

A-139



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1 - 11692

АБДИВАЛИЕВ
Абдиразак

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ $pn \rightarrow pp \pi^+ \pi^- \pi^-$,
 $pn \rightarrow pp \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0$ И $pn \rightarrow p \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^- n$
ПРИ ИМПУЛЬСЕ ПАДАЮЩИХ НЕЙТРОНОВ
($5,10 \pm 0,17$) ГэВ/с

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

Ю.А.Троян.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

В.В.Глаголев,

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

А.Г.Володько.

Ведущее предприятие: НИИЯФ МГУ, Москва.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1978 г. в _____ час. на заседании специализированного совета Д-047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Лаборатории высоких энергий.

Автореферат разослан "___" _____ 1978 г.

Ученый секретарь специализированного совета
кандидат физико-математических наук

М.Ф.Лихачев

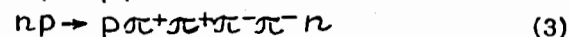
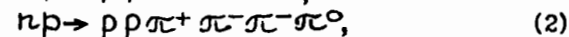
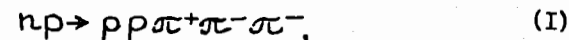
М.Ф.Лихачев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Исследование резонансов является актуальным и по сей день, т.к. замечено, что их вклад остается существенным и при очень больших энергиях, и в событиях с очень большой множественностью. Однако механизм их возникновения нелегко понять в инклюзивной постановке эксперимента в силу того, что в таком подходе происходит интегрирование по многим характеристикам взаимодействия. Поэтому нам кажется важным продолжать и развивать, насколько это позволяет экспериментальные возможности, эксклюзивный подход к исследованию различных реакций, в которых можно не только более точно установить существование резонанса, но и сопоставить выделенной реакции конкретный механизм взаимодействия.

Одной из почти неизученных проблем NN -взаимодействий является образование различных резонансов и механизмы их рождения в $n\rho$ -взаимодействиях с числом лучей > 3 .

В данной работе исследуются эксклюзивные реакции



при $P_n = (5,10 \pm 0,17) \text{ ГэВ/с.}$

Выполнение этой работы стало возможным после ускорения дейтронов в синхрофазотроне ЛЭО СИН и получения на этой основе пучков монохроматических нейтронов.

Объединенный институт
ядерных исследований
Дубна

Цель работы

I. Определение сечений различных процессов в $n\bar{p}$ -взаимодействиях, а именно:

- а) определение топологических сечений в интервале импульсов монохроматических нейтронов $(1+5)$ ГэВ/с;
- б) определение сечений различных каналов реакций в 5-лучевых звездах при $P_n = 5,1$ ГэВ/с;
- в) определение сечения рождения и исследование механизмов образования различных нуклонных изобар в реакциях (1), (2) и (3) при $P_n = 5,1$ ГэВ/с;
- г) исследование рождения ω^0 -мезона в реакции $n\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0$ при $P_n = 5,1$ ГэВ/с;
- д) поиск возможного резонанса N_{1440}^{*++} в системе $p\pi^+\pi^+$ ($n\pi^-\pi^-$) в реакции $n\bar{p} \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ при $P_n = 5,1$ ГэВ/с.

II. Исследование механизмов реакций $n\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0$ и $n\bar{p} \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ при $P_n = 5,1$ ГэВ/с.

Научная новизна и практическая ценность

В результате проделанной работы впервые получены топологические сечения $n\bar{p}$ -взаимодействий в интервале импульсов монохроматических нейтронов $(1+5)$ ГэВ/с; определены сечения различных каналов реакций в 5-лучевых звездах $n\bar{p}$ -взаимодействий при $P_n = (5,10 \pm 0,17)$ ГэВ/с и сечения рождения различных нуклонных изобар в этих выделенных реакциях; определено сечение рождения ω^0 -мезона.

С большой степенью вероятности получены масса и ширина возможного резонанса в системе $p\pi^+\pi^+$ ($n\pi^-\pi^-$) с изотопическим спином $5/2$ с третьей проекцией его $\pm 5/2$.

