

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



СЗ46.46

A-61

9/11-75

P1 - 8699

2081/2-75

Н.С.Амаглобели, Ю.А.Будагов, В.Б.Виноградов,  
А.Г.Володько, В.П.Джелепов, Ю.Дубински, Ю.Ф.Ломакин,  
Г.Мартинска, В.С.Румянцев, Р.Г.Салуквадзе,  
В.Б.Флягин, Ю.Н.Харжеев, Б.Г.Чиладзе, Л.Шандор,  
Ш.С.Шошиашвили

ЧЕТЫРЕХЛУЧЕВЫЕ  $\pi^-$  p-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
С ОБРАЗОВАНИЕМ  $\pi^0$ -МЕЗОНОВ ПРИ 5 ГЭВ/С

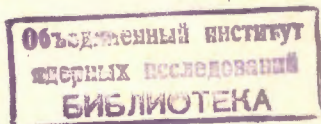
I. Описание эксперимента; определение сечений  
методом кинематической идентификации

**1975**

Н.С.Амаглобели,<sup>1</sup> Ю.А.Будагов, В.Б.Виноградов,  
А.Г.Володько, В.П.Джелепов, Ю.Дубински,<sup>2</sup> Ю.Ф.Ломакин,  
Г.Мартинска,<sup>3</sup> В.С.Румянцев,<sup>4</sup> Р.Г.Салуквадзе,<sup>1</sup>  
В.Б.Флягин, Ю.Н.Харжеев, Б.Г.Чиладзе,<sup>1</sup> Л.Шандор,  
Ш.С.Шошиашвили<sup>1</sup>

ЧЕТЫРЕХЛУЧЕВЫЕ  $\pi^-$  p- ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
С ОБРАЗОВАНИЕМ  $\pi^0$ -МЕЗОНОВ ПРИ 5 ГЭВ/С

I. Описание эксперимента; определение сечений  
методом кинематической идентификации



<sup>1</sup> Тбилисский государственный университет, Тбилиси.

<sup>2</sup> Институт экспериментальной физики САН, Кошице (ЧССР).

<sup>3</sup> Университет им. П.Й.Шафарика, Кошице (ЧССР).

<sup>4</sup> Институт физики АН БССР, Минск.

Амаглобели Н.С. и др.

P1 - 8699

Четырехлучевые  $\pi^-p$ -взаимодействия с образованием  $\pi^0$ -мезонов при 5 ГэВ/с

1. Описание эксперимента; определение сечений методом кинематической идентификации

Представлено описание экспериментальной процедуры исследования процессов  $\pi^-p \rightarrow p\pi^+\pi^-\pi^- + m\pi^0$  и  $\pi^-p \rightarrow n\pi^+\pi^+\pi^-\pi^- + m\pi^0$  ( $m \geq 1$ ) при импульсе 5 ГэВ/с с помощью метровой пропановой пузырьковой камеры, а также методика и результаты определения парциальных сечений указанных процессов методом кинематической идентификации событий.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований  
Дубна 1975

Amaglobeli et al.

P1 - 8699

Four-Prong  $\pi^-p$  Interactions with  $\pi^0$  Production at 5 GeV/c

1. Experimental procedure; cross section determination by kinematical identification of events

The experimental procedure for studying  $\pi^-p \rightarrow p\pi^+\pi^-\pi^- + m\pi^0$  and  $\pi^-p \rightarrow n\pi^+\pi^+\pi^-\pi^- + m\pi^0$  ( $m \geq 1$ ) processes at 5 GeV/c with a one-meter propane bubble chamber, the method and the results of partial cross section determination for the mentioned processes by kinematical identification of events are reported.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research  
Dubna 1975

## Введение

В последнее время большое внимание уделяется проблеме глубоконеупругих адрон-адронных взаимодействий, в частности, с образованием нескольких нейтральных частиц. Следует подчеркнуть, что хотя суммарное сечение этих процессов при энергиях в несколько ГэВ составляет весьма заметную долю полного неупругого сечения, сами эти процессы мало изучены.

