

1216/2-78

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ46.2г

A-139

13/III-78

1 - 11138

А. Абдивалиев, К. Бешлиу, А. П. Гаспарян, С. Груиа,
А. П. Иерусалимов, Д. К. Копылова, Ф. Которобай,
В. И. Мороз, А. В. Никитин, Ю. А. Троян

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СЕЧЕНИЙ

ОБРАЗОВАНИЯ РЕЗОНАНСОВ

В РЕАКЦИИ $pp \rightarrow pp \pi^+ \pi^- \pi^0$

ПРИ $P_n = 5.1$ ГэВ/с

1977

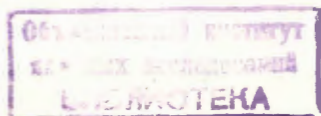
1 - 11138

А. Абдивалиев, К. Бешлиу, А. П. Гаспарян, С. Груиа,
А. П. Иерусалимов, Д. К. Копылова, Ф. Которобай,
В. И. Мороз, А. В. Никитин, Ю. А. Троян

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СЕЧЕНИЙ
ОБРАЗОВАНИЯ РЕЗОНАНСОВ

В РЕАКЦИИ $pp \rightarrow pp \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0$

ПРИ $P_n = 5,1$ ГэВ/с



Абдвалиев А. и др.

1 - 11138

Определение эффективных сечений образования резонансов в реакции $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ при $P_n = 5,1$ ГэВ/с

Определены эффективные сечения образования резонансов в реакции $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ при $P_n = (5,10 \pm 0,17)$ ГэВ/с. Основную долю рожденных резонансов составляет Δ^{++} . Обнаружено, что реакция с эффективным сечением $\sigma_{\omega^0} = (0,023 \pm 0,002)$ мб идет с образованием ω^0 -мезона.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Abdvaliev A. et al.

1 - 11138

Determination of Effective Cross Sections of the Resonance Production in the Reaction $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ at $P_n = 5,1$ GeV/c

The effective cross sections of the resonance production in the reaction $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ at $P_n = (5,10 \pm 0,17)$ GeV/c were determined. The main part of the resonances produced is Δ^{++} . It was shown that at the effective cross section $\sigma_{\omega^0} = (0,023 \pm 0,002)$ mb the reaction goes with the production of ω^0 -meson.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

Настоящая работа посвящена определению эффективных сечений образования резонансов в реакции

$np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ /1/

при импульсе падающего нейтрона $/5,10 \pm 0,17/$ ГэВ/с. События, относящиеся к реакции /1/, исследовались на пленках, полученных при облучении нейтронами $/1/$ 1-метровой водородной пузырьковой камеры ЛВЭ. Использовалось 1149 событий реакции /1/. Эффективное сечение реакции /1/ определено нами в работе $/2/$; оно равно $/0,39 \pm 0,03/$ мб.

1. ВЫДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ КОНФИГУРАЦИЙ

В работе $/3/$ мы провели анализ образования резонансов в реакции $np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^0$ с использованием метода упорядочения всех вторичных частиц по быстротам $u^* = 1/2 \ln[(E^* + P_{||}^*)/(E^* - P_{||}^*)]$, вычисленным в с.ц.м.-реакции. При таком подходе в исследовании резонансов не возникает вопроса о ложных комбинациях. В данной работе применен тот же метод. Как и в $/3/$, вторичным протонам приписываются значки p_1 и p_2 , причем $u_{p_1}^* > u_{p_2}^*$ /"быстрый" и "медленный" протоны/. Из-за наличия в конце реакции четырех π -мезонов имеется 24 строчки, в каждой из которых π -мезоны выстроены по быстротам в порядке убывания величин быстрот. π -мезонам приписаны значки "б", "с₁", "с₂", "м", что озна-

чает $y_6^* > y_{c1}^* > y_{c2}^* > y_M^*$. Из-за физической неразличимости двух π^- -мезонов в конце реакции имеется 12, а не 24, расположений по быстрым:

