

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



20/v - 74
1 - 7825

Г-225

2087/2-74.

А.П.Гаспарян, Д.К.Копылова, А.В.Никитин,
Ю.А.Троян

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ $np \rightarrow np \pi^+ \pi^-$
В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ $2 \div 10$ ГЭВ

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1 - 7825

А.П.Гаспарян, Д.К.Копылова, А.В.Никитин,
Ю.А.Троян

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ $np \rightarrow np \pi^+ \pi^-$
В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ $2 \div 10$ ГЭВ

Направлено в ЯФ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В этой статье мы представляем экспериментальные результаты исследования реакции



в диапазоне энергий $2 \div 10$ ГэВ.

В настоящее время имеется очень много работ, посвященных подобному исследованию /1-4/. Все они выполнены при облучении камер, наполненных дейтерием, протонными пучками и содержат значительные неопределенности, связанные с тем, что нейтрон в дейтерии не свободен. В этом смысле наше облучение не имеет такого недостатка, но имеет свои неопределенности, возникающие из-за широкого энергетического спектра падающих нейтронов.

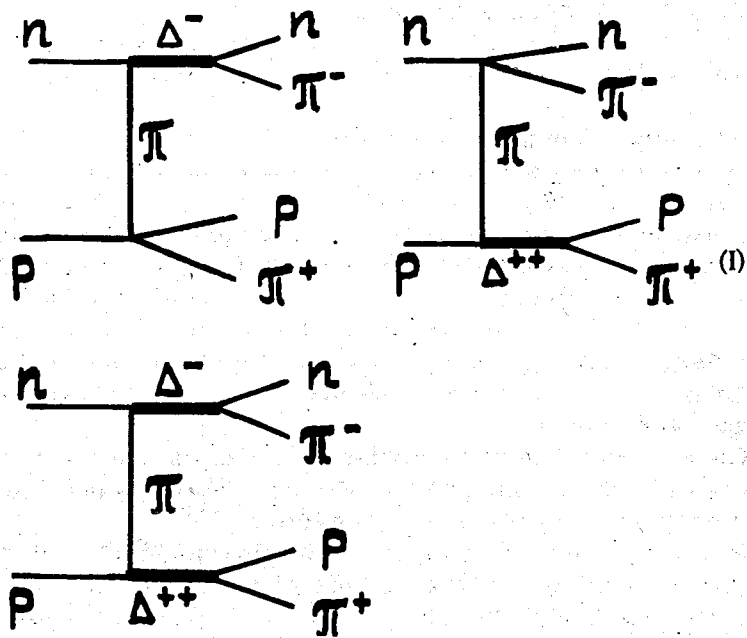
Спектр нейтронов первичного пучка, полное сечение реакции /1/ и методы разделения каналов реакций в данном облучении представлены в работах /5,6/.

Мы приводим результаты обработки 2037 событий реакции /1/. Все события разбиты на 3 группы по импульсам первичных нейтронов /2-5, 5-8, 8-11 ГэВ/с/. Средние импульсы первичных нейтронов для указанных интервалов равны соответственно 3,6; 6,6 и 9,1 ГэВ/с. Число событий в интервалах - 635, 837 и 565.

Мы будем качественно сопоставлять полученные распределения с периферическими диаграммами, т.к. известно из других работ по NN-взаимодействиям, что нуклоны в этих взаимодействиях сильно сколламированы в направлениях вперед-назад в общей с.ц.м. и существенные черты взаимодействий описываются периферическими диаграммами в различных модификациях.

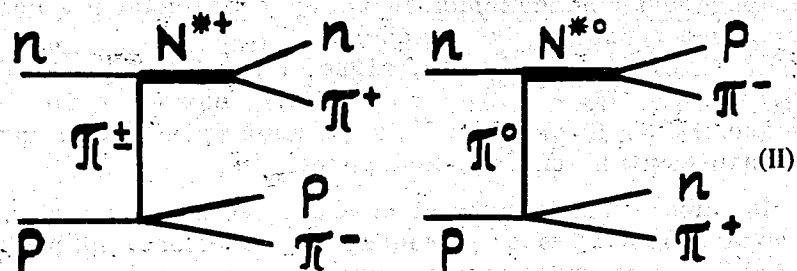
Ввиду выделенности π -мезонного полюса /близость к физической области, большая константа связи πN / мы будем проводить сопоставление с ОРЕ-диаграммами. Однако уже в области энергий > 5 ГэВ нельзя исключить вклада померонного обмена /7,8/. Поэтому при обсуждении данных мы будем привлекать и непериферическую диаграмму с обменом помероном.

