

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



7/Х1 -  
-

1 - 9891

Б-903

4371/2-76

Ю.А.Будагов, В.Б.Виноградов, А.Г.Володько,  
Ж.К.Карамян, З.А.Киракосян, Ю.Ф.Ломакин, В.Б.Флягин,  
Л.Шандор, Б.Г.Чиладзе

ОБРАЗОВАНИЕ СТРАННЫХ ЧАСТИЦ

В  $\pi^-p$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 5 ГэВ/с.

Часть I. Определение сечений

**1976**

1 - 9891

Ю.А.Будагов, В.Б.Виноградов, А.Г.Володько,  
Ж.К.Карамян,<sup>1</sup> З.А.Киракосян,<sup>1</sup> Ю.Ф.Ломакин, В.Б.Флягин,  
Л.Шандор, Б.Г.Чиладзе<sup>2</sup>

ОБРАЗОВАНИЕ СТРАННЫХ ЧАСТИЦ  
В  $\pi^-p$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 5 ГэВ/с.

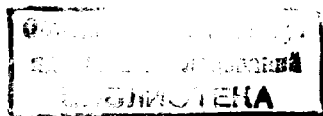
Часть I. Определение сечений

*Направлено в ЯФ*

---

<sup>1</sup> Ереванский физический институт.

<sup>2</sup> Тбилисский государственный университет.



Изучению процессов рождения странных частиц в  $\pi^-p$ -взаимодействиях посвящено значительное количество экспериментальных работ <sup>/1/</sup>, однако сведения о сечениях каналов реакций образования странных частиц в сопровождении большого числа нейтральных крайне бедны.

Данная работа является продолжением систематического изучения процессов совместного рождения странных частиц вместе со многими  $\pi^0$ -мезонами и  $\gamma$ -квантами в  $\pi^-p$ -взаимодействиях при 5 ГэВ/с.

Работа выполнена на метровой пропановой камере Лаборатории ядерных проблем, установленной в магнитном поле 17 КГс, на пучке  $\pi^-$ -мезонов синхрофазотрона ОИЯИ <sup>/2/</sup>.

Для целей эксперимента было обработано 230000 стереофотографий, содержащих в среднем 6  $\pi^-$ -мезонов на кадр; средняя эффективность регистрации одного  $\gamma$ -кванта  $\epsilon_\gamma \approx 0,2$ .

Результаты исследования двухлучевых событий с образованием  $\Lambda$ -гиперонов представлены в нашей предыдущей работе <sup>/3/</sup>. Там же изложены методические вопросы, связанные с просмотром, измерениями и обчетом событий, идентификацией  $V^0$ -частиц и  $\gamma$ -квантов. Вопросы идентификации каналов реакций и определения сечений изложены также в работе <sup>/4/</sup>.

В данной работе сообщаются результаты определения сечений О-лучевых и четырехлучевых событий с образованием  $V^0$ -частиц, а также двухлучевых событий с образованием  $K^0$ -мезонов.

## 1. Реакции $\pi^- p \rightarrow V^0 + \text{нейтральные } O\text{-лучевые события}$

При определении сечений  $O$ -лучевых событий с рождением  $V^0$ -частиц нами был применен метод " $\eta_{ij}$ -коэффициентов", подробно описанный в работах <sup>/3,4/</sup>. Этот метод был проверен в работе <sup>/5/</sup> по определению сечений реакции  $\pi^- p \rightarrow 4\text{луча} + n\gamma$  ( $n \geq 2$ ).

В нашем случае методом наименьших квадратов решалась система уравнений

$$N_i = \frac{1}{\sigma_0 k_i} \sum_{j=1}^M \sigma_j f_j(\epsilon_\gamma) \eta_{ij} \quad i = 1, \dots, L, \quad L > M$$

$$\sigma_0 = (0,27 \pm 0,02) \text{ мкб/событие}^{/11/},$$

где  $N_i$  - число событий, удовлетворяющих данной гипотезе: результаты расчетов по программе "fit-каналов реакций";  $k_i$  - множитель, характеризующий данную топологию и учитывающий поправки на ненаблюдаемые события, геометрию камеры, эффективность просмотра и регистрации  $V^0$ -частиц, вклад взаимодействий на квази-свободных нуклонах ядра углерода. Величины поправок приведены в работе <sup>/3/</sup>;  $f(\epsilon_\gamma)$  - множитель, характеризующий среднюю эффективность регистрации  $n$   $\gamma$ -квантов ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) в каждой конкретной топологии для данного канала реакций;  $\eta_{ij}$  - коэффициенты "прохождения", характеризующие относительный вклад в данное, однозначно-идентифицированное /по результатам "fit-каналов"/ конечное состояние, даваемое различными каналами реакций.