(1)	$p_1 \pi^+ \pi^0 \pi^- \pi^- p_2$	79
(2)	$p_1 \pi^- \pi^- \pi^0 \pi^+ p_2$	87
(3)	$p_1 \pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^- p_2$	86
(4)	$p_1 \pi^- \pi^0 \pi^- \pi^- p_2$	89
(5)	$p_1 \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0 p_2$	104
(6)	$p_1 \pi^0 \pi^- \pi^- \pi^+ p_2$	99
(7)	$p_1 \pi^0 \pi^+ \pi^- \pi^- p_2$	103
(8)	$p_1 \pi^- \pi^- \pi^+ \pi^0 p_2$	140
(9)	$p_1 \pi^- \pi^+ \pi^0 \pi^- p_2$	76
(10)	$p_1 \pi^- \pi^0 \pi^+ \pi^- p_2$	80
(11)	$p_1 \pi^- \pi^+ \pi^- \pi^0 p_2$	108
(12)	$p_1 \pi^0 \pi^- \pi^+ \pi^- p_2$	98

В этих рядах быстроты убывают слева направо. Цифры указывают числа событий каждого ряда.

Распределения по быстротам протонов и π^- -мезонов показаны на рис. 1. Обозначения ясны из текста. Распределения по быстротам для π^- -мезонов не зависят от заряда мезона. Сплошными линиями на рис. 1 обозначены распределения по быстротам, полученные из фазового объема после того, как в генерированных по фазовому объему /программа "FOWL" /4/ / событиях реакции /1/ произведено упорядочение по быстротам, такое же как на эксперименте. Видно небольшое отличие экспериментальных распределений от фазового объема для протонов и совпадение их для π^- -мезонов в пределах статистики.

12 строчек, выписанных выше, объединены в пары. Один член пары получается из другого круговой перестановкой двух крайних стоящих рядом мезонов. В

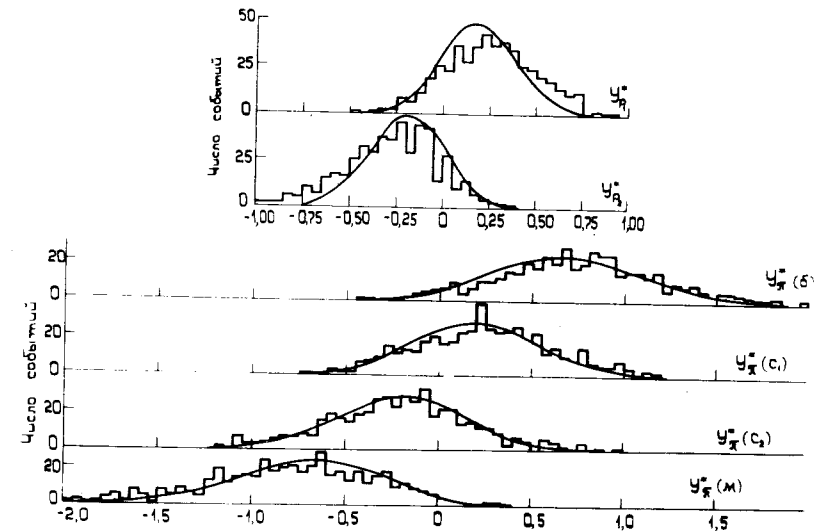


Рис. 1. Распределение по быстротам для вторичных частиц реакции $p p \rightarrow p p \pi^+ \pi^- \pi^0$.

эксперименте получено, что числа событий членов пар одинаковы в пределах статистики. Физический вопрос заключается в следующем: будут ли одинаковы распределения по эффективным массам комбинаций "быстрого" (p_1) протона и какого-либо π^- -мезона из первой парной строки и "медленного" (p_2) протона и π^- -мезона из второй парной строки, полученной из первой при круговой перестановке двух крайних стоящих рядом мезонов, например $M(p_1 \pi_6^+)$ из первой из 12 строк и $M(p_2 \pi_M^+)$ из второй? Другими словами: несут ли эффективные массы комбинаций конечных частиц какие-либо следы начального состояния в изучаемой реакции?