Образованию изобар Δ^{++} и Δ^- в реакции /1/ можно сопоставить диаграммы:



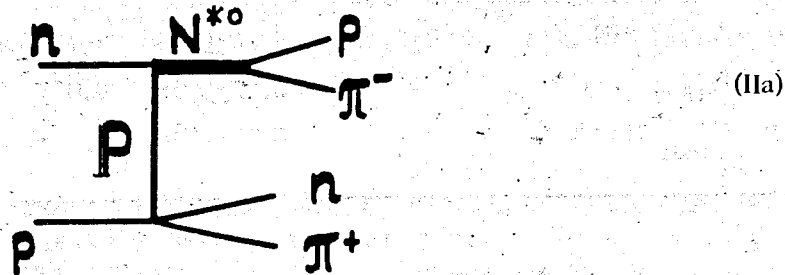
Диаграммы типа (I) показывают образование Δ -изобар при обмене π -мезоном. В настоящей работе мы не обсуждаем возможный вклад диаграмм с "экзотическим" обменом, когда изобара Δ^{++} образуется в верхнем узле диаграмм типа (I). Этот вопрос будет рассмотрен в специальной публикации.

Другая группа диаграмм связана с образованием и распадом нуклонных изобар в другие изотопические состояния:

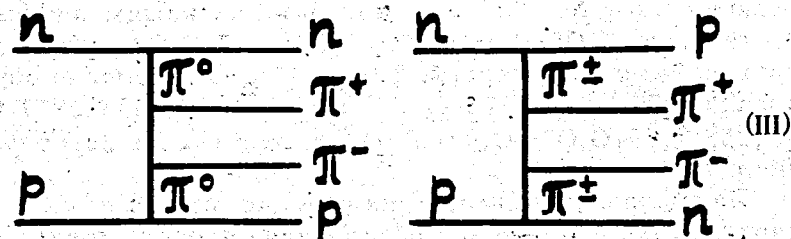


Конечно, изобары могут образоваться и в нижних и одновременно в обоих узлах диаграмм типа (II).

К диаграммам типа (II) необходимо добавить диаграммы с обменом помероном. Как мы заметили в своих более ранних работах /7,8/, вклад полюса Померанчука может быть значительным. Поэтому необходимо учесть диаграммы типа



Наконец, по мере увеличения энергии может возрастать роль диаграмм мультипериферического типа:



На рис. 1 представлено распределение масс $p\pi^+$ -комбинаций для трех указанных выше интервалов энергий /распределения масс $n\pi^-$ -подобны/. Аппроксимация

распределений производилась набором резонансных кривых для изобар с массами Δ_{1236} , N_{1520}^* , N_{1688}^* $M_{01}=1236$, $\Gamma_{01}=135$, $M_{02}=1520$, $\Gamma_{02}=135$, $M_{03}=1688$, $\Gamma_{03}=130$, взятых в форме, предложенной Джексоном^{/9/}, и фазовой кривой. Все кривые взвешены по спектру нейтронов.

В табл. 1 представлены сечения различных реакций с образованием изобар /изобары распадаются на $p\pi^+$ или $n\pi^-$ /. Сечения даны в миллибарнах, как и во всех других таблицах.

