

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



7826

Экз. чит. зала
1 - 7826

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

ИССЛЕДОВАНИЕ
МЕХАНИЗМА ДВОЙНОГО ОБРАЗОВАНИЯ Δ 1236
В РЕАКЦИИ $np - np \pi^+ \pi^-$
В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ 2 ÷ 10 ГЭВ

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1 - 7826

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

ИССЛЕДОВАНИЕ
МЕХАНИЗМА ДВОЙНОГО ОБРАЗОВАНИЯ Δ 1236
В РЕАКЦИИ $np - np \pi^+ \pi^-$
В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ 2-10 ГЭВ

Направлено в ЯФ

Одним из возможных каналов реакции $p \rightarrow p \pi^+ \pi^-$ /2/ является канал с образованием двойной изобары $p \rightarrow \Delta^{++} \Delta^-$ /1/. К реакции /1/ мы относили случаи, в которых эффективные массы $p \pi^+$ и $p \pi^-$ одновременно находились в области $/1236 \pm 120/ \text{ МэВ}/c^2$. Эти события были разбиты на 3 группы в зависимости от импульса падающих нейтронов $/2-5; 5-8; 8-11 \text{ ГэВ}/c/$ со средними импульсами 3,6; 6,6 и 9,1 $\text{ГэВ}/c/$, как и при анализе реакции /2/ /1/. В результате событий реакции $p \rightarrow \Delta^{++} \Delta^-$ оказалось в первом импульсном интервале - 116, во втором - 62, в третьем - 23.

Распределение эффективных масс $p \pi^+$ - комбинаций из реакции /2/ представлено на рис. 1 /распределения

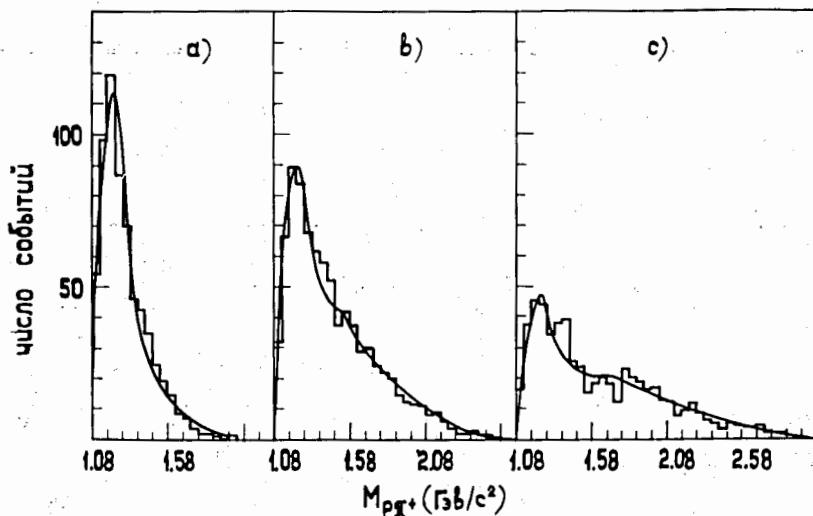


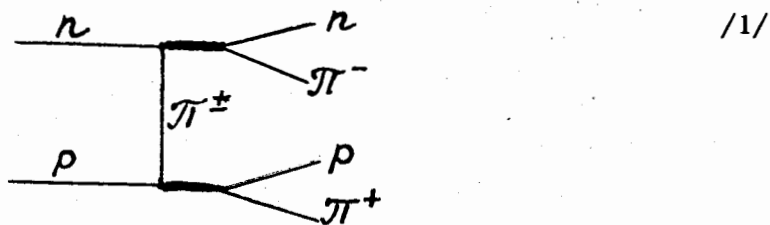
Рис. 1. Распределение масс $p \pi^+$ - комбинаций для трех интервалов энергий: а/ $P_n = 2 \div 5 \text{ ГэВ}/c/$; в/ $P_n = 5 \div 8 \text{ ГэВ}/c/$; с/ $P_n = 8 \div 11 \text{ ГэВ}/c/$.