На рис. 2 представлены распределения эффективных масс комбинаций быстрого протона и π_{c1}^+ из строчек (7)+(9)+(11) /верхний рисунок/ и медленного протона и π_{c2}^+ из парных строчек (8)+(10)+(12) /нижний рисунок/. Аппроксимация распределений производилась резонансной кривой для Δ_{1225}^{++} с шириной $\Gamma = 140 \text{ МэВ}/c^2$ и фазовыми кривыми, которые получаются при генери-

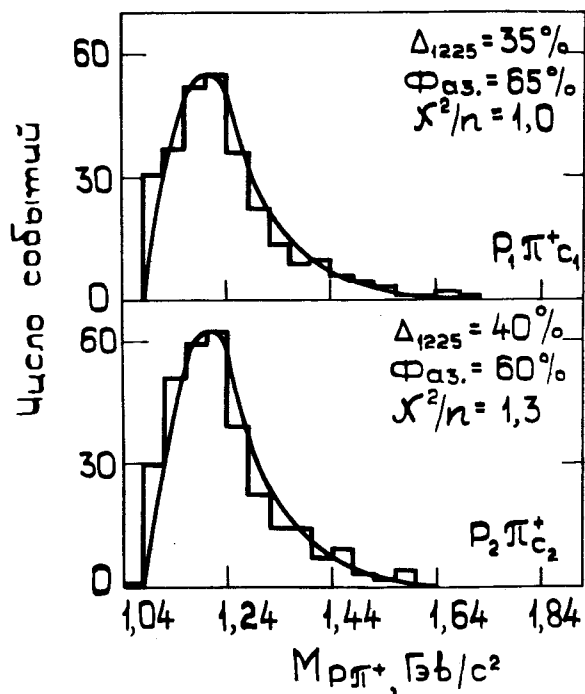


Рис. 2. Распределение эффективных масс $p_1 \pi^+_{c_1}$ - и $p_2 \pi^+_{c_2}$ - комбинаций из парных реакций.

ровании событий реакции /1/ по фазовому объему, упорядочению генерированных событий по быстротам и комбинированию "быстрого" нуклона с π -мезоном, имеющими значок "с₁" для верхнего рисунка, и медленного нуклона и π -мезона со значком "с₂" для нижнего рисунка. Т.о., фазовые кривые, используемые для описания конкретного распределения /также для всех последующих графиков/, получают в той же процедуре, что и экспериментальные распределения.

Из результатов аппроксимации следует, что два распределения на рис. 2 одинаковы в пределах статистики. Точность определения процентов вклада резонанса и фазового фона равна везде $\sim 5\%$. В пределах этой точности вклад резонанса Δ^{++} в обоих случаях - порядка

/35-40/% и фазового фона - порядка /65-60/%. На рис. 2, как и в дальнейшем, приведено отношение χ^2/n - суммарного χ^2 к числу степеней свободы. Оно говорит о хорошем описании эксперимента двумя указанными процессами. Аппроксимирующая кривая, как на всех последующих рисунках, изображена сплошной линией.

Распределения эффективных масс соответствующих комбинаций из всех парных строк также совпадают. Поэтому в дальнейшем мы суммировали соответствующие распределения из парных строк.