Помимо самостоятельного физического значения изучение характеристик $n\bar{p}$ -взаимодействий важно при исследовании процессов, происходящих в столкновениях нуклонов и ядер с ядрами, для понимания которых необходимы параметры N/N -соударений. Кроме этого, знание нейтронного фона крайне важно для экспериментов с нейтринными пучками. Все это определяет практическую ценность представленных в диссертации результатов.

Апробация работ. Основные положения работы обсуждались на семинарах НЭЖО и ЛВЭ. Часть результатов была представлена на Европейскую конференцию по физике частиц в Будапеште (июль 1977 г.).

Публикации. Основные результаты настоящей диссертации изложены в 8 работах, опубликованных частично в журнале "Nuclear Physics" и в виде сообщений ОИЯИ.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 118 страницах, включая 56 рисунков и 4 таблицы. Библиография насчитывает 55 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении дано обоснование темы, приводится краткий обзор экспериментальных данных по неупругим $n\bar{p}$ -взаимодействиям. Коротко описывается нейтронный (стриппинговый) канал ЛВЭ ОИЯИ.

В первой главе излагаются методы разделения каналов реакций в пятилучевых звездах $n\bar{p}$ -взаимодействий, полученных при облучении 1-метровой водородной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ монохроматическими нейтронами при $P_n = (5,10 \pm 0,17)$ ГэВ/с.

Просмотрено около 35 тыс. стереофотографий и найдено ≈ 5 тыс. пятилучевых звезд. Эффективность просмотра $\approx 100\%$. Средняя точность измерения $\Delta r/r \approx 3\%$. Число неизмеримых событий составляет 8%. Примесь от трехлучевых звезд с парой Далицца, которые топологически выглядят как 5-лучевые события, составляет 4%.

При разделении каналов кроме обычной χ^2 процедуры использован дополнительно, в случаях так называемых неразделенных событий, анализ распределений по асимптоте (см. I гл. диссертации), а также метод недостающих масс. Кроме того, использовались сведения об идентификации частиц по ионизации, пробегу, $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ -распаду.

Граничные значения χ^2_{2p} взяты равными 25 для реакции (1) и 12,5 для реакций (2) и (3).

Критериями правильности разделения были следующие:

1) импульсные спектры падающих на камеру нейтронов, восстановленные из выделенных реакций (1), (2) и (3), должны быть одинаковыми;

2) распределения по $\cos\theta^*$ в с.ц.м. в реакции (3) для π^+ и π^- -мезонов, а также для протонов и нейтронов должны совпадать, если π^+ рассматривать в системе координат, повернутой на 180° относительно той, в которой рассматриваются π^- -мезоны (то же самое для протонов и нейтронов);

3) распределение по величине $\alpha = (E_\alpha^* - E_n^*) / (E_\alpha^* + E_n^*)$ должно быть симметрично относительно $\alpha = 0$ в реакции (3), если

в этом канале не рождается дополнительный π^0 -мезон. Здесь E_{λ}^* , E_{π}^* - суммы энергий частиц в с.ц.м., летящих в заднюю и переднюю полусферы соответственно;

4) число событий канала $n p \rightarrow n n \pi^+ \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^-$ в 5-лучевых звездах должно быть не больше чем число семилучевых звезд;

5) число событий канала $n p \rightarrow n n \pi^+ \pi^+ \pi^- (m \pi^0)$, где $m = 0, 1, \dots$, должно быть равно числу событий каналов (1) плюс (2) в 5-лучевых звездах. Критерии 3-5 возникают из требований изотопической симметрии $n p$ -взаимодействий.

Все критерии удовлетворяются в пределах статистики.

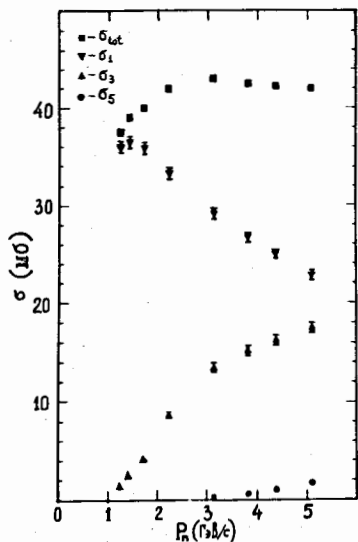


Рис. 1. Топологические сечения $n p$ -взаимодействий в диапазоне импульсов падающих нейтронов 1,2+5 ГэВ/с.