В результате решения системы получаем искомые значений сечений  $\sigma_j$ .

В табл. I дано распределение  $O$ -лучевых событий по результатам идентификации  $V^0$ -частиц и  $\gamma$ -квантов.

ТАБЛИЦА I.

$n_j$	$\Lambda$	$\Lambda/K^\circ$	$K^\circ$	$\Lambda K^\circ$	$\Lambda/K^\circ K^\circ$	$K_i K_j$
0	108	82	221	87	24	61
1	60	18	38	24	7	3
2	18	7	17	6	2	2
3	3	0	2	1	0	0
4	1	1	1	1	0	0

ТАБЛИЦА II.

$K_1$ $K_2$ $K_3$	$\Lambda K^\circ$	$K^\circ Z^\circ$	$\Lambda K^\circ Z^\circ$	$Z^\circ K^\circ Z^\circ$	$\Lambda K^\circ Z^\circ Z^\circ$	$Z^\circ K^\circ Z^\circ Z^\circ$	$\Lambda K^\circ Z^\circ Z^\circ Z^\circ$	$Z^\circ K^\circ Z^\circ Z^\circ Z^\circ$
$\Lambda (K^\circ)$ $K^\circ (\Lambda)$	0,85	0,75	0,67	0,3	0,05	0,007	0	0
$\Lambda Z^\circ (K^\circ)$ $K^\circ Z^\circ (\Lambda)$		0,6	0,45	0,4	0,15	0,06	0,025	0
$\Lambda Z^\circ Z^\circ (K^\circ)$ $K^\circ Z^\circ Z^\circ (\Lambda)$			0,45	0,4	0,15	0,003	0	0
$\Lambda Z^\circ Z^\circ Z^\circ (K^\circ)$ $K^\circ Z^\circ Z^\circ Z^\circ (\Lambda)$			0,1	0,4	0,45	0,3	0,3	0,12
$\Lambda K^\circ 4c$	0,92	0,7	0,05	0,01	0,003	0,006	0	0
$1c$	0,06	0,15	0,85	0,7	0,4	0,25	0,15	0,07
$\Lambda K^\circ Z^\circ 4c$		0,85	0,10	0,07	0,0055	0	0	
$2c$		0,05	0,45	0,3	0,27	0,1	0,04	
$1c$		0	0,25	0,42	0,3	0,2	0,1	0,04
$\Lambda K^\circ Z^\circ Z^\circ 5c$			0,9	0,6	0,09	0,015	0,007	
$4c$			0,015	0,20	0,07	0,01	0	
$2c$			0,015	0,06	0,4	0,35	0,24	0,17
$1c$			0,015	0,12	0,42	0,4	0,4	0,14

ТАБЛИЦА III.

ИС КАНАЛА В ДРУГОМ КАНАЛЕ	K°K°n	K°K°nπ°	K°K°n2π°	K°K°n3π°
K°K°n 1с	0,85	0,67	0,05	0,01
K°K°πn 1с	0	0,45	0,062	0,02
K°K°2πn 2с	0	0,85	0,075	0,04
1с	0	0,07	0,42	0,15

В табл. II и III представлены значения коэффициентов "прохождения"  $\eta_{ij}$ , полученные путем моделирования /см. подробно /4/ /.

Наконец, в табл. IV даны полученные значения сечений; там же приведены данные других работ по определению сечений в близкой области энергий. При вычислениях принималось  $\sigma_{K^0\bar{K}^0} = 4\sigma_{K_1^0\bar{K}_1^0}$ .

Необходимо отметить, что, исходя из максимального числа зарегистрированных  $\gamma$ -квантов в одном событии ( $n_\gamma \leq 4$ ), мы ограничились в системе /1/ вкладами сечений каналов реакций с рождением не более трех  $\pi^0$ -мезонов.

