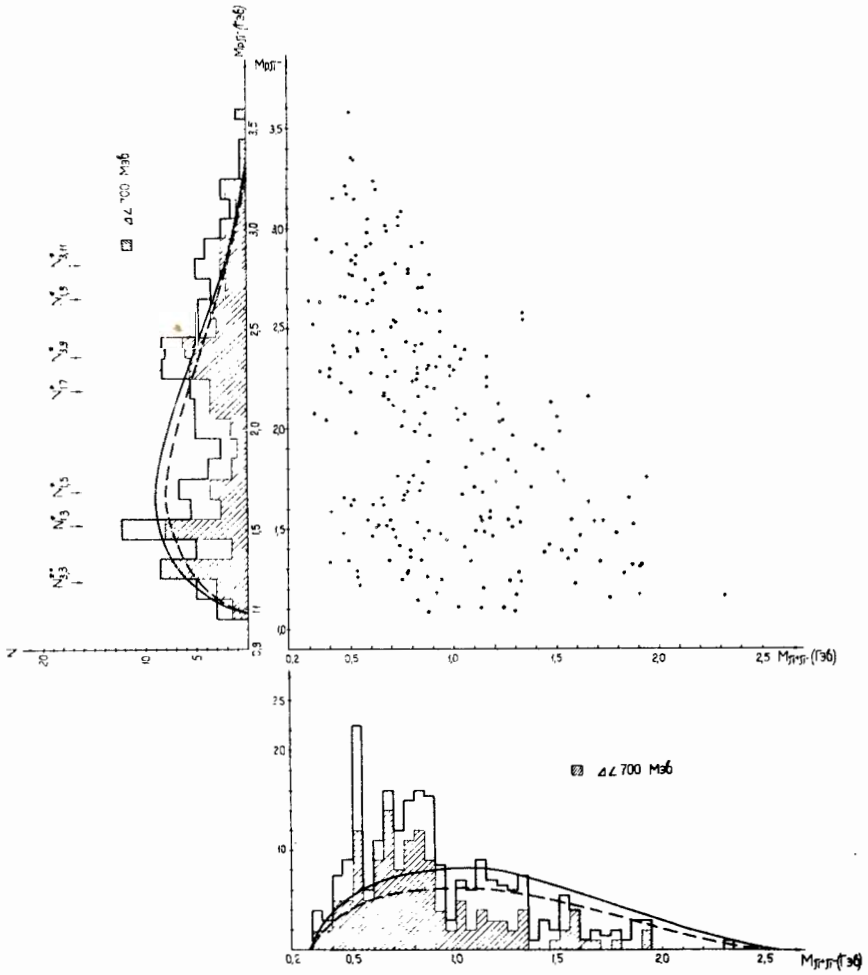


Рис. 10. Двумерное распределение по эффективным массам ( $\pi^+\pi^-$ ) и ( $\rho\pi^-$ ) комбинация. Обозначения те же, что и на рис. 9.