Таким образом, все события разделены между каналами реакции следующим образом:

в канале (1) - 1764 события, в канале (2) - 1149 событий, в канале (3) - 1249 событий, в канале "по fit", где рождаются 2 нейтральные частицы, - 526 событий.

Для определения топологических сечений было использовано ≈ 200 тыс. звезд. Полное число звезд (N_{tot}) при каждой энергии нормировалось на полное сечение (σ_{tot}) $n p$ -взаимодействий, известное с точностью около 1%.

Топологические сечения вычислялись по формуле:

$$\sigma_i = \frac{N_i}{N_{tot}} \cdot \sigma_{tot} \quad (4)$$

Здесь N_i - число событий данной топологии, где $i = 1, 3, 5, 7$.

На рис. 1 представлены значения топологических сечений в зависимости от импульса первичного нейтрона.

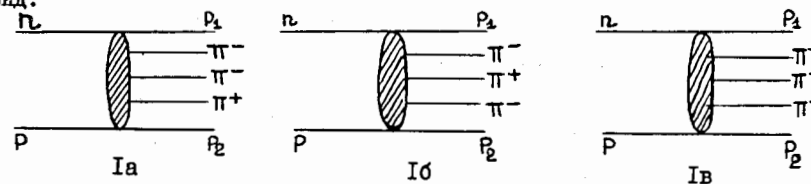
Таблица I

Реакция	Число событий	σ (мб)
$n p \rightarrow p p \pi^+ \pi^- \pi^-$	1764	$0,64 \pm 0,04$
$n p \rightarrow p p \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0$	1149	$0,39 \pm 0,03$
$n p \rightarrow p \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^- n$	1249	$0,49 \pm 0,04$
$n p \rightarrow 2$ нейтральн.	526	$0,19 \pm 0,01$
$n p \rightarrow 5$ -лучевые	4688	$1,70 \pm 0,08$

Зная число событий каждого канала, топологическое сечение пятилучевых звезд, можно определить сечение отдельного канала. Результат представлен в таблице I.

Вторая глава посвящена исследованию реакции $n p \rightarrow p p \pi^+ \pi^- \pi^-$.

Исследование образования резонансов производилось после упорядочения вторичных частиц по скорости $y \pm 1/2 \ln[(E^* + p_{\parallel}^*) / (E^* - p_{\parallel}^*)]$, вычисляемой в с.ц.м. реакции. Вторичные протоны расставлены так, чтобы $y_{p_1}^* > y_{p_2}^*$. Для π -мезонов имеем 3 перестановки в зависимости от того, на каком месте - первом, втором или третьем по скорости стоит π^+ -мезон. Соответствующие диаграммы будут иметь вид:



Эти диаграммы в данном случае являются графической иллюстрацией упорядочения по скоростям. Более высокие линии на этих диаграммах отвечают частицам с большими скоростями, причем скорости протонов сравниваются между собой, а π -мезонов - между собой.

Далее производится построение эффективных масс различных комбинаций, соответствующих упорядочениям Ia, Ib, Ic. При этом в качестве фоновых берутся соответствующие комбинации из фазового объема: например, при описании эффективной массы "медленного" протона и "медленного" π^+ -мезона (диаграмма Ia) из фазового объема

также выбираются "медленный" протон и "медленный" π -мезон. При этом полный фазовый объем не искажается (см. п. 3.1 диссертации).

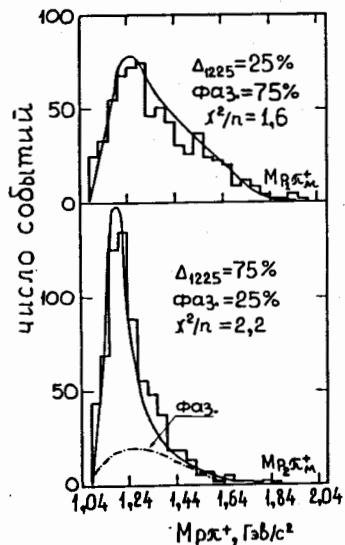


Рис. 2. Эффективные массы $\rho\pi^+$ - комбинаций, соответствующие диаграмме Ia.