2. ЭФФЕКТИВНЫЕ СЕЧЕНИЯ РОЖДЕНИЯ НУКЛОННЫХ ИЗОБАР

На рис. 3 представлены распределения эффективных масс комбинаций протонов и π^+ -мезонов. Цифры, как

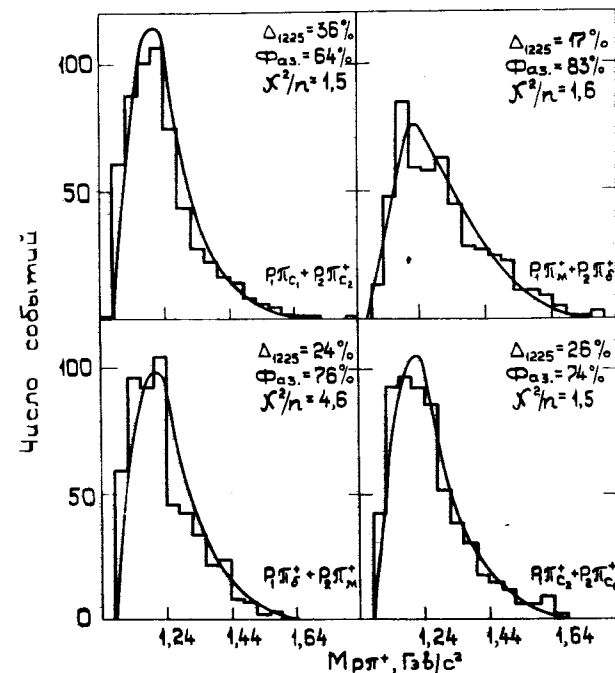


Рис. 3. Эффективные массы $p \pi^+$ - комбинаций.

и везде, указывают вклад в процентах резонансных и соответствующих фазовых кривых. На рис. 4 показаны распределения эффективных масс $p\pi^0$, а на

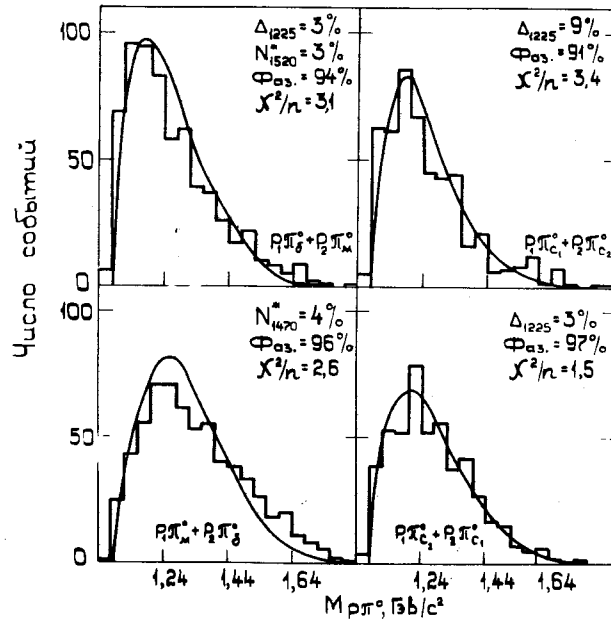


Рис. 4. Эффективные массы $p\pi^0$ -комбинаций.

рис. 5 - $p\pi^-$ -комбинаций. Обращает на себя внимание слабое образование резонансов в системах $p\pi^0$ и $p\pi^-$ по сравнению с системой $p\pi^+$.

Эффективное сечение рождения резонанса в отсутствие интерференции можно определить по формуле:

$$\sigma_{\text{рез.}} = \frac{(\delta_{p_1\pi_b} + \delta_{p_2\pi_b})N_{\pi_b} + (\delta_{p_1\pi_{c_1}} + \delta_{p_2\pi_{c_1}})N_{\pi_{c_1}}}{1149} \times$$

$$\times \frac{(\sigma_{p_1\pi_{c_2}} + \delta_{p_2\pi_{c_2}})N_{\pi_{c_2}} + (\delta_{p_1\pi_M} + \delta_{p_2\pi_M})}{\sigma_{(1)}} \cdot /2/$$