Таблица 1

P_n (ГэВ/с)	2+5	5+8	8+11
$p \rightarrow \Delta_{1236} N\pi(N^*)$	$3,20 \pm 0,18$	$1,29 \pm 0,08$	$1,15 \pm 0,09$
$p \rightarrow N_{1520}^* N\pi(N^*)$	-	$0,22 \pm 0,08$	$0,07 \pm 0,09$
$p \rightarrow N_{1688}^* N\pi(N^*)$	-	$0,07 \pm 0,08$	$0,11 \pm 0,08$

В табл. 1 значок (N*) указывает, что в системе $N\pi$ может также происходить образование различных изобар. Поэтому сечение для Δ_{1236} содержит и канал реакции $p \rightarrow \Delta^{++} \Delta^-$, который, по нашим оценкам, составляет: $1,05 \pm 0,10$; $0,30 \pm 0,04$; $0,17 \pm 0,04$ мбарн для трех интервалов энергий. Таким образом, сечение образования одиночной Δ_{1236}^{++} изобары составляет $2,15 \pm 0,21$; $0,99 \pm 0,09$; $0,98 \pm 0,10$ мбарн в тех же интервалах энергий.

Изотопическая симметрия реакции $p \rightarrow p\pi^+\pi^-$ говорит о том, что сечение образования изобары в системе $p\pi^+$ равно сечению образования изобары в системе $p\pi^-$. Средние полные сечения реакции /1/ равны соответственно 5,8; 4 и 4,2 мбарн. Тогда реакция /1/ в первом энерге-

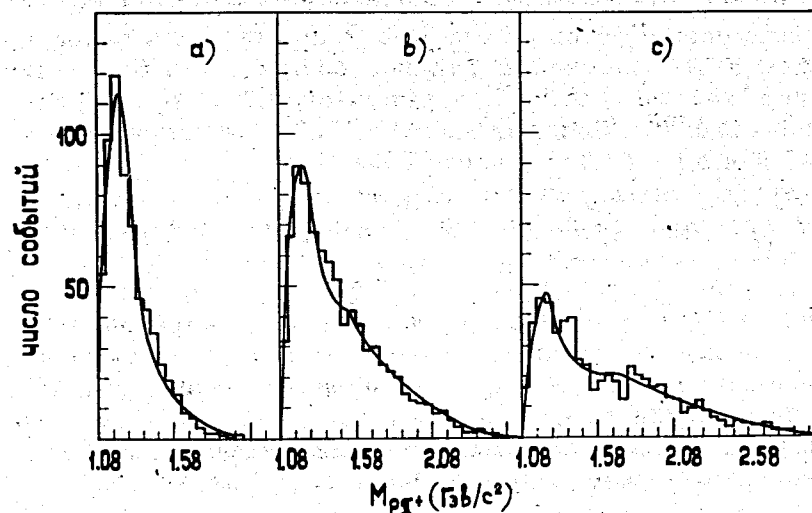


Рис. 1. Распределение масс $p\pi^+$ -комбинаций для трех интервалов энергий: а/ $P_n = 2 \div 5$ ГэВ/с; в/ $P_n = 5 \div 8$ ГэВ/с; с/ $P_n = 8 \div 11$ ГэВ/с.

тическом интервале почти полностью происходит как квазидвухчастичная и трехчастичная.

Для сравнения в табл. 2 приведены полные сечения и сечения тех же каналов реакций из работ /2,3,4/.

Таблица 2

P_n (ГэВ/с)	3,7	5,9	6,98
$p \rightarrow N^{*++} n\pi^-$	$2,52 \pm 0,40$	$0,39 \pm 0,07$	-
$p \rightarrow \Delta^{++} \Delta^-$	$1,55 \pm 0,25$	$1,90 \pm 0,14$	$1,10 \pm 0,20$
tot $p \rightarrow p\pi^+\pi^-$	$6,3 \pm 1,0$	$4,75 \pm 0,25$	$3,72 \pm 0,22$

Видно, что хотя полные сечения реакции $p\pi^+\pi^-$ хорошо согласуются с нашими сечениями, сечения квазидвух- и трехчастичных каналов согласуются более или менее хорошо только при импульсе 3,7 ГэВ/с и резко отличаются при больших энергиях. В работах при импульсе 5,9 и 6,98 ГэВ/с сечение канала $p\pi^+\pi^-$ значительно меньше сечения, полученного нами. По-видимому, это произошло за счет завышения сечения канала $p\pi^+\Delta^-$.