На рис. 2 представлены эффективные массы $\rho\pi^+$ комбинаций, соответствующие диаграмме Ia.

Таблица 2.

Реакция	σ , мб
$n\rho \rightarrow \Delta^{++}\rho\pi^+\pi^-$	$0,42 \pm 0,03$
$n\rho \rightarrow \Delta^{++}\Delta^0\pi^-$	$0,17 \pm 0,01$
$n\rho \rightarrow \Delta^0\Delta^0\pi^+$	$0,01 \pm 0,003$
$n\rho \rightarrow \Delta^0\rho\pi^+\pi^-$	$0,01 \pm 0,003$
$n\rho \rightarrow N^*(1520) \dots$	$0,03 \pm 0,02$
$n\rho \rightarrow$ нерезонанс. фон	$0,03 \pm 0,003$

В таблице 2 показаны сечения рождения различных нуклонных изобар.

Далее исследуется механизм протекания реакции (I). В результате анализа характеристик вторичных частиц был сконструирован матричный элемент вида:

$$M^2 \sim e^{-B(y_{\text{max}} - y_1)} e^{-B(y_2 - y_{\text{min}})}, \quad (5)$$

где $y_1, y_2, y_{\text{max}}, y_{\text{min}}$ - скорости вторичных протонов и начальных нуклонов, соответственно, который хорошо описывает

большое число распределений из реакции (I) за исключением эффективных масс $N\pi$ - комбинаций, требующих введения в полный матричный элемент резонансного члена.

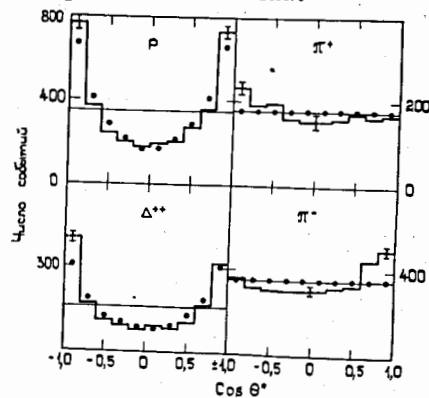


Рис. 3. Распределения по $\cos \theta^*$ в о.ц.м. для $\rho, \Delta^{++}, \pi^+, \pi^-$ из реакции $n\rho \rightarrow \rho\rho\pi^+\pi^-\pi^-$.

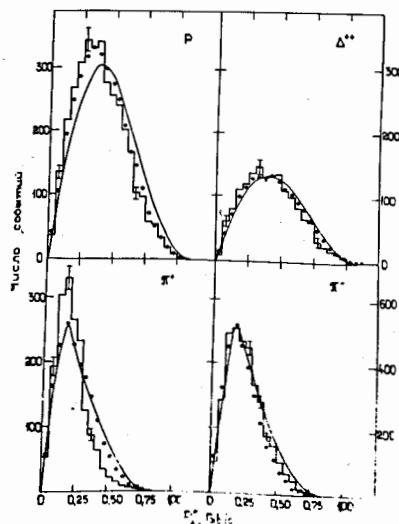


Рис. 4. Распределения по P_1 для частиц разного сорта из реакции $n\rho \rightarrow \rho\rho\pi^+\pi^-\pi^-$.

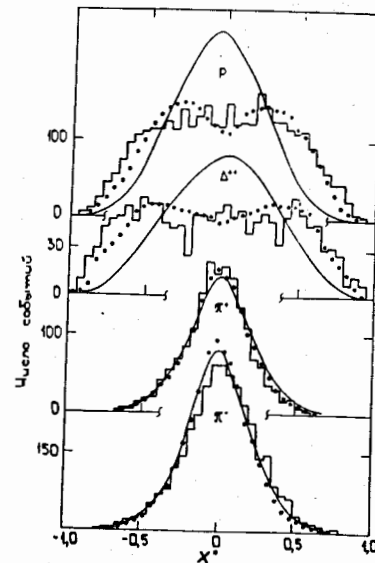


Рис. 5. Распределения по $x^* = P_1^*/P_{\text{max}}^*$ для всех вторичных частиц реакции $n\rho \rightarrow \rho\rho\pi^+\pi^-\pi^-$.