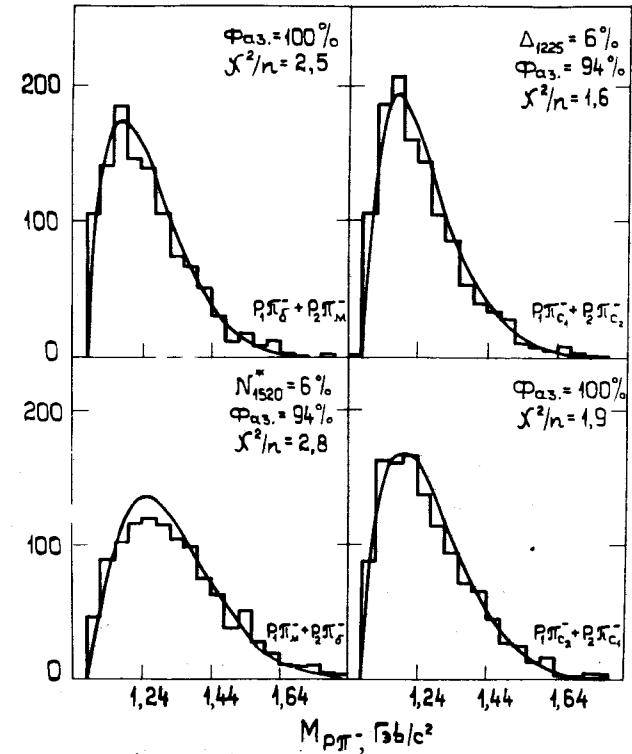


Рис. 5. Эффективные массы $p\pi^-$ -комбинаций.

Здесь $\delta_{p\pi}$ - доля в процентах выхода резонанса в соответствующей комбинации протона и π -мезона; N_{π_i} - число событий с π -мезоном, стоящим на i -м месте по быстрой ($i=b, c_1, c_2, M$); $\sigma_{(1)}$ - полное эффективное сечение реакции /1/.

В знаменателе формулы стоит полное число событий этой реакции.

В таблице приведены эффективные сечения образования различных нуклонных изобар в реакции /1/ при $P_n = 5,10$ ГэВ/с.

Конечное состояние	$\sigma / \text{мб}/$
$p \rightarrow \Delta^{++} (p \pi^- \pi^- \pi^0)$	$0,20 \pm 0,04$
$p \rightarrow \Delta^+ (p \pi^+ \pi^- \pi^-)$	$0,03 \pm 0,02$
$p \rightarrow \Delta^0 (p \pi^+ \pi^- \pi^0)$	$0,02 \pm 0,02$
$p \rightarrow N_{1520}^* (p \pi^+ \pi^- \pi^0)$	$0,02 \pm 0,01$

В скобках указаны конечные состояния частиц, не входящих в выделенный резонанс, которые могут возникнуть как в результате распада каких-либо резонансов, так и от нерезонансного фона. Из-за малого выхода всех изобар, кроме Δ^{++} , мы не имеем возможности определить сечения каналов реакций с образованием двойной изобары и даем результаты в полуинклюзивном смысле. По этой же причине трудно точно определить вклад нерезонансного фона. В приведенных ошибках учтены ошибки всех членов формулы /2/. Из распределения эффективных масс $p \pi^+$ -комбинаций из всех событий реакции /1/ получено $\sigma_{\Delta^{++}} = /0,21 \pm 0,02/ \text{ мб}$ (в предположении, что ложная комбинация распределена по фазовому объему). Эта величина хорошо совпадает с приведенной в таблице.

Для выяснения вопроса об интерференционных явлениях на рис. 6 построены числа событий комбинаций $p_1 \pi^+$ относительно комбинаций $p_2 \pi^+$. В случае отсутствия интерференции в квадрате с координатами $(1,160 \leq M_{p_1 \pi^+} \leq 1,240) \text{ ГэВ}/c^2$ и $(1,60 \leq M_{p_2 \pi^+} \leq 1,240) \text{ ГэВ}/c^2$ после вычитания фона должно быть число событий, равное полусумме чисел событий от соседних квадратов в полосах, ограниченных указанными координатами /использована линейная интерполяция и предположение о равномерном распределении фоновых событий по плотности в области массы Δ^{++} /. Оценка показывает, что интерференционные явления в рождении Δ^{++} составляют $/2 \pm 3/\%$.