Сравнение сумм полученных сечений с инклюзивными сечениями рождения  $\Lambda$ -гиперонов и  $K^0$ -мезонов в О-лучевых событиях подтверждает сделанное предположение. Действительно, так как \* /см. табл. IV /

\*При вычислении инклюзивных сечений вклад взаимодействий на квазисвободных протонах углерода принимался равным 40% от сечений взаимодействия со свободным нуклоном.

ТАБЛИЦА IV.

КАНАЛ	4,0 ГэВ/c H <sub>2</sub>	4,16 ГэВ/c H <sub>2</sub>	4,65 ГэВ/c H <sub>2</sub>	5,0 ГэВ/c H <sub>2</sub>	АН. РАБ 5,0 ГэВ/c C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	7,9 ГэВ/c H <sub>2</sub>
$\Lambda K^0$	93±14	49±9	40	60,3±8,7	31±8	27
$\Sigma K^0$		42±8			9±6	5
$\Lambda K^0\pi^0$	88±33	168±15	120	79±20	55±8	37
$\Sigma K^0\pi^0$		—			21±10	—
$\Lambda K^0\pi^0\pi^0$	—	—	—	—	19±8	—
$\Sigma K^0\pi^0\pi^0$	—	—	—	—	18,5±8	—
$\Lambda K^0\pi^0\pi^0\pi^0$	—	—	—	—	8,4±5	—
$\Sigma K^0\pi^0\pi^0\pi^0$	—	—	—	—	5±5	—
$K^0\bar{K}^0n$	176±62	128±24	190±25	176±32	85±12	52
$K^0\bar{K}^0n\pi^0$	—	—	—	—	39±16	—
$K^0\bar{K}^0n\pi^0\pi^0$	—	—	—	—	21±14	—
$K^0\bar{K}^0n\pi^0\pi^0\pi^0$	—	—	—	—	10	—

$$\sigma_{\Lambda}^{\text{inclusive}} = (196 \pm 25) \text{ мб},$$

$$\sigma_{\Lambda K^0}^{\text{inclusive}} = (174,4 \pm 23,6) \text{ мб},$$

$$\sigma_{K^0\bar{K}^0}^{\text{inclusive}} = (155,4 \pm 19) \text{ мб},$$

$$\sigma_{K^0}^{\text{inclusive}} = (388 \pm 49) \text{ мб},$$

$$\Sigma \sigma_{\pi^- p \rightarrow \Lambda K^0 + m \pi^0} = (168 \pm 11,2) \text{ мб},$$

$$m \leq 3$$

$$\Sigma \sigma_{\pi^- p \rightarrow K^0\bar{K}^0 n + m \pi^0} = (155 \pm 21,5) \text{ мб},$$

то выходом процессов с образованием  $4\pi^0$  можно пренебречь.



получим искомые значения сечений  $\sigma_j$ . Величины  $N_i, \sigma_0, k_i, f_j$  определены выше.

$k_{ij}$  - коэффициенты, характеризующие относительный вклад в данное идентифицированное конечное состояние какого-либо из исследуемых реакций /регистрируемой топологии/ независимо от степени однозначности идентификации. Это означает, что одно и то же событие может идентифицироваться как принадлежащее нескольким различным каналам реакций.

Значения коэффициентов  $k_{ij}$  для данного эксперимента были получены путем моделирования и приведены в табл. V.

Исходя из числа событий с двумя и тремя зарегистрированными  $\gamma$ -квантами /см. табл. VI /, мы провели оценку суммарного сечения рождения одного и двух  $\pi^0$ -мезонов в двухлучевых  $\pi^-p$ -взаимодействиях с зарегистрированным распадом  $K^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ .

Считая, что все зарегистрированные  $\gamma$ -кванты произошли от распадов  $\pi^0$ -мезонов, и предполагая, что средняя эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов не зависит от топологии<sup>3,4/</sup>, получим, что

$$\Sigma \sigma_{\pi^-p} \rightarrow 2 \text{луча} + K^0 + \pi^0 \sim 400 \text{ мб},$$

$$\Sigma \sigma_{\pi^-p} \rightarrow 2 \text{луча} + K^0 + 2\pi^0 \sim 80 \text{ мб}.$$

ТАБЛИЦА VI.