$M_{n\pi}$ - подобны/. Аппроксимация распределений производилась набором резонансных кривых в форме Джексона ^{/2/} и фазовой кривой. Массы и ширины резонансов взяты равными 1236 ± 120 , 1520 ± 135 и 1688 ± 130 МэВ/с². Из графика ясно видно образование изобары Δ^{++} , распадающейся на p и π^+ . Сечения реакции $p\pi \rightarrow \Delta^{++}\Delta^-$ представлены в табл. 1.

Таблица 1

| P_n | (ГэВ/с) | 2+5 | 5+8 | 8+11 |
|---|---------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $\sigma_{p\pi \rightarrow \Delta^{++}\Delta^-}$ (мбарн) | | $1,05 \pm 0,10$ | $0,30 \pm 0,04$ | $0,17 \pm 0,04$ |

Реакции /1/ можно сопоставить диаграмму однопионного обмена



Энергетический ход сечения, соответствующего такой диаграмме, должен подчиняться закону P_n^{-2} , как это следует из модели Редже.

На рис. 2 мы приводим сечения, взятые из табл.1, вместе с кривой P_n^{-2} . Видно, что наши данные превосходно ложатся на предполагаемую зависимость. На том же графике мы нанесли точки, взятые из работ ^{/3-5/}. Эти данные довольно сильно отличаются от наших и теоретической кривой.

Наиболее интересным вопросом, касающимся реакции с образованием двух изобар, является вопрос о возможном существовании экзотического обмена с $Q=2$. Можно на-

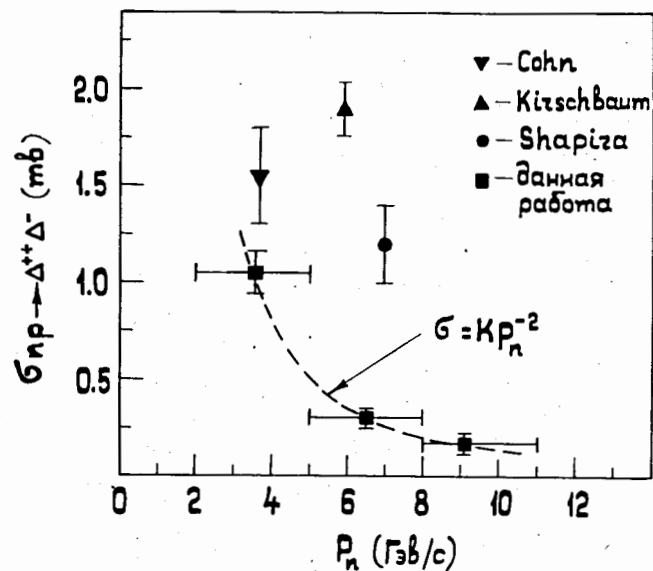
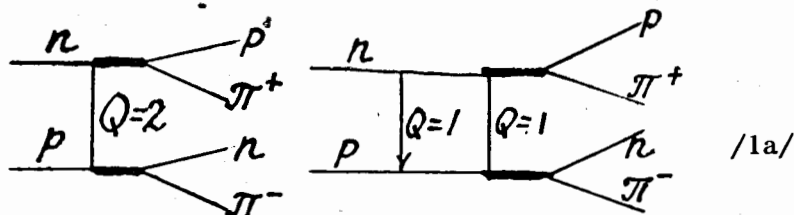


Рис. 2. Сечение реакции $p\pi \rightarrow \Delta^{++}\Delta^-$.

рисовать диаграммы, в которых изобара Δ^{++} образуется в верхнем узле:



Таким образом, возможен либо обмен частицей с $Q=2$, либо последовательный обмен двумя частицами, каждая с $Q=1$. В принципе процессы, описываемые этими двумя диаграммами, должны иметь различное энергетическое поведение.