Сечение процессов

$$\pi^- p \rightarrow p\pi^+\pi^-\pi^- + m\pi^0 \quad /1/$$

и

$$\pi^- p \rightarrow n\pi^+\pi^+\pi^-\pi^- + m\pi^0 \quad (m \geq 1) \quad /2/$$

составляет при 5 ГэВ/с около 25% полного неупругого сечения<sup>1/</sup>. Из указанных реакций относительно хорошо исследована только реакция  $\pi^-p \rightarrow p\pi^+\pi^-\pi^- + m\pi^0$  /см., например, <sup>2/</sup> /. Реакции с образованием более одной нейтральной частицы практически не изучены. Данные о парциальных сечениях таких реакций с протоном в конечном состоянии отсутствуют вообще; для реакций с нейтроном существуют данные только при 2,1 ГэВ/с<sup>3/</sup> и 4 ГэВ/с<sup>4/</sup>.

В настоящей работе приводятся результаты изучения реакций /1/ и /2/ при импульсе 5 ГэВ/с с помощью метровой пропановой пузырьковой камеры ОИЯИ<sup>5/</sup>. Для анализа были использованы четырехлучевые взаимодействия с двумя и тремя  $\gamma$ -квантами, зарегистрированными в камере по  $e^+e^-$ -парам конверсии.

Методические вопросы этого исследования опубликованы ранее<sup>6/</sup>. В данной работе приводится описание

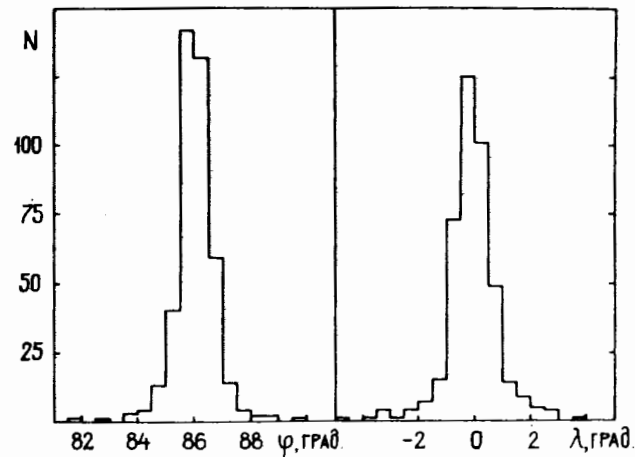
эксперимента и результаты определения парциальных сечений методом кинематической идентификации событий.

### Описание эксперимента

Метровая пропановая камера, находящаяся в магнитном поле 1,7 Т, экспонировалась в пучке отрицательных пионов с импульсом  $5,0 \pm 0,1$  ГэВ/с<sup>/7/</sup> синхротрона ОИЯИ. В результате двукратного просмотра 230000 снимков, выполненного по стандартным для пропановых камер правилам отбора  $\pi^-p$ -взаимодействий /см., например, <sup>/8/</sup> /, для целей данного исследования было отобрано 1600 четырехлучевых событий с двумя и более  $\gamma$ -квантами, конвертировавшими в эффективном объеме камеры\*. Эффективность двойного просмотра составляла  $\approx 86\%$ .

Отобранные события были измерены на полуавтоматических установках ПУОС, работающих на линии с ЭВМ. Геометрическая реконструкция событий производилась в основном по программе "О-10"<sup>/9/</sup> с последующей коррекцией кинематических параметров треков и их ошибок на ионизационные и радиационные потери, а также на многократное рассеяние<sup>/10/</sup>. Часть событий в связи с переходом в течение эксперимента к более совершенной измерительной системе была обработана по геометрической программе "1-6"<sup>/11/</sup>.