$M_{p_2 \pi^+}, \text{ ГэВ}/c^2$

	1,08	1,24	1,40	1,56	1,72	1,88
1,08	98	101	35	9	8	
1,24	87	134	77	47	27	8
1,40	37	74	50	44	16	11
1,56	12	36	27	17	9	10
1,72	2	17	16	8	12	6
1,88		7	12	4	5	3
		5	1	5	5	1
		1	1	2	2	
			1		1	
			1			

Рис. 6. Эффективные массы $p_1 \pi^+$ относительно $p_2 \pi^+$.

3. ЭФФЕКТИВНОЕ СЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ω^0 -МЕЗОНА

На рис. 7а показано распределение эффективных масс $\pi^+ \pi^- \pi^0$ -комбинаций из всех событий реакции /1/ (2 комбинации в каждом событии). Распределение аппроксимировалось резонансной кривой для ω^0 -мезона ($M_{\omega^0} = 784 \text{ МэВ}/c^2$, $\Gamma_{\omega^0} = 10 \text{ МэВ}/c^2$) и фазовой кривой. Точность определения процента вклада ω^0 резонанса равна $\sim 1\%$. Доля событий резонанса, отнесенная к числу событий реакции /1/, должна быть примерно удвоенной по сравнению с той, которая определена на рис. 7а, если считать, что все фоновые комбинации распределены по фазовой кривой. Это, по-видимому, следует из рис. 7а, на котором все распределение, за исключением полосы ω^0 -мезона, хорошо описывается статистическим фоном. Вычитая из распределения рис. 7а

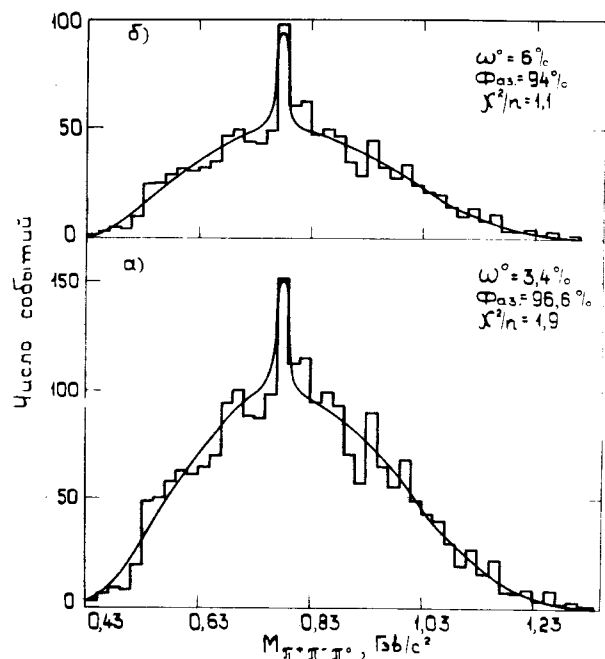


Рис. 7. Распределение эффективных масс $\pi^+ \pi^- \pi^0$ -комбинаций: а/ из всех событий реакции $p \rightarrow p p \pi^+ \pi^- \pi^0$; б/ после вычитания ложной комбинации.

распределение по фазовому объему, нормированное на полное число событий реакции /1/, получим распределение рис. 7б. Оно аппроксимировано теми же кривыми, что и на рис. 7а. Вклад ω^0 -резонанса в реакцию /1/ составляет $6 \pm 1\%$.