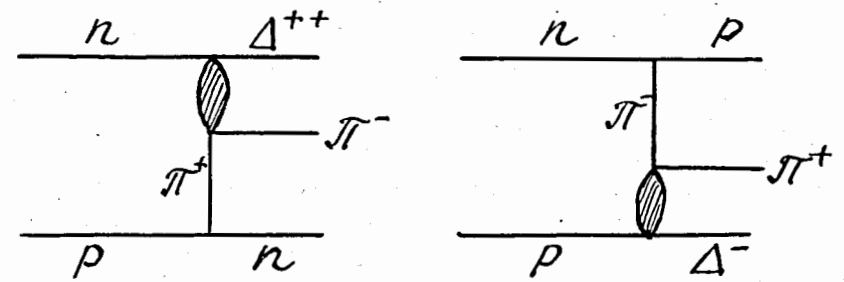
Как отметили впервые Cohn и др. ^{/6/}, распределения по передаче t от системы $\Delta^{++} \rightarrow (p\pi^+)$ к p / или от $\Delta^- \rightarrow (n\pi^-)$ к n / имеют две ярко выраженные группы больших и малых передач. На этом основании авторы рабо-

ты /6/ и пришли к выводу о существовании экзотического обмена. Такой же вывод делают и авторы работы /5/.

На рис. 3 мы представляем t -распределения для случаев реакции /1/. Ясно видны две группы событий, имеющих малые и большие передачи от Δ^{++} к n / и соответственно от Δ^- к p /. "Экзотическими" событиями в дальнейшем будем называть события с малыми передачами от Δ^{++} к n . Доля малых передач для всех импульсных интервалов составляет $\sim 30-40\%$. Сечение реакции $np \rightarrow \Delta^{++}\Delta^-$, где Δ^{++} образуется в верхнем узле диаграммы 1а, равно $\sim 0,13$ мбарн при импульсе 6,6 ГэВ/с, что согласуется со значением, полученным при облучении дейтериевой камеры протонами с импульсом 6,98 ГэВ/с /5/. Однако доля таких событий по отношению к "неэкзотическим" случаям /диаграмма 1/ у нас значительно больше, чем в работе /5/ / в нашей

работе $\delta = \frac{N(np \rightarrow \Delta^{++}\Delta^-)}{N(np \rightarrow \Delta^-\Delta^{++})} \sim 0,75$, в работе /5/ - 0,08/.

Berger /7/ объяснял этот "экзотический" обмен /диаграмма 1а/ двумя ОРЕ-диаграммами с образованием одиночных Δ -изобар, а именно:



В расчет по обычной ОРЕ-схеме была вставлена амплитуда процесса $\pi^-p \rightarrow \pi^+\Delta^-$, взятая из эксперимента. Были получены сечения для псевдопроцесса $rp \rightarrow \Delta^-\Delta^{++}$, равные 0,30; 0,12; 0,06 мбарн для импульсов 3,7; 7 и 10 ГэВ/с. Наши данные 0,38; 0,13 и 0,04 мбарн находятся в неплохом согласии с расчетами Berger'a.

В настоящей работе мы дадим несколько другое объяснение эффектам образования двойных изобар. Для этого обратимся к распределениям масс $p\pi^+\pi^-$ и $n\pi^+\pi^-$ комбинаций. На рис. 4 представлены распределения масс

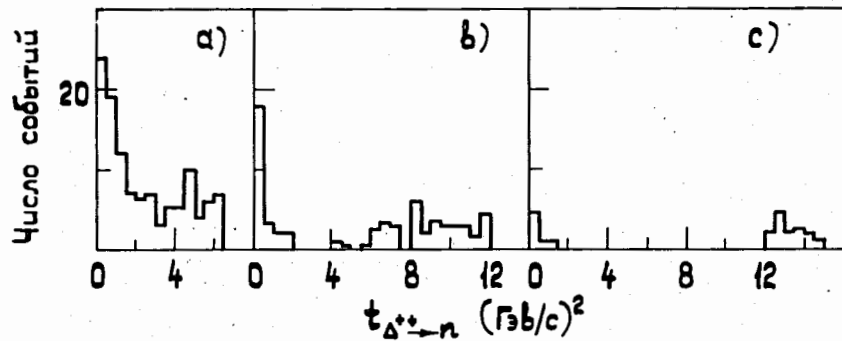


Рис. 3. Распределение dN/dt от Δ^{++} к n для случаев, в которых эффективные массы $p\pi^+$ и $n\pi^-$ комбинаций лежат в области 1236 ± 120 МэВ/с²: а/ $P_n = 2 \div 5$ ГэВ/с; в/ $P_n = 5 \div 8$ ГэВ/с; с/ $P_n = 8 \div 11$ ГэВ/с.