На рис. 2 представлены дифференциальные распределения dN/dt для случаев, содержащих изобары Δ_{1236} в системах $p\pi^+$ или $n\pi^-$. Передачи t считаются от начального нейтрона к Δ^- или от начального протона к Δ^{++} . Распределения $t_n \rightarrow \Delta^-$ и $t_p \rightarrow \Delta^{++}$ подобны. Поэтому они сложены вместе. В распределения включены и случаи с двойным образованием Δ . Распределения, аппроксими-

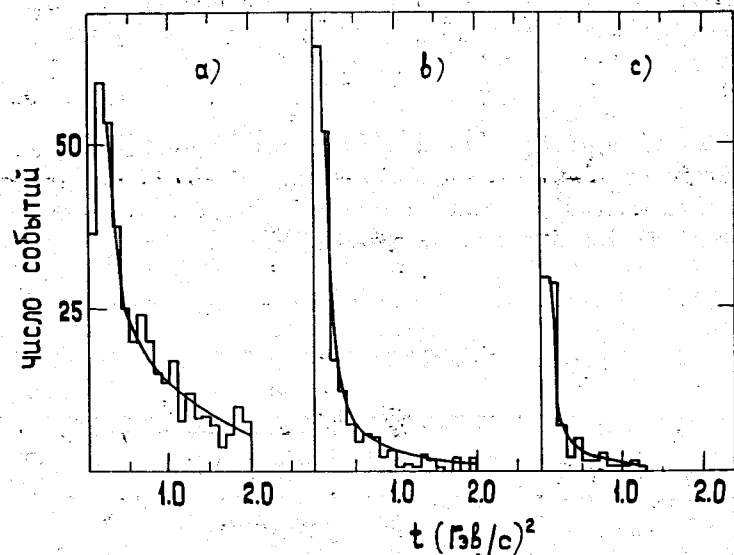


Рис. 2. Распределения dN/dt для случаев, содержащих изобары в системах $p\pi^+$ или $n\pi^-$. Построены передачи от n к Δ^- или от p к Δ^{++} . а/ $P_n = 2 \div 5$; в/ $P_n = 5 \div 8$; с/ $P_n = 8 \div 11$ ГэВ/с.

ровались функцией вида $A_1 e^{-b_1|t|} + A_2 e^{-b_2|t|}$. Значения величин b и A даны в табл. 3.

Таблица 3

P_n (ГэВ/с)	b_1 (ГэВ/с) ⁻²	b_2 (ГэВ/с) ⁻²	A_1 (ГэВ/с) ⁻²	A_2 (ГэВ/с) ⁻²
2-5	$12^{+0,6}_{-0,5}$	$0,9^{+0,7}_{-0,7}$	533^{+145}_{-147}	$34^{+22,7}_{-15,2}$
5-8	$10,4^{+0,6}_{-0,5}$	$1,1^{+1,7}_{-1,4}$	208^{+35}_{-33}	$9,5^{+5,7}_{-6,2}$
8-11	$23^{+1,0}_{-0,7}$	$1,9^{+4,1}_{-3,2}$	722^{+150}_{-181}	$7,2^{+5,3}_{-5,3}$

Хотя параметры второй экспоненты с малым наклоном определяются недостаточно точно из-за малой статистики, описание распределений только одной экспонентой дает слишком плохое значение χ^2 . Из табл. 3 видна тенденция к увеличению наклонов с ростом энергии.

Дальнейший анализ реакции /1/ мы проводим в терминах диаграмм (II) и (IIa). Для этого из общей статистики исключены случаи с образованием изобар Δ_{1236} ,

Таблица 4

P_n	(ГэВ/с)	2+5	5+8	8+11
$p\pi^+ \rightarrow \Delta^0 n\pi^+$	$P_f \pi^-$	$0,36 \pm 0,08$	$0,57 \pm 0,05$	$0,81 \pm 0,07$
$p\pi^+ \rightarrow N_{1470}^* n\pi^+$	$P_f \pi^-$	-	$0,47 \pm 0,06$	$0,60 \pm 0,08$
$p\pi^+ \rightarrow N_{1688}^* n\pi^+$	$P_f \pi^-$	-	$0,10 \pm 0,06$	$0,18 \pm 0,08$