На рис. 3,4,5 представлены распределения по $\cos \theta^*$, p_1^* и χ^* для вторичных частиц реакции (1). Сплошные линии - распределения по фазовому объему, точки - результат аппроксимации выражением (5) с $B=2,25$. Кандидатами в Δ^{++} взяты $p\pi^+\pi^+$ -комбинации, массы которых заключены в интервале (1160+1300) МэВ/с².

В третьей главе исследуется реакция $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$.

Сечения образования нуклонных изобар в этой реакции также определяются с применением способа упорядочения по быстротам, как и в реакции (1).

Таблица 3

Конечное состояние	σ , мбн
$p\bar{p} \rightarrow \Delta^{++}(p\pi^+\pi^-\pi^0)$	$0,20 \pm 0,04$
$p\bar{p} \rightarrow \Delta^+(p\pi^+\pi^-\pi^-)$	$0,03 \pm 0,02$
$p\bar{p} \rightarrow \Delta^0(p\pi^+\pi^-\pi^0)$	$0,02 \pm 0,02$
$p\bar{p} \rightarrow N_{1520}^*(p\pi^+\pi^-\pi^0)$	$0,02 \pm 0,01$

В таблице 3 показаны сечения рождения различных нуклонных изобар в исследуемой реакции.

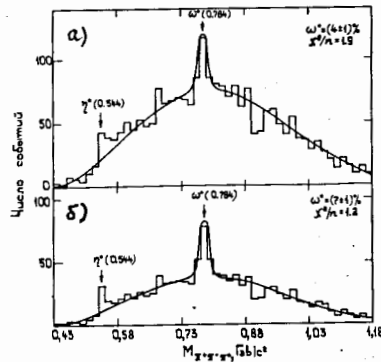


Рис. 6.

Распределение эффективных масс $\pi^+\pi^-\pi^0$ -комбинаций: а)- из всех событий реакции $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$, б)- после вычитания ложной комбинации.

На рис. 6 показаны распределения эффективных масс $\pi^+\pi^-\pi^0$ комбинаций: а)- из всех событий реакции (2); б)- после вычитания ложной комбинации (считается, что ложная комбинация распределена по фазовому объему; это, по-видимому, следует из рис. 6а, на котором все распределение, за исключением полосы массы ω^0 -мезона, хорошо описывается статистическим фоном).

Вклад ω^0 -мезона в реакцию (2) составляет $(7 \pm 1)\%$. Сечения его образования в реакции (2)

$$\sigma_{\omega^0} = (0,027 \pm 0,002) \text{ мб.}$$

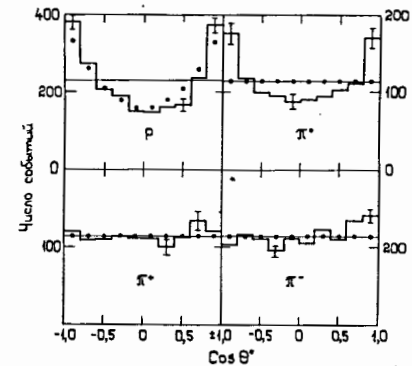


Рис. 7. Распределения по $\cos \theta^*$ в с.п.м., для всех вторичных частиц реакции $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$.