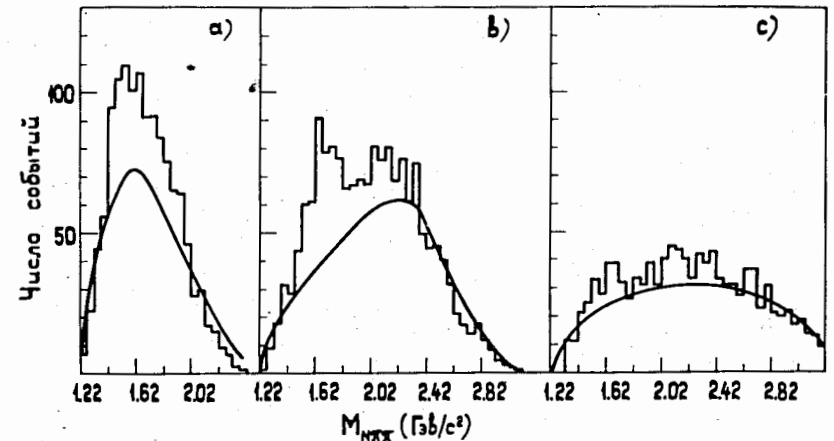


Рис. 4. Распределение эффективных масс $p\pi^+\pi^-$ и $n\pi^+\pi^-$ комбинаций для всех случаев реакции $np \rightarrow np\pi^+\pi^-$: а/ $P_n = 2 \div 5$ ГэВ/с; в/ $P_n = 5 \div 8$ ГэВ/с; с/ $P_n = 8 \div 11$ ГэВ/с.

$p\pi^+\pi^-$ и $n\pi^+\pi^-$ -комбинаций для всех случаев реакции $pr \rightarrow pr\pi^+\pi^-$ /2/. Кривая - фазовая для двух процессов $pr \rightarrow pr\pi^+\pi^-$ и $pr \rightarrow \Delta p\pi$. Обращает на себя внимание особенность в районе масс /1500-1700/ $MэВ/c^2$. На следующем рисунке приводится распределение масс тех же комбинаций, но в случаях, где хотя бы одно значение масс $p\pi^+$ или $n\pi^-$ попало в область /1236±120/ $MэВ/c^2$. Кривая - фазовая для процесса $pr \rightarrow \Delta p\pi$. Видно относительное возрастание особенности в районе масс /1500-1700/ $MэВ/c^2$, которое наблюдается при всех энергиях. Такой же вид имеют распределения для событий с одновременным рождением двух изобар - реакция /1/ /см. рис. 6/. В то же время в распределениях $p\pi^+\pi^-$ и $n\pi^+\pi^-$ для событий, где ни одна из масс $p\pi^+$ и $n\pi^-$ не попадает в область Δ , никаких особенностей нет. Это демонстри-