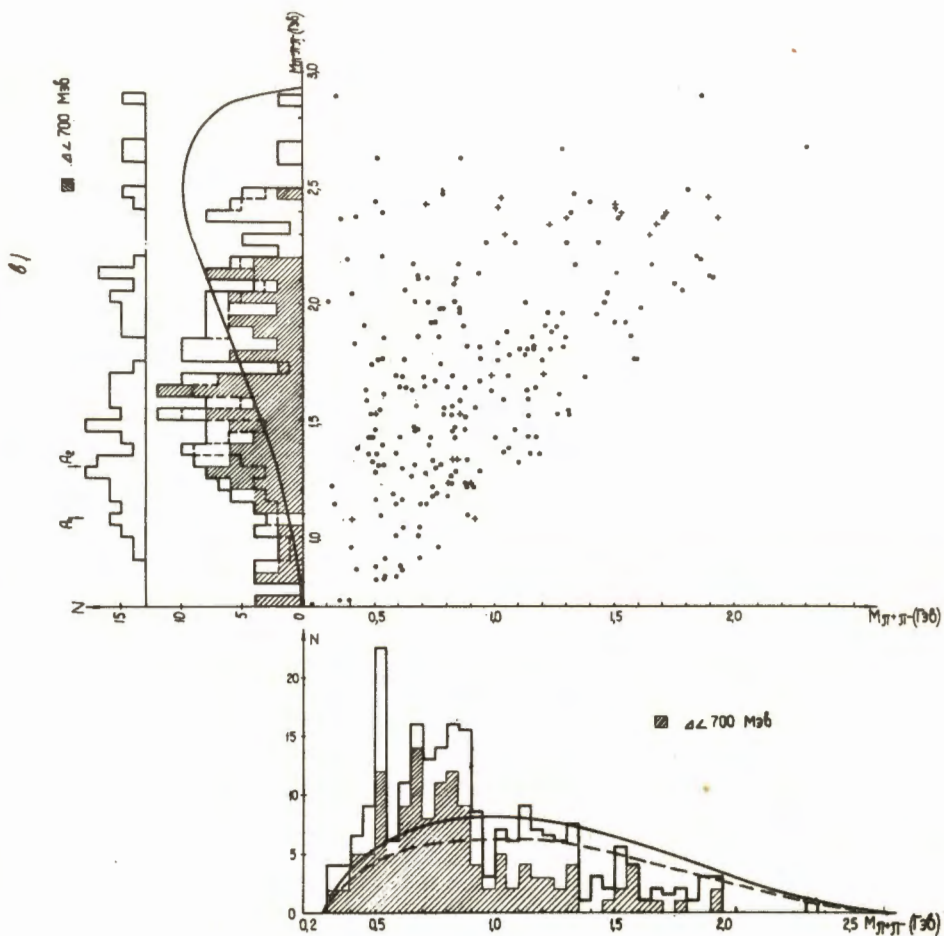


Рис. 11. Двумерное распределение по эффективным массам ( $\pi^+\pi^-\pi^+$ ) и ( $\pi^+\pi^+$ ) комбинаций. Обозначения те же, что на рис. 8.