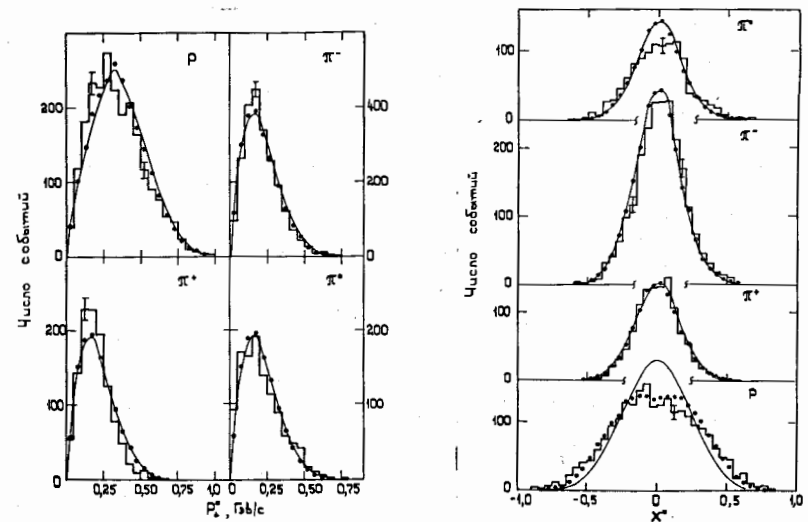


Рис. 8. Распределения по p_1^* для всех вторичных частиц реакции $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$.

Рис. 9. Распределения по $\chi^* = p_1^*/p_{\text{max}}^*$ для вторичных частиц из реакции $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$.

Из распределений, показанных на рис. 6, оценено сечение η^0 -мезона, равное $\sigma_{\eta^0} = (0,006 \pm 0,002) \text{ мб.}$

На рис. 7,8 и 9 представлены распределения по $\cos \theta^*$, p_1^* и χ^* для вторичных частиц из реакции (2). На рис. 10 представлены различные характеристики Δ^{++} из этой реакции. Сплошными линиями

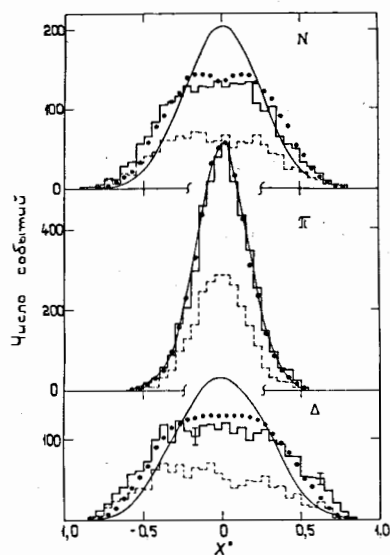


Рис. 13.
Распределения по x^* для вторичных частиц из реакции $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-n$.

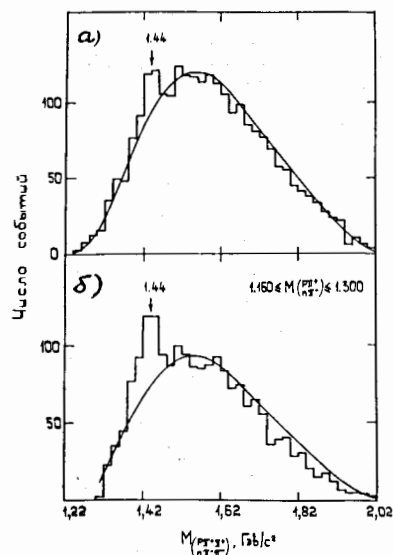


Рис. 14.
Распределение эффективных масс $p\bar{p}\pi^+\pi^+(n\pi^-\pi^-)$ -комбинаций:
а)- из всех событий реакции $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-n$,
б)- из событий, где массы $p\bar{p}\pi^+(n\pi^-)$ -комбинаций заключены в интервале $(1,160+1,300)$ ГэВ/с².

На рис. 11, 12, 13 представлены распределения по $\cos\theta^*$, P_1 и x^* для вторичных частиц из реакции (3). Распределения, изображенные точками на этих рисунках, получены по формуле (5) с $B=1,62$. На рис. 13 пунктиром обозначены распределения отдельно для положительных частиц (P , Δ^{++} , π^+).

Далее исследуется возможный резонанс в системе $p\bar{p}\pi^+\pi^+(n\pi^-\pi^-)$. В спектре эффективных масс $p\bar{p}\pi^+\pi^+(n\pi^-\pi^-)$ -комбинаций при массе $1440 \text{ МэВ}/c^2$ обнаружен пик с шириной $\Gamma \leq 60 \text{ МэВ}/c^2$. Сечение этого возможного резонанса в реакции (3) равно $(35 \pm 4) \text{ мкб}$. Показано, что эта особенность почти полностью связана с $\Delta^{++}(\Delta^-)$ -изобарой.