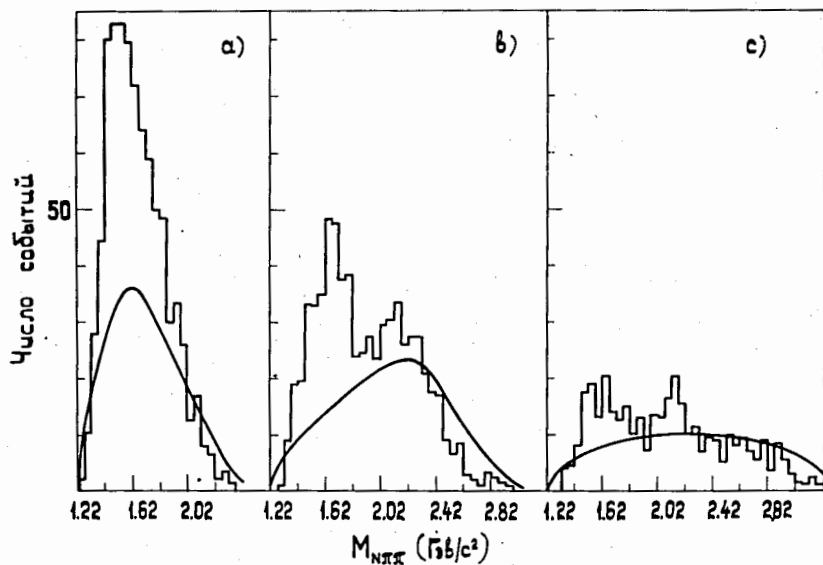


Рис. 5. Распределение эффективных масс $p\pi^+\pi^-$ и $n\pi^+\pi^-$ -комбинаций для случаев, в которых хотя бы одна из масс $p\pi^+$ или $n\pi^-$ лежит в области /1236±120/ $MэВ/c^2$: а/ $P_n = 2 \div 5$ $ГэВ/c$; в/ $P_n = 5 \div 8$ $ГэВ/c$; с/ $P_n = 8 \div 11$ $ГэВ/c$.

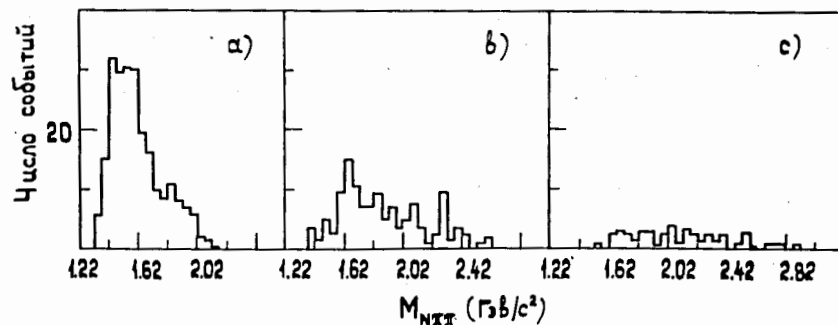


Рис. 6. Распределение эффективных масс $p\pi^+\pi^-$ и $n\pi^+\pi^-$ -комбинаций для случаев, в которых обе массы $p\pi^+$ и $n\pi^-$ лежат в области /1236±120/ $MэВ/c^2$: а/ $P_n = 2 \div 5$ $ГэВ/c$; в/ $P_n = 5 \div 8$ $ГэВ/c$; с/ $P_n = 8 \div 11$ $ГэВ/c$.

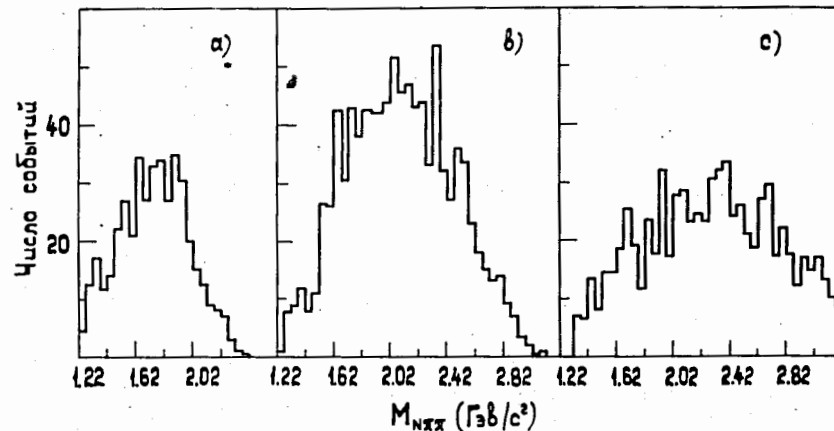
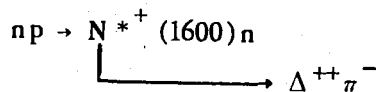


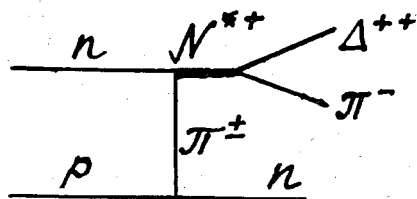
Рис. 7. Распределение эффективных масс $p\pi^+\pi^-$ и $n\pi^+\pi^-$ -комбинаций для случаев, в которых ни одна из комбинаций $p\pi^+$ или $n\pi^-$ не имеет эффективной массы /1236±120/ $MэВ/c^2$: а/ $P_n = 2 \div 5$ $ГэВ/c$; в/ $P_n = 5 \div 8$ $ГэВ/c$; с/ $P_n = 8 \div 11$ $ГэВ/c$.