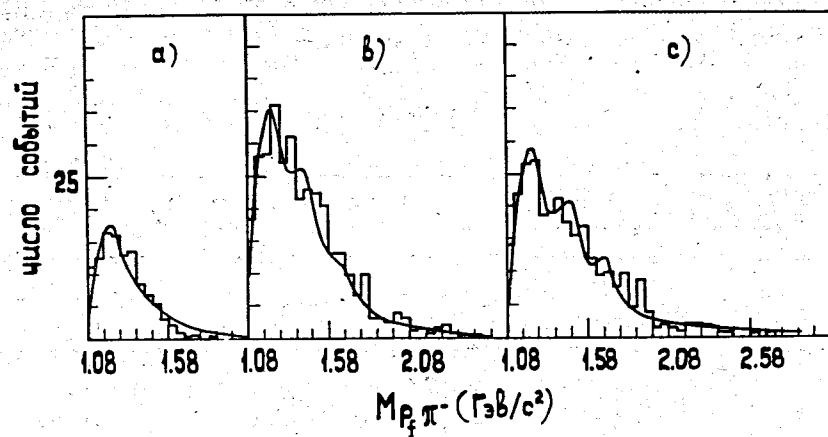


Рис. 3. Распределения эффективных масс $\rho^0 \pi^-$ -комбинаций: а/ $P_n = 2 \div 5$; в/ $P_n = 5 \div 8$; с/ $P_n = 8 \div 11$ ГэВ/с .

распадающихся на $\rho \pi^+$ или $\pi \pi^-$ /случай, где хотя бы одна из комбинаций $\rho \pi^+$ или $\pi \pi^-$ имела массу $1236 \pm 120 \text{ МэВ/с}^2$ /.

Оставшиеся события разбиты на 2 группы: с быстрым протоном в лаб. системе (ρ_f) и с медленным протоном (ρ_s)/случай с быстрым протоном $P_p > P_n$ /.

На рис. 3 представлены распределения эффективных масс $\rho_f \pi^-$ -комбинаций / $\rho_s \pi^+$ - аналогичны/. В табл. 4 показаны сечения образования изобар, полученные из этих распределений.

В табл. 5 приведены сечения образования изобар, определенные из комбинаций $\rho_s \pi^-$ /не показаны/.

Таблица 5

P_n	(ГэВ/с)	2+5	5+8	8+11
$n p \rightarrow \Delta^0 n \pi^+ \rightarrow \rho_s \pi^-$		$0,18 \pm 0,07$	$0,06 \pm 0,03$	$0,06 \pm 0,02$
$n p \rightarrow N_{1520}^* n \pi^+ \rightarrow \rho_s \pi^-$		-	$0,06 \pm 0,03$	$0,05 \pm 0,03$

Как и ожидалось, ход сечения образования Δ^0 в системе $\rho_s \pi^-$ такой же, как в случае образования Δ в системах $\rho \pi^+$ или $\pi \pi^-$ /в обоих случаях - обмен π -мезоном/. Ход сечения в системе $\rho_f \pi^-$ совершенно другой, и, по-видимому, $\rho_f \pi^-$ -комбинации - ложные, а не истинные Δ . В системах $\rho_f \pi^-$ мы ожидаем образования изобар N_{1470}^* и N_{1688}^* с обменом помероном /диаграмма III / . Сечения образования этих изобар растут от порога, а затем должны стать более или менее постоянными. Подобную картину мы наблюдаем из табл. 4.

С другой стороны, при увеличении энергии можно ожидать роста вклада диаграмм типа (III), причем для случаев с быстрым протоном можно ожидать образования ρ^0 -мезона, распадающегося затем на $\pi^+ \pi^-$. На рис. 4 представлены распределения масс $\pi^+ \pi^-$ -комбинаций для случаев с медленным /4а/ и с быстрым /4в/ протоном. В обоих случаях от руки проведен плавный