Чтобы выяснить вопрос о том, не является ли наблюдаемый пик при $M_{\pi^+ \pi^- \pi^0} = 784 \text{ МэВ}/c^2$ результатом отражения Δ^{++} изобары, мы выбрали события из полосы $(770 \leq M_{\pi^+ \pi^- \pi^0} \leq 790) \text{ МэВ}/c^2$ и построили массы комбинаций протонов с π^+ -мезонами, попадающими в эту область масс $\pi^+ \pi^- \pi^0$ -комбинаций. Из этого распределения вычтены подобные распределения для событий, попадающих в полосы, лежащие слева и справа от указанной. Т.о., получено распределение ком-

бинаций протонов с π^+ -мезонами из истинного ω^0 -резонанса. Оно показано на рис. 8. Распределение хорошо описывается одной фазовой кривой, полученной при тех же условиях, что и экспериментальное распределение. Следовательно, случаи из истинного ω^0 -резонанса не являются отражениями от Δ^{++} .

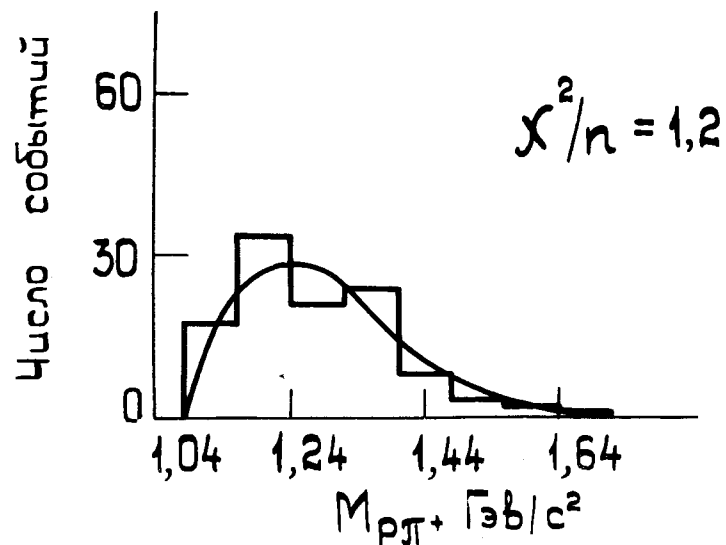


Рис. 8. Эффективные массы $p \pi^+$ из событий, в которых π^+ принадлежит ω^0 -мезону.

Эффективное сечение образования ω^0 -мезона в реакции $p \rightarrow p p \pi^+ \pi^- \pi^0$ можно определить как

$$\sigma_{\omega^0} = \delta_{\omega^0} \cdot \sigma_{(1)}, \quad /3/$$

где δ_{ω^0} - доля ω^0 в процентах ко всем случаям указанной реакции. Оно оказалось равным

$$\sigma_{\omega^0} = 0,023 \pm 0,002 / \text{мб.}$$

ВЫВОДЫ

1. Реакция $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ при $P_{\text{п}} = (5,10 \pm 0,17)$ ГэВ/с в /50-70/% случаев идет через образование нуклонных изобар, основную долю которых составляет Δ^{++} .

2. Эффективные сечения образования Δ^+ , Δ^0 , N_{1520}^* на порядок меньше сечения рождения Δ^{++} .

3. В 6% случаев реакция $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ идет с образованием ω^0 -мезона.

4. Не найдено никаких особенностей в эффективных массах комбинаций $\pi\pi$ и $N\pi\pi$.

5. Весь анализ проведен с применением метода упорядочения вторичных частиц по быстротам, что дало возможность исключить проблему ложных комбинаций.

Авторы выражают благодарность М.С.Левницкому, И.А.Первушиной и лаборантам ЛВЭ и ЛВТА ОИЯИ за помощь в обработке материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаспарян А.П. и др. ОИЯИ, 1-9111, Дубна, 1975; ПТЭ, 1977, №2, с.37.
2. Абдивалиев А. и др. ОИЯИ, 1-10669, Дубна, 1977.
3. Абдивалиев А. и др. ОИЯИ, 1-10916, Дубна, 1977.
4. James F. CERN Computer Program Library, W505 (Longwrite-Up), 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 декабря 1977 года.