руется рис. 7. Из класса событий, где наблюдается хотя бы одна комбинация $p\pi^+$ или $p\pi^-$ с массой $/1236 \pm 120/ \text{ МэВ}/c^2$, выделим случаи с "быстрым" протоном (p_f) ($P > P_n$). Это в основном соответствует большим передачам от Δ^{++} к p , т.е. диаграмме с "экзотическим" обменом /диаграмма 1а/. В распределениях тройных комбинаций для событий с p_f независимо от того, рождается ли в них одна или две Δ -изобары, особенность в области $/1500-1700/ \text{ МэВ}/c^2$ более ярко выражена /см. рис. 8,9/. В том же классе событий, но с медленным протоном p_s никаких особенностей не наблюдается /см. рис. 10,11/.

На основании этих распределений можно сделать некоторые выводы о механизме возникновения реакции с двойной изобарой в "экзотическом" и "неэкзотическом" случаях. В "экзотическом" случае эффект образования двойной изобары с p_f возникает как кинематическое отражение процесса с образованием и последующим распадом тяжелой изобары с массой в районе $/1500-1700/ \text{ МэВ}/c^2$. При этом тяжелая изобара распадается на Δ - и π^- -мезон, который с оставшимся нуклоном дает массу в районе $/1236 \pm 120/ \text{ МэВ}/c^2$. Таким образом, процесс может протекать по схеме



При этом $N^{*+}(1600)$ образуется в верхнем узле диаграммы, что соответствует случаям с p_f .



/2/

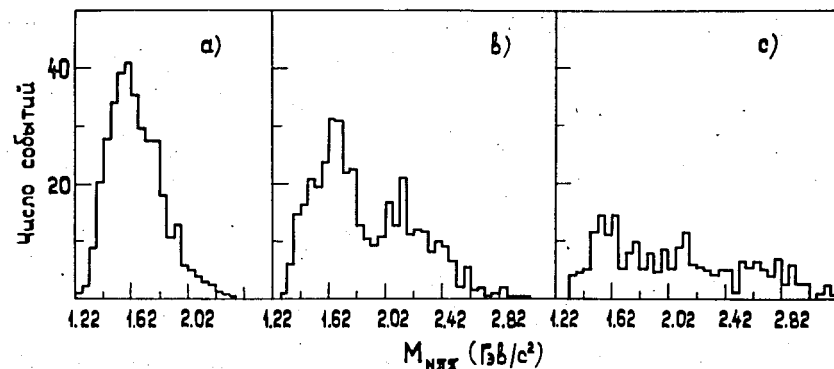


Рис. 8. Распределение эффективных масс $p\pi^+\pi^-$ и $p\pi^+\pi^-$ -комбинаций для случаев, в которых хотя бы одна из масс $p\pi^+$ или $p\pi^-$ лежит в области $/1236 \pm 120/ \text{ МэВ}/c^2$ и содержится быстрый протон p_f : $a/P_n = 2 \div 5 \text{ ГэВ}/c$; $b/P_n = 5 \div 8 \text{ ГэВ}/c$; $c/P_n = 8 \div 11 \text{ ГэВ}/c$.

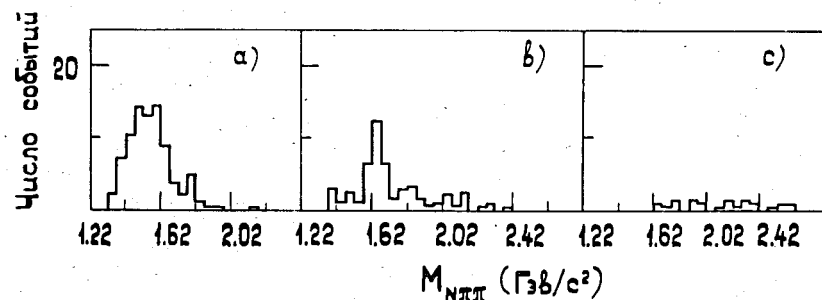
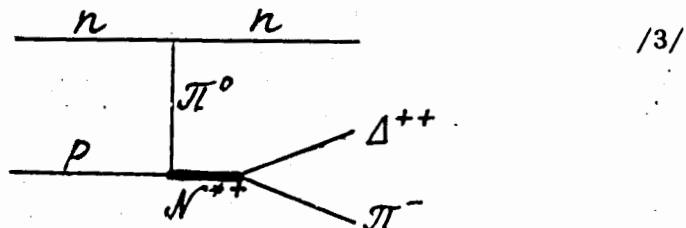