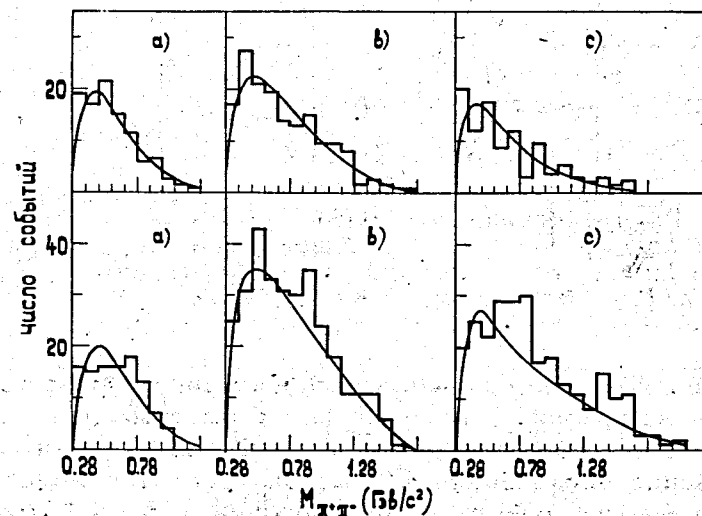


Рис. 4. Распределение эффективных масс $\pi^+ \pi^-$ -комбинаций. Верхний рисунок - для случаев с медленным протоном, нижний - для случаев с быстрым протоном: а/ $P_n = 2 \div 5$; в/ $P_n = 5 \div 8$; с/ $P_n = 8 \div 11$ ГэВ/с .

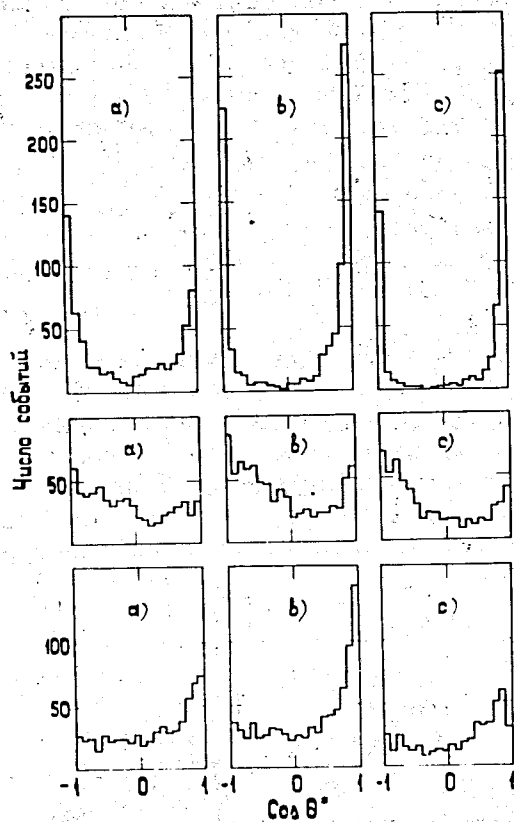


Рис. 5. Распределения $dN/d\cos\theta^*$ для всех случаев реакции $pr \rightarrow pr \pi^+ \pi^-$ в общей с.ц.м. Верхний ряд - протоны, далее - π^+ , нижний ряд - π^- -мезоны; а/ $P_n = 2 \div 5$; в/ $P_n = 5 \div 8$; с/ $P_n = 8 \div 11$ ГэВ/с.

“фон”. Видно ясное отличие в распределениях. Можно заключить из графиков, что в случаях с быстрым протоном действительно образуется ρ^0 -мезон. Оценки показывают, что сечение образования ρ^0 -мезона растет с энергией и равно 48 ± 16 мкбарн при импульсе $5 \div 8$ ГэВ/с и 150 ± 30 мкбарн при импульсе $8 \div 11$ ГэВ/с. Эти данные не противоречат результатам работы /10/.

На рис. 5 представлены угловые распределения частиц для всех случаев /5а-протоны, 5в - π^+ , 5с - π^- /

в общей с.ц.м. На рис. 6 - угловые распределения частиц для случаев, когда исключено образование Δ^{++} или Δ^- . В пределах двойных ошибок коэффициенты асимметрии для π^+ совпадают по модулю с коэффициентами для π^- , что и должно быть из-за изотопической симметрии реакции /1/. С увеличением энергии протоны и π^- -мезоны больше вытягиваются вперед, что не противоречит изложенному выше анализу образования изобар через диаграммы I, II, III. Более сильно вытянутые распределения для случаев без Δ соответствуют процессам, описываемым диаграммами II, III.

В табл. 6, 7 сведены воедино все коэффициенты асимметрии $a = \frac{F-B}{F+B}$.