На рисунке представлены распределения первичных треков по азимутальному ( $\phi$ ) и глубинному ( $\lambda$ ) углам на входе в рабочий объем камеры. Первичный трек считался пучковым, если его углы находились в пределах  $84^\circ < \phi < 88^\circ$  и  $|\lambda| < 3^\circ$ .



Распределение первичных треков по азимутальному  $\phi$  и глубинному  $\lambda$  углам на входе в рабочий объем камеры.

Средние значения погрешностей измерения импульсов и углов вторичных частиц в данном эксперименте представлены в табл. 1.

Для дальнейшей обработки были оставлены события, в которых кинематические параметры всех треков /кроме величины импульса налетающей частицы/ измерены с погрешностями, не превышающими трехкратной средней погрешности. Оказалось, что 19% всех найденных событий не могли быть измерены с соответствующей точностью.

Кинематические параметры  $\gamma$ -квантов, а также принадлежность  $\gamma$ -квантов к данному событию определялись

Таблица 1

ЧАСТИЦА	$\overline{\Delta p/p}, \%$	$\overline{\Delta \phi}, \text{град.}$	$\overline{\Delta \lambda}, \text{град.}$
$p$	10.6	0.30	0.63
$\pi$	9.7	0.50	0.89
$\gamma$	11.3	0.16	0.40

\*Эффективный объем, выбранный с учетом пространственных характеристик пучка, области качественного освещения и требования достаточно точного измерения электронных треков, составлял  $30 \times 85 \times 25$  см<sup>3</sup>.

с помощью алгоритма, описанного в работе<sup>/10/</sup>. Гамма-кванты с импульсом  $p_\gamma < 30 \text{ МэВ/с}$ , а также те, для которых расстояние  $L_{\text{AB}}$  от точки рождения до точки конверсии менее 1 см, исключались из рассмотрения. Эти критерии отбора /обусловленные значительными потерями таких  $\gamma$ -квантов при просмотре, а также трудностями определения их принадлежности к событию/ в дальнейшем анализе были соответствующим образом учтены.

Считалось, что  $\gamma$ -квант принадлежит к исследуемому взаимодействию, если выполнялись условия

$$|k_\phi| < 3\sigma_\phi, \quad |k_\lambda| < 3\sigma_\lambda,$$

$$\theta_\gamma < 5^\circ \quad \text{для } L_{\text{AB}} > 5 \text{ см.}$$

Здесь  $k_\phi(k_\lambda)$  - нормированная разность азимутальных /глубинных/ углов двух направлений: направления, определяемого точками рождения и конверсии  $\gamma$ -кванта, и направления измеренного импульса  $e^+e^-$ -пары;  $\theta_\gamma$  - угол между этими направлениями;  $\sigma_\phi(\sigma_\lambda)$  - среднеквадратичное отклонение величины  $k_\phi(k_\lambda)$ .

После исключения  $\gamma$ -квантов, не принадлежащих по данным критериям к исследуемым событиям\*, а также тормозных  $\gamma$ -квантов\*\*, для дальнейшего анализа осталось 704 события с двумя и тремя  $\gamma$ -квантами. Событий с числом  $\gamma$ -квантов более трех оказалось всего 12, и в дальнейшем анализе они не использовались.

Были оценены возможные примеси событий со странными частицами, а также двухлучевых событий с парой Далица. Оказалось, что эти примеси не превышают 2% и 1% соответственно.

\* Примесь  $\gamma$ -квантов, не принадлежащих исследуемым взаимодействиям, при использовании указанных критериев, не превышает 1%<sup>/10/</sup>.

\*\* Если угол раствора пары  $\gamma$ -квантов  $\theta_{\gamma\gamma} < 4^\circ$ , тормозным считался  $\gamma$ -квант, точка конверсии которого находилась дальше от вершины взаимодействия.

Все события были просмотрены физиками на просмотровом столе с целью визуальной идентификации положительно заряженных вторичных частиц. В данных экспериментальных условиях можно было разделить протоны и  $\pi^+$ -мезоны с импульсами до 1 ГэВ/с. Результаты визуальной идентификации показаны в табл. 2.