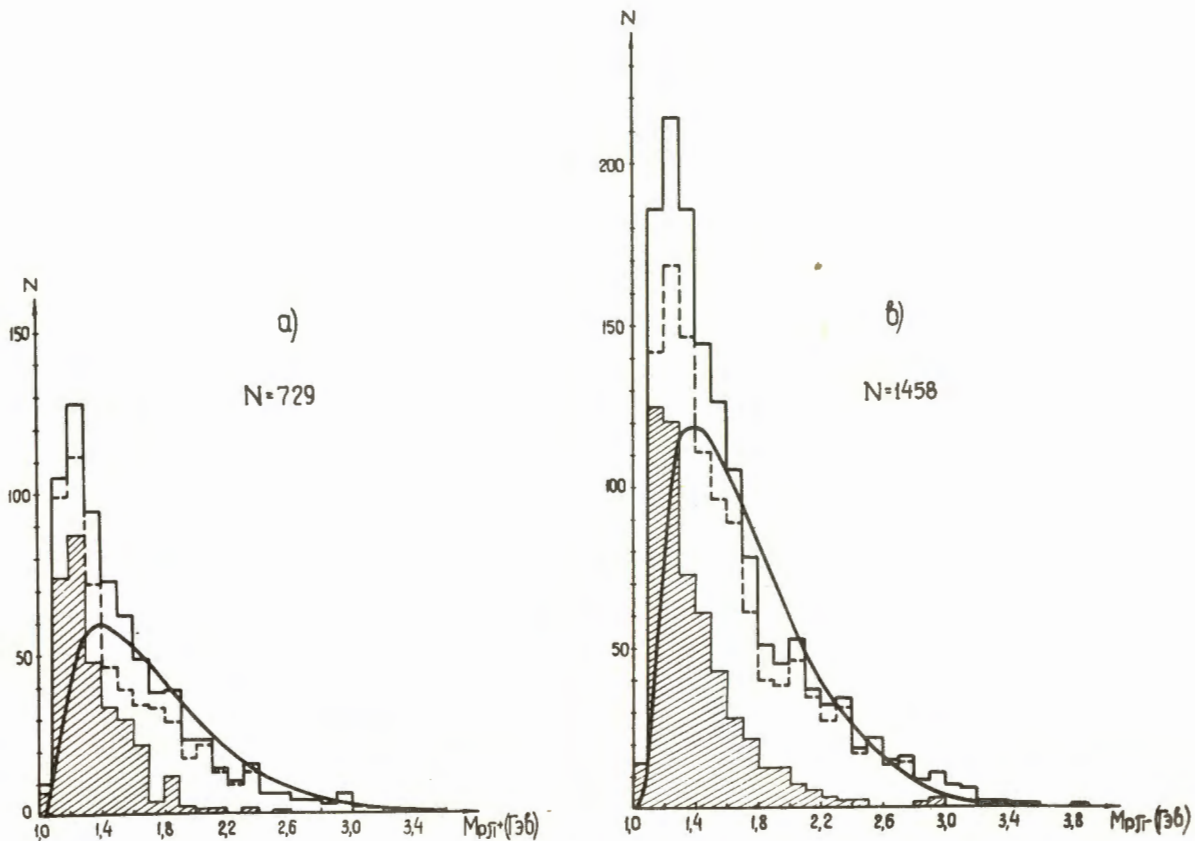


Рис. 12. Распределения по эффективным массам ( $p\pi^+$ ) и ( $p\pi^-$ ) комбинаций для реакций с протоном. Заштрихованные части распределений относятся к событиям с  $\cos\theta_p^* < 0$  и  $\cos\theta_{\pi^+}^* < 0$  (а) и  $\cos\theta_p^* < 0$  и  $\cos\theta_{\pi^-}^* < 0$  (в). Пунктиром обозначено то же, что и на рис. 2. О фазовой кривой см. текст.

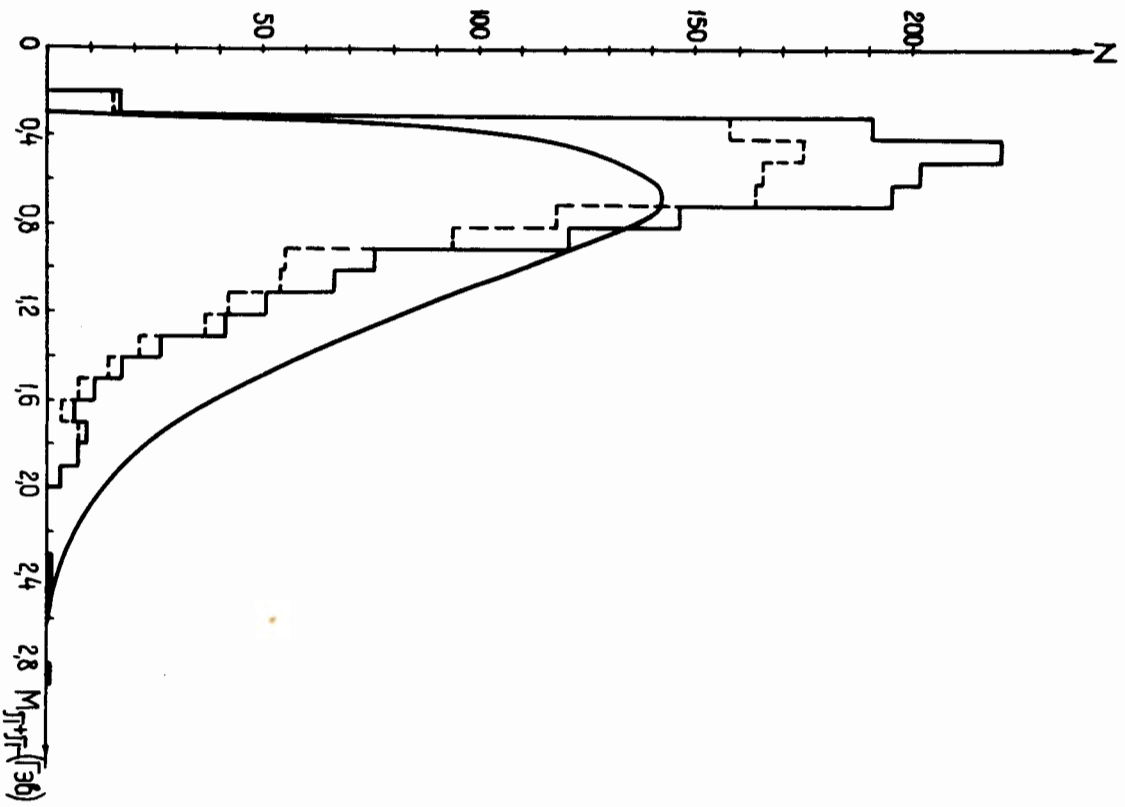


Рис. 13. Распределение по  $M_{\pi^+\pi^-}$  для всех реакций с протоном.  
 Обозначения те же, что и на рис. 12.