Рис. 9. Распределение эффективных масс $p\pi^+\pi^-$ и $p\pi^+\pi^-$ -комбинаций для случаев, в которых обе массы $p\pi^+$ и $p\pi^-$ лежат в области $/1236 \pm 120/ \text{ МэВ}/c^2$ и содержится быстрый протон p_f : $a/P_n = 2 \div 5 \text{ ГэВ}/c$; $b/P_n = 5 \div 8 \text{ ГэВ}/c$; $c/P_n = 8 \div 11 \text{ ГэВ}/c$.

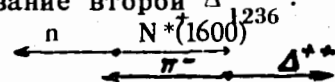
Изобара $N^{*+}(1600)$ может образоваться и в нижнем узле ОРЕ-диаграммы /случай с медленным протоном p_s /:



Однако отношение между диаграммами, которое следует из изотопических соотношений, равно $2/3$. Следовательно, образование $N^{*+}(1600)$ в случаях с медленным протоном мало, и мы не видим пика в области масс $1500-1700 \text{ МэВ}/c^2$.

С другой стороны, в случаях с образованием Δ , содержащих медленный протон, нельзя исключить обычную ОРЕ-диаграмму с образованием Δ^- в верхней и Δ^{++} в нижней вершинах /диаграмма 1/. Этой диаграмме тоже соответствует медленный протон p_s . Массы $p\pi^+\pi^-$ и $p\pi^+\pi^-$ в событиях, соответствующих такой диаграмме, могут иметь широкое распределение, что мы и наблюдаем на опыте /рис. 10,11/.

Таким образом, мы приходим к кинематической картине, объясняющей случаи "экзотического" образования двойной изобары Δ_{1236} : в верхнем узле обычной ОРЕ-диаграммы образуется тяжелая изобара с массой в районе $1600-1700 \text{ МэВ}/c^2$, которая распадается на Δ_{1236} и π -мезон. Δ_{1236} от распада этой изобары продолжает двигаться по направлению $N^{*+}(1600)$ в общей с.д.м., а π -мезон распадается в противоположном направлении. Этот π -мезон с оставшимся нуклоном имитирует образование второй Δ_{1236} . Соответствующая картинка:



Кроме этого процесса, существует "неэкзотическое" образование двух Δ_{1236} одновременно, когда Δ^{++} образуется в нижнем, а Δ^- в верхнем узлах соответствующей ОРЕ-диаграммы /см. диаграмму 1/.

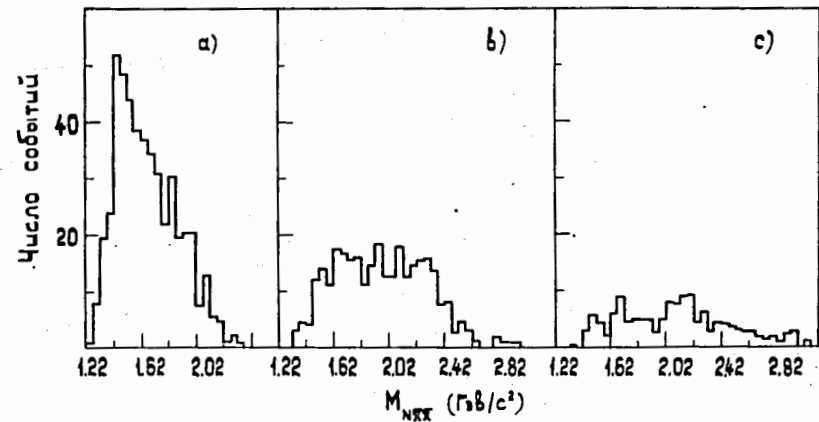


Рис. 10. Распределения эффективных масс $p\pi^+\pi^-$ - и $p\pi^+\pi^-$ -комбинаций для случаев, в которых хотя бы одна из масс $p\pi^+$ или $p\pi^-$ лежит в области $1236+120 \text{ МэВ}/c^2$ и имеется медленный протон: а/ $P_n = 2 \div 5 \text{ ГэВ}/c$; в/ $P_n = 5 \div 8 \text{ ГэВ}/c$; с/ $P_n = 8 \div 11 \text{ ГэВ}/c$.