Таблица 2

идентификация	доля событий, %
$p, \pi^+$	19
$\pi^+, \pi^+$	29
$p, \pi^+/p$	3
$\pi^+, \pi^+/p$	43
$\pi^+/p, \pi^+/p$	6

Кинематическая идентификация событий производилась с помощью программы "10-30"<sup>/12/</sup>. Проверяемые гипотезы о конечном состоянии для событий с двумя  $\gamma$ -квантами перечислены в табл. 3. Обозначения а/ и б/ в гипотезах с участием протона соответствуют двум возможным комбинациям масс положительно заряженных частиц.

В программе "10-30" не предусмотрена возможность обработки событий с числом  $\gamma$ -квантов более двух. Поэтому события с тремя  $\gamma$ -квантами обсчитывались, как события с двумя  $\gamma$ -квантами, трижды - для трех возможных комбинаций пары  $\gamma$ -квантов.

В качестве критериев того, что данное событие удовлетворяет проверяемой гипотезе, использовались значения величин  $\chi^2$  и квадрата недостающей массы, а также результат визуальной идентификации заряженных вторичных частиц. Детальное описание использованной нами методики кинематической идентификации событий приведено в работе<sup>/6/</sup>.

Таблица 3

Гипотеза о конечном состоянии	Число связей	Условное обозначение
$p\pi^+\pi^-\pi^0\gamma\gamma$	5	1а, 1б
$p\pi^+\pi^-\gamma\gamma$	4	2а, 2б
$p\pi^+\pi^-\pi^0\gamma\gamma(\pi^0)$	2	3а, 3б
$p\pi^+\pi^-\gamma\gamma(\pi^0)$	1	4а, 4б
$p\pi^+\pi^-\gamma\gamma(\pi^0)$	0	5а, 5б
$\pi^+\pi^-\pi^0\gamma\gamma(n)$	2	6
$\pi^+\pi^-\gamma\gamma(n)$	1	7
$\pi^+\pi^-\gamma\gamma(\pi^0)$	0	8

В процессе кинематического анализа 26% событий было отнесено, согласно критериям, приведенным в работе /6/ /в основном критерию недостающей массы/, к взаимодействиям первичной частицы с квазисвободным протоном ядра углерода. Таким образом, для окончательного анализа осталось 473 события с двумя и 49 событий с тремя  $\gamma$ -квантами. Оставшаяся примесь  $\pi^0$ -взаимодействий среди этих событий не превышает 5-10%.

Результаты кинематической идентификации событий приведены в табл. 4.

#### Определение парциальных сечений по результатам кинематической идентификации событий

Используемая нами методика является развитием методики, предложенной в работе /13/.

В результате кинематического анализа исследуемые события распределились по группам, перечисленным в табл. 4.

Связь между парциальными сечениями  $\sigma_i$  и количеством событий  $N_j^n$  с  $n$   $\gamma$ -квантами /  $n = 2, 3$  / в группе  $j$  определяется уравнением

$$N_j^n = \sum_{i=1}^{\ell} k_i \frac{\sigma_i}{\sigma_0} \epsilon_{n\gamma}^i C_n^2 \eta_{ij}, \quad (j = 1, \dots, p); \quad /3/$$

Таблица 4

гипотезы	число событий	
	2 $\gamma$	3 $\gamma$
1	43	4
2	15	1
3	42	11
4	48	16
5	35	12
6	55	4
7	33	15
8	95	37
1а, 1б	3	1
3а, 3б	2	2
4а, 4б	4	1
3, 6	22	7
4, 7	35	13
5, 8	36	19
3а, 3б, 6	3	2
4а, 4б, 7	2	2
ИТОГО	473	147*

где  $\ell$  - число каналов реакций, дающих заметный вклад в сечение изучаемой топологии событий;  $p$  - число групп событий;  $k_i$  - коэффициент, учитывающий потери событий  $i$ -го канала реакции в процессе обработки;  $\sigma_0$  - сечение одного  $\pi^0$ -взаимодействия в данном эксперименте;  $\epsilon_{n\gamma}^i$  - средняя эффективность регистрации  $n$   $\gamma$ -квантов

\* Это число в три раза превышает число событий с тремя  $\gamma$ -квантами, что обусловлено спецификой применения программы "10-30" к данной топологии событий.