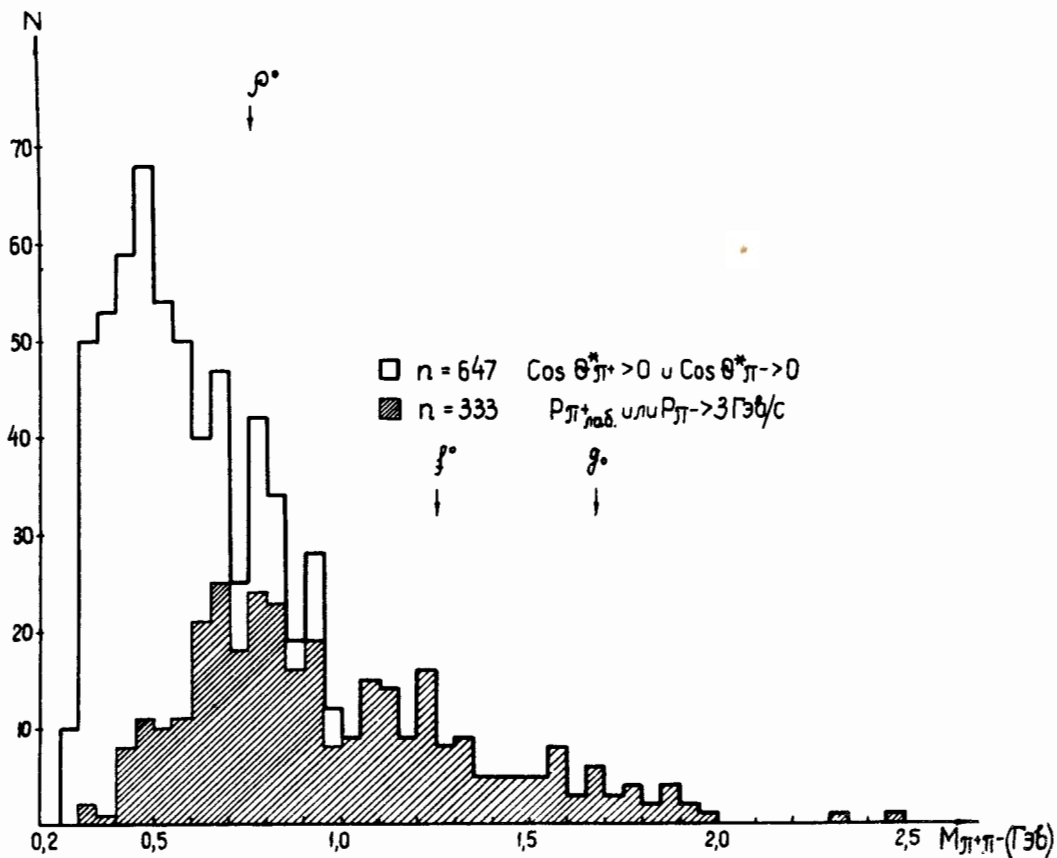


Рис. 14. Распределение по  $M_{\pi^+\pi^-}$  для событий с  $\cos \theta_{\pi^+}^* > 0$  и  $\cos \theta_{\pi^-}^* > 0$ .  
 Заштрихованная часть относится к событиям с  $P_{\pi^+}^{lab} > 3 \text{ ГэВ/с}$  или  $P_{\pi^-}^{lab} > 3 \text{ ГэВ/с}$ .