Таблица 6 (все случаи)

P_n (ГэВ/с)	2+5	5+8	8+11
p	$-0,075 \pm 0,040$	$0,254 \pm 0,035$	$0,974 \pm 0,040$
π^+	$-0,210 \pm 0,040$	$-0,264 \pm 0,035$	$-0,340 \pm 0,040$
π^-	$0,260 \pm 0,040$	$0,300 \pm 0,035$	$0,464 \pm 0,040$

Таблица 7 (все случаи без Δ)

P_n (ГэВ/с)	2+5	5+8	8+11
p	$0,05 \pm 0,07$	$0,350 \pm 0,045$	$0,450 \pm 0,050$
π^+	$-0,10 \pm 0,07$	$-0,280 \pm 0,045$	$-0,430 \pm 0,050$
π^-	$0,10 \pm 0,07$	$0,360 \pm 0,045$	$0,600 \pm 0,050$

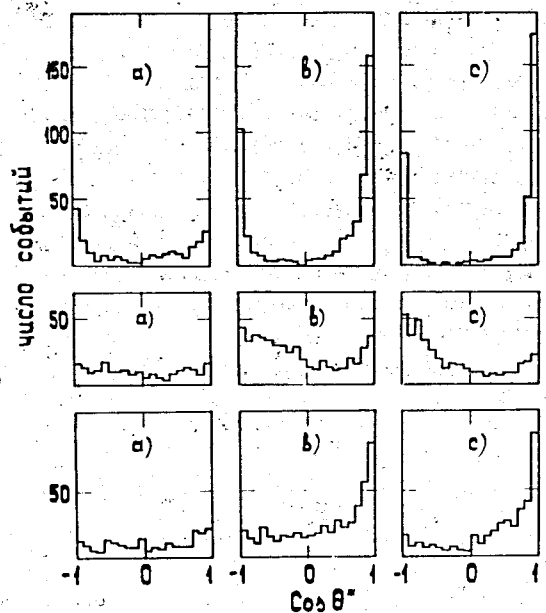


Рис. 6. Распределения $dN/d\cos\theta^*$ для случаев реакции $pp \rightarrow pp \pi^+ \pi^-$, когда исключено образование изобар Δ^{++} и Δ^- . Верхний ряд - протоны, далее - π^+ , нижний ряд - π^- -мезоны. а/ $P_n = 2 \div 5$; в/ $P_n = 5 \div 8$; с/ $P_n = 8 \div 11$ ГэВ/с.

Из изложенного можно сделать следующие выводы. Реакция $pp \rightarrow pp \pi^+ \pi^-$ происходит в интервале энергий до 5 ГэВ в подавляющем большинстве случаев через одиночное или двойное образование изобар в системах $p\pi^+$ или $p\pi^-$. При увеличении энергии возрастает роль периферических диаграмм с обменом полюсом Померанчука. Увеличивается также вклад диаграмм мультипериферического типа, в которых возможно образование ρ^0 -мезона.

Авторы выражают благодарность лаборантам нейтрон-ной группы и И.А.Первушиной за изготовление рисунков.

Литература

1. D.C.Bunt et al. PR, 187, 1856 (1969).
2. H.O.Cohn et al. Nucl.Phys., B21, 505 (1970).
3. A.R.Kirschbaum and E.Colton. PR (D), 7, 1324 (1973).
4. A.Shapira et al. Nucl.Phys., B23, 583 (1970).
5. В.И.Мороз, А.В.Никитин, Ю.А.Троян. ЯФ, т. 9, вып. 4, 792 /1969/.
6. А.П.Гаспарян, А.В.Никитин, Ю.А.Троян. ЯФ, т. 14, вып. 4, 764 /1971/.
7. А.П.Гаспарян, А.В.Никитин, Ю.А.Троян. ЯФ, т. 12, вып. 5, 987 /1970/.
8. А.П.Гаспарян и др. Сообщение ОИЯИ, 1-6211, Дубна, 1972.
9. J.D.Jackson. Nuovo Cim., XXXIV, 1644 (1964).
10. G.Yekutieli et al. PL, 34B, 101 (1971).

Рукопись поступила в издательский отдел
25 марта 1974 года.