$n\gamma$	$K^0$	$\Lambda K^0$	$\Lambda K^0$	$\Lambda K^0 K^0$	$K^0 K^0$	$\Lambda$
0	565	267	101	49	45	460
1	145	73	26	13	8	142
2	36	16	5	2	1	35
3	3	2	2	1		3

ТАБЛИЦА VII.

КАНАЛ	4,0 ГэВ/c H <sub>2</sub>	4,0 ГэВ/c CaH <sub>2</sub>	4,16 ГэВ/c H <sub>2</sub>	4,65 ГэВ/c H <sub>2</sub>	5,0 ГэВ/c H <sub>2</sub>	5,0 ГэВ/c CaH <sub>2</sub>	7,9 ГэВ/c H <sub>2</sub>
$\pi^-p \rightarrow pK^0K^0$	98 ± 25	67 ± 15	54 ± 9	20	56 ± 10	60 ± 6	29
$pK^0K^0$	64 ± 21	—	75 ± 20	90	56 ± 10	24 ± 10	—
$pK^0K^0$	51 ± 14	36 ± 12	72 ± 20	20	60 ± 8	36 ± 6	41
$pK^0K^0$	20 ± 20	24 ± 16	20 ± 9	—	—	36 ± 10	—
$pK^0K^0$	—	—	—	—	—	20	—
$\Sigma^+ \pi^0 K^0$	223 ± 30	154 ± 14	96 ± 10	—	1875 ± 284	174 ± 38	33
$\Sigma^+ \pi^0 K^0$	63 ± 26	85 ± 21	70 ± 11	—	103 ± 17	117 ± 72	106
$K^0 K^0$	78 ± 23	147 ± 18	64 ± 12	70	71 ± 12	72 ± 11	—
$K^0 K^0$	—	—	—	—	—	63 ± 21	—
$\Sigma^+ K^0 K^0$	101 ± 25	126 ± 17	69 ± 13	90	72 ± 12	80 ± 12	—
$\Sigma^+ K^0 K^0$	—	—	—	—	—	64 ± 22	—
$\Sigma^+ \pi^0 K^0$	—	—	40 ± 7	30	19 ± 4	36 ± 6	5
$\Sigma^+ \pi^0 K^0$	—	—	36 ± 8	—	29 ± 75	70 ± 10	15
$\Sigma^+ \pi^0 K^0$	—	—	44 ± 5	40	29 ± 5	37 ± 7	6
$\Sigma^+ \pi^0 K^0$	71 ± 25	—	55 ± 11	—	33 ± 8	68 ± 11	24
$\Sigma^+ K^0 K^0$	64 ± 37	40 ± 20	24 ± 10	—	56 ± 16	66 ± 10	36
$\Sigma^+ K^0 K^0$	—	—	—	—	—	21 ± 17	—

Если же учесть тот факт, что некоторая часть  $\gamma$ -квантов обусловлена распадами  $\Sigma^0$ -гиперонов, то тогда

$$\Sigma \sigma_{\pi^-p} \rightarrow 2 \text{луча} + K^0 + \pi^0 > 400 \text{ мб},$$

$$\Sigma \sigma_{\pi^-p} \rightarrow 2 \text{луча} + K^0 + 2\pi^0 < 80 \text{ мб}.$$

Пользуясь полученными оценками, мы не включили в систему уравнений /2/ каналы с образованием двух  $\pi^0$ -мезонов.



Полученные величины парциальных сечений представлены в табл. VII, там же приведены результаты ряда работ по определению сечений в близкой области энергий.

### 3. Реакции $\pi^- p \rightarrow 4 \text{ луча} + V^0 + \dots$

Наконец, нами были получены сечения каналов реакций для событий типа  $\pi^- p \rightarrow 4 \text{ луча} + V^0 + \dots$ .

Поскольку таких событий относительно немного и степень однозначности идентификации по результатам обсчета по программе "fit -каналов" реакций достаточно высока, сечения каналов реакций определялись традиционной методикой [10]. Кроме того, проводилась идентификация вторичных частиц по ионизации, длине следов  $\delta$ -электронов, остановке в камере и характерным распадам.