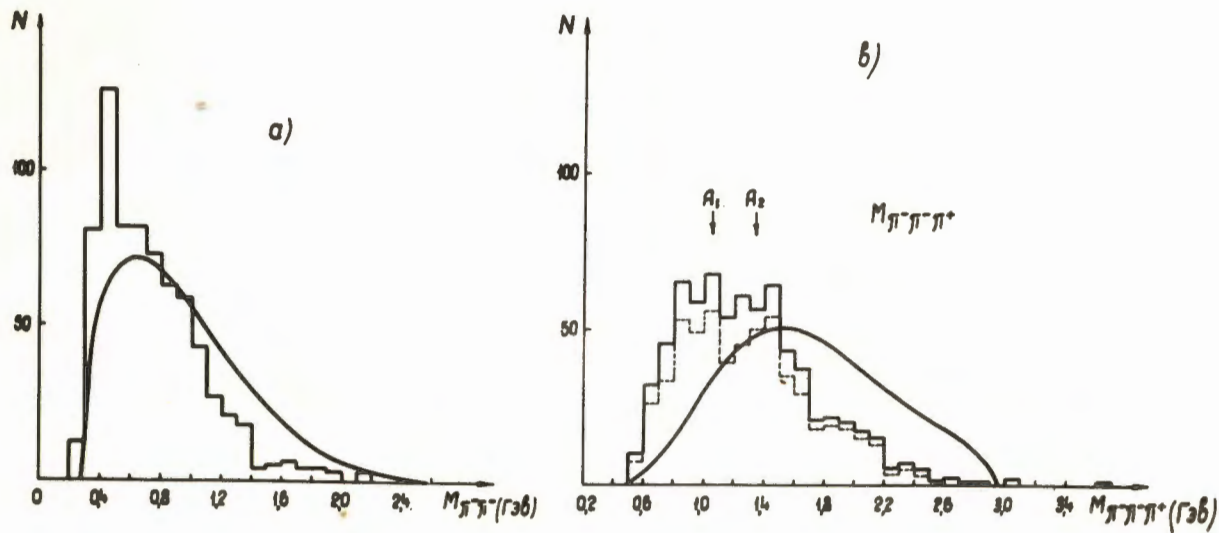


Рис. 15. Распределение по эффективным массам: а)  $M_{\pi^+\pi^-}$ , б)  $M_{\pi^-\pi^-\pi^+}$  для событий с протонами. Другие обозначения те же, что и на рис. 1.



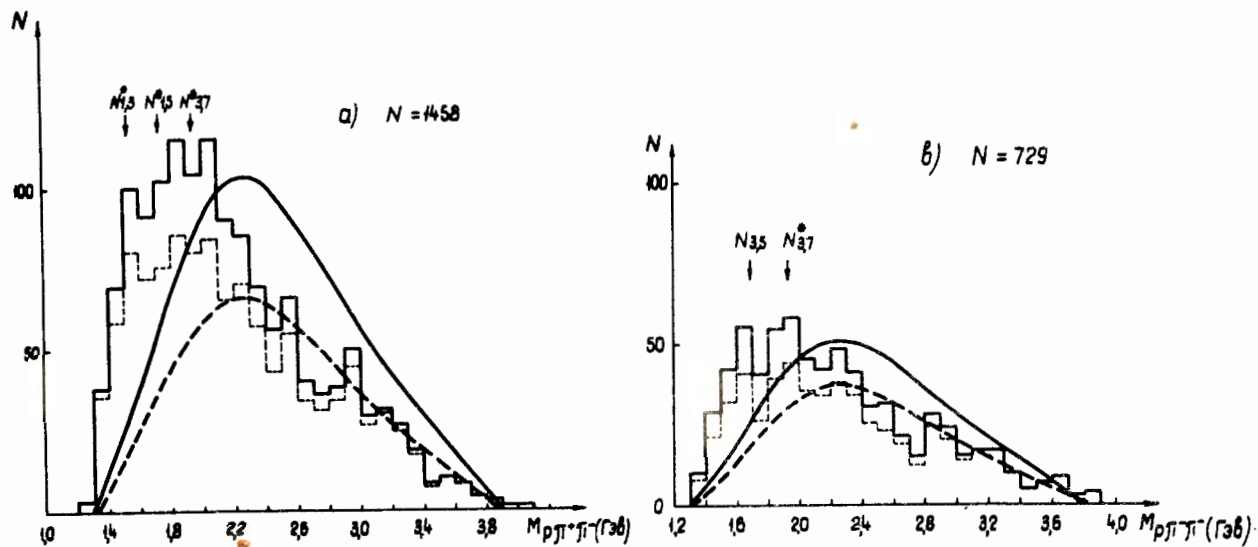


Рис. 18. Распределение по эффективным массам а)  $M_{p\pi^+\pi^-}$  и в)  $M_{p\pi^-\pi^-}$ . Пунктирные кривые нормированы на области  $M_{p\pi\pi} > 2,1$  Гэв/с. Обозначения те же, что на рис.12.