в событии  $i$ -го канала реакции;  $C_n^2$  - число сочетаний из  $n$  элементов по 2.

Величина  $\eta_{ij}$  выражается формулой

$$\eta_{ij} = \nu_i \eta_{ij}^{\pi^0} + (1 - \nu_i) \eta_{ij}^{\neq \pi^0},$$

где  $\eta_{ij}^{\pi^0}$  ( $\eta_{ij}^{\neq \pi^0}$ ) - вероятность, с которой событие  $i$ -го канала реакции с двумя зарегистрированными  $\gamma$ -квантами, принадлежащими одному /разным/  $\pi^0$ -мезонам, попадает в группу  $j$  /т.е. удовлетворяет соответствующей гипотезе или нескольким гипотезам/;  $\nu_i$  - условная вероятность того, что в событии  $i$ -го канала реакции зарегистрированная пара  $\gamma$ -квантов принадлежит одному  $\pi^0$ -мезону.

Если число уравнений в системе /3/ не меньше  $\rho$ , а все величины /кроме  $\sigma_i$ / известны, парциальные сечения  $\sigma_i$  можно определить путем решения этой системы. В случае, когда число уравнений больше  $\rho$ , для решения можно применить метод наименьших квадратов.

Метод определения, а также значения величин  $\epsilon_{ny}^i$ ,  $\eta_{ij}^{\pi^0}$  и  $\eta_{ij}^{\neq \pi^0}$ , приведены в работе /6/. Что касается коэффициентов потерь  $k_i$  их значения в данном эксперименте не определялись. В дальнейшем предположим, что для всех каналов реакций /2/ они одинаковы и равны  $k$ , а для всех каналов реакций /1/ также одинаковы, но равны  $\alpha k$ , где  $\alpha$  - неизвестный параметр\*. Тогда, используя равенство  $\sum_j N_j^n = C_n^2 N_n^n / N_n^n$  - суммарное количество

событий с  $n$   $\gamma$ -квантами/, систему уравнений /3/ можно преобразовать к виду

$$N_j^n = \frac{N_n^n C_n^2}{\alpha \sum_{(1)} \sigma_i \epsilon_{ny}^i + \sum_{(2)} \sigma_i \epsilon_{ny}^i} [ \alpha \sum_{(1)} \sigma_i \epsilon_{ny}^i \eta_{ij} + \sum_{(2)} \sigma_i \epsilon_{ny}^i \eta_{ij} ], \quad /4/$$

$j = 1, \dots, \rho.$

Здесь  $\sum_{(1)}$ ,  $\sum_{(2)}$  обозначает суммирование по каналам

реакций /1/ и /2/ соответственно. Система /4/ позволяет определить лишь отношение парциальных сечений  $\sigma_i$ . Поэтому для получения абсолютных значений сечений необходимо знание суммарного сечения реакций /1/ и /2/.