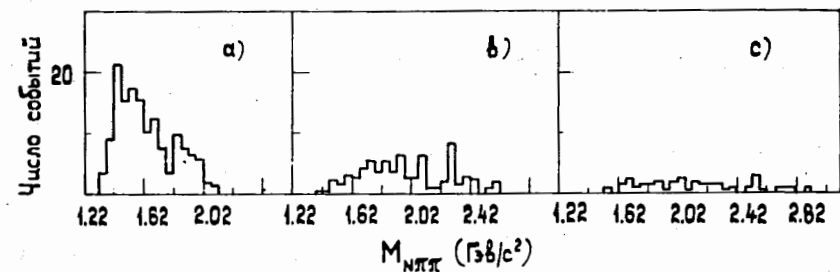


Рис. 11. Распределение эффективных масс $p\pi^+\pi^-$ - и $p\pi^+\pi^-$ -комбинаций для случаев, в которых обе массы $p\pi^+$ и $p\pi^-$ лежат в области $1236+120 \text{ МэВ}/c^2$ и имеется медленный протон p_s : а/ $P_n = 2 \div 5 \text{ ГэВ}/c$; в/ $P_n = 5 \div 8 \text{ ГэВ}/c$; с/ $P_n = 8 \div 11 \text{ ГэВ}/c$.

В рамках этого объяснения легко понять энергетический ход образования двойной изобары Δ . Мы имеем здесь дело с возникновением одной из истинных изобар Δ из распада более тяжелой изобары, образующейся при OPE-обмене, с одной стороны, и случаем истинного образования двух Δ в OPE-диаграмме, с другой. Следовательно, все случаи двойного образования Δ , ложные и истинные, должны подчиняться энергетическому ходу, предсказываемому OPE-диаграммами (P_n^{-2}).

Сечения с истинным двойным образованием Δ_{1236} /диаграмма 1/ могут быть получены вычитанием из сечений, приведенных в табл. 1, сечений для ложных случаев. Они представлены в табл. 2.

Таблица 2

| P_n | (ГэВ/с) | 2+5 | 5+8 | 8+11 |
|--|---------|-----------|-----------|-----------|
| $\sigma_{np} \rightarrow \Delta^- \Delta^{++}$ (мбарн) | | 0,53±0,10 | 0,12±0,04 | 0,12±0,04 |

В заключение можно заметить, что мы не уточняем значение массы тяжелой изобары. Мы указываем только диапазон этих масс /1500-1700/МэВ/с². В этом диапазоне найдено много различных изобар. Образование любой из них или нескольких даст тот же эффект. Подчеркнем, однако, что детальные расчеты по различным моделям могут окончательно решить проблему образования двойных изобар.

Авторы выражают благодарность лаборантам нейтронной группы и И.А.Первушиной за изготовление рисунков.

Литература

1. А.П.Гаспарян, Д.К.Копылова, А.В.Никитин, Ю.А.Троян. Сообщение ОИЯИ, 1-7825, Дубна, 1974.
2. J.D.Jackson. *Nuovo Cim.*, XXXIV, 1644 (1964).
3. H.O.Cohn et al. *Nucl.Phys.*, B21, 505 (1970).
4. A.R.Kirschbaum and E.Colton. *PR(D)*, 7, 1324 (1973).
5. A.Shapira et al. *Nucl.Phys.*, B23, 583 (1970); G.Yekytieli et al. *PRL*, 25, No. 3, 184 (1970).
6. H.O.Cohn et al. *PL*, 26B, No. 9, 598 (1968).
7. E.L.Berger and R.A.Morrow. *PRL*, 25, No. 16, 1136 (1970); E.L.Berger. *PRL*, 23, No. 19, 1139 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел
25 марта 1974 года.