На рис. 14а представлено распределение эффективных масс $p\bar{p}\pi^+\pi^+(n\pi^-\pi^-)$ -комбинаций из реакции (3).

Фоновая кривая (сплошная линия) учитывает вклады от различных подпроцессов реакции (3) с весами, соответствующими таблице 4. На рис. 14б представлено распределение $p\bar{p}\pi^+\pi^+(n\pi^-\pi^-)$ -комбинаций для случаев, когда эффективная масса протона (нейтрона) хотя бы с одним $\pi^+(\pi^-)$ -мезоном лежит в области Δ ($1160 \leq M_{p\bar{p}\pi^+(n\pi^-)} \leq 1300$) $\text{МэВ}/c^2$. Фоновая кривая получена вычитанием из полной фоновой кривой (рис. 14а) фазовой кривой подпроцесс $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-n$, составляющий 16% всей реакции (3).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработаны методы разделения каналов реакций в пятилучевых звездах $n\bar{p}$ -взаимодействий в условиях облучения 1-метровой водородной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ квазимонохроматическими нейтронами с $P_n = (5,10 \pm 0,17) \text{ ГэВ}/c$.

2. При использовании полученных нами топологических сечений $n\bar{p}$ -взаимодействий определены сечения различных каналов реакции в 5-лучевых звездах при $P_n = 5,1 \text{ ГэВ}/c$.

3. С применением метода упорядочения вторичных частиц по бистротам в с.д.м. реакции определены сечения образования нуклонных изобар.

4. Показано, что во всех изученных реакциях происходит обильное рождение нуклонных изобар, в основном в системах $p\bar{p}\pi^+$ и $n\pi^-$. Доля нерезонансного фона составит 5%, менее 50%, 16% для реакций $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-$, $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-$ и $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-n$ соответственно.

5. В 7% случаев реакции $n p \rightarrow p p \pi^+ \pi^- \pi^0$ образуется ω^0 -мезон. Его рождение, вероятно, происходит через Π -мезонный обмен в реакции $n p \rightarrow p p \omega^0 \pi^-$.

6. Не найдено никаких особенностей в эффективных массах $n(p) \pi^+ \pi^-$ и $n(p) \pi^+ \pi^+ (\pi^- \pi^-)$ -комбинаций.

7. В спектре эффективных масс $p \pi^+ \pi^+ (n \pi^- \pi^-)$ -комбинаций обнаружен пик при массе 1440 МэВ/с². Эта особенность целиком связана с $\Delta^{++} (\Delta^-)$ -изобарой. Если считать ее резонансом, то ширина его $\Gamma \leq 60$ МэВ/с², а сечение образования равно (35 \pm 4) мкб.

8. Найден матричный элемент вида $M^2 \sim e^{-B(y_{\max} - y_4)} e^{-B(y_2 - y_{\min})}$, который достаточно хорошо учитывает периферический механизм исследованных реакций.

9. Изобары в реакциях в значительной доле случаев рождаются через периферический механизм.

10. Угловые распределения частиц не противоречат предположению о перерассеянии вторичных нуклонов с рождением одного Π -мезона.

Основные результаты диссертации изложены в следующих работах:

1. А. Абдивалиев и др. ОИЯИ, I-8565, Дубна, 1975;
Nucl. Phys. B99, 445, 1975.
2. А. Абдивалиев и др. ОИЯИ, I-10669, Дубна, 1977.
3. А. Абдивалиев и др. ОИЯИ, I-10916, Дубна, 1977.
4. А. Абдивалиев и др. ОИЯИ, I-11137, Дубна, 1977.
5. А. Абдивалиев и др. ОИЯИ, I-11138, Дубна, 1977.
6. А. Абдивалиев и др. ОИЯИ, PI-II614, Дубна, 1978.
7. А. Абдивалиев и др. ОИЯИ, PI-II615, Дубна, 1978.
8. А. Абдивалиев и др. ОИЯИ, PI-II616, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 июня 1978 года.