В данном случае определялись сечения каналов реакций /1/ и /2/ с  $m = 1, \dots, 4$  и  $m = 1, 2, 3$  соответственно. Величины сечений каналов реакций /1/ и /2/ с  $m > 4$  и 3 соответственно, оцененные по изоспиновым соотношениям на основе известных сечений процессов с соответствующей множественностью заряженных частиц, оказались пренебрежимо малы. Число уравнений в системе /4/ равно 32 /см. табл. 4/. Однако с целью увеличения статистической значимости уравнений однотипные уравнения с малыми значениями  $N_j^n$  были просуммированы. В итоге для определения сечений  $\sigma_i$  и параметра  $\alpha$  было использовано 19 уравнений, включая два нормировочных уравнения

$$\sum_{(1)} \sigma_i = \sigma_1, \quad \sum_{(2)} \sigma_i = \sigma_2. \quad /5/$$

Сечения  $\sigma_1 = 3,87 \pm 0,06$  мбарн и  $\sigma_2 = 2,18 \pm 0,04$  мбарн были измерены с помощью водородной камеры /1/. Для решения системы уравнений /4/ + /5/ использовалась стандартная программа FUMILI /14/.

Результаты определения сечений приведены в табл. 5. Полученное решение характеризуется значением  $\chi_{\min}^2 = 8,1$  при 10 степенях свободы. Для параметра  $\alpha$  было получено значение  $0,62 \pm 0,08$ . Его величина сви-

\*Введение параметра  $\alpha$  позволяет учесть возможную разницу в потерях событий реакций /1/ и /2/. Эта разница может быть обусловлена тем, что в конечном состоянии регистрируются разные наборы частиц, а также тем, что критерии отбора  $\pi^- C^-$ -взаимодействий не одинаково эффективны для событий с протоном и нейтроном в конечном состоянии.

Таблица 5

конечное состояние	сечение, мб	
$p\pi^+\pi^-\pi^- +$	$\pi^0$	$1.84 \pm 0.22$
	$2\pi^0$	$1.17 \pm 0.23$
	$3\pi^0$	$0.78 \pm 0.14$
	$4\pi^0$	$0.08 \pm 0.05$
$p\pi^+\pi^-\pi^- +$	$\pi^0$	$1.21 \pm 0.17$
	$2\pi^0$	$0.76 \pm 0.19$
	$3\pi^0$	$0.21 \pm 0.06$

детельствует о заметном различии потерь событий с протоном и нейтроном в конечном состоянии.

Погрешности сечений, приведенные в табл. 5, включают, кроме статистических погрешностей, также погрешности из-за неточного знания эффективностей  $\epsilon_i$  и коэффициентов  $\eta_{ij}$ .

В заключение отметим, что развитая нами методика позволяет разделить события с образованием протона и нейтрона в конечном состоянии. Это открывает возможность отдельного исследования реакций /1/ и /2/.

#### Литература

1. H. Böttcher et al. *Rev. Roum. Phys.*, 19, 81 /1974/.
2. E. Bracci et al. *CERN/HERA 72-1*, 1972.
3. J. H. Boyd et al. *Phys. Rev.*, 166, 1458 /1968/.
4. В. Г. Гришин и др. *ЯФ*, 11, 1242 /1970/.
5. А. В. Богомолов и др. *ПТЭ*, № 1, 61 /1964/.
6. А. Г. Володько и др. *Сообщение ОИЯИ*, 1-8514, Дубна, 1975.
7. В. С. Кладницкий, В. Б. Флягин. *ПТЭ*, № 1, 24 /1965/.
8. А. У. Абдурахимов и др. *Препринт ОИЯИ*, P1-6277, Дубна, 1972.
9. Н. А. Буздавина, В. Б. Виноградов, В. Б. Флягин. *Публикация ОИЯИ*, Б1-10-3572, Дубна, 1967.
10. Ш. Валкар и др. *Сообщение ОИЯИ*, 13-6140, Дубна, 1971.

11. Н. Ф. Маркова и др. *Препринт ОИЯИ*, P10-3768, Дубна, 1968.
12. З. М. Иванченко и др. *Препринт ОИЯИ*, P11-3983, Дубна, 1968.
13. А. Г. Володько и др. *Сообщение ОИЯИ*, P1-6488, Дубна, 1972.
14. И. Н. Силин. *FUMIL1*. *Библ. программ ОИЯИ*, D-520, Дубна, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 марта 1975 года.