В нашем случае  $\pi^-$ -мезоны и протоны можно было достаточно надежно разделить вплоть до  $p \sim 0,9 \text{ ГэВ/с}$ , а  $\pi^-$  и  $K^-$ -мезоны - до  $p \sim 0,7 \text{ ГэВ/с}$ .

Неоднозначно идентифицированные события при вычислении сечений брались с весами, соответствующими числу однозначно-идентифицированных событий.

Сечения определялись по формуле

$$\sigma_i = \sigma_0 k_i N_i f_i(\bar{c}_y).$$

ТАБЛИЦА VIII.

$n_f$	$\Lambda$	$\Lambda/K^0$	$K^0$	$\Lambda K^0$	$\Lambda/K^0 K^0$	$K^0 K^0$
0	72	57	84	11	1	6
1	33	15	33	1	0	0
2	3	0	6	1		
3			1			
4			1			

ТАБЛИЦА IX.

КАНАЛ	$4,0 \text{ ГэВ}$ $H_2 C$	$3,8+4,2$ $\text{ГэВ/с}$	$4,65 \text{ ГэВ}$ $H_2 C$	$5,0 \text{ ГэВ}$ $H_2 C$	$5,0 \text{ ГэВ/АМ}$ $\text{СЭМБ}$
$\pi^- p \rightarrow p K^+ 2\pi^- K^0$	$12 \pm 8$	$9,7 \pm 2,6$		$24 \pm 6$	$12,7 \pm 6,0$
$p K^+ 2\pi^- K^0$			40	$7 \pm 4$	$8,1 \pm 4,0$
$p K^+ \pi^+ \pi^- K^0$		$15,8 \pm 3,4$	20	$10 \pm 4$	$24,8 \pm 7,0$
$p K^+ \pi^+ \pi^- K^0$				—	$14,8 \pm 6,0$
$2\pi^+ \pi^- K^+ K^0 n$				$5 \pm 3$	$16,2 \pm 6,0$
$2\pi^+ \pi^- K^+ K^0 n$				$8 \pm 4$	$16,8 \pm 6,5$
$2\pi^+ 2\pi^- K^0$	$2 \pm 2$	$3,7 \pm 1,0$	20	$15 \pm 3$	$4,0 \pm 4,0$
$2\pi^+ 2\pi^- K^0$				$11 \pm 4$	$6,2 \pm 4,0$
$2\pi^+ 2\pi^- K^0$	$11 \pm 5$	$19,2 \pm 2,0$	20	$13 \pm 2$	$4,4 \pm 4,0$
$2\pi^+ 2\pi^- K^0$				$6 \pm 3$	$24 \pm 2,4$
$p \pi^+ 2\pi^- K^+ K^0$			30	$28 \pm 15$	$4,0 \pm 1,0$
$\pi^- p \rightarrow K^+ 2\pi^- \Lambda$	$33 \pm 10$	$30 \pm 3,8$	10	$51 \pm 7 (\sqrt{2})$	$22,6 \pm 7,0$
$K^+ \pi^+ 2\pi^- \Lambda$	$12 \pm 6 (\sqrt{2})$		50	$34 \pm 5$	$21 \pm 7$
$K^+ \pi^+ 2\pi^- \Lambda$					$1,3 \pm 0,6$
$K^+ \pi^+ 2\pi^- \Sigma^0$					$4,1 \pm 1,3$
$K^+ \pi^+ 2\pi^- \Sigma^0$					$9,1 \pm 3,0$
$2\pi^+ 2\pi^- \Lambda^0 K^0$	$3 \pm 3 (\sqrt{2})$		20	$12 \pm 3$	$16,9 \pm 5,6$
$2\pi^+ 2\pi^- \Lambda^0 K^0$	$10 \pm 10$				$4,4 \pm 1,3$
$2\pi^+ 2\pi^- \Sigma^0 K^0$					$6,1 \pm 2,0$
$2\pi^+ 2\pi^- \Sigma^0 K^0$					$2 \pm 1$

где  $\sigma_0$ ,  $k_i$  и  $N_i$  - см. определения выше;  $f_i(\overline{\epsilon}_\gamma)$  - множитель, характеризующий вероятность регистрации  $n$   $\gamma$ -квантов ( $n = 0, 1, 2$ ) в данной топологии для конкретного канала реакций.

Распределение событий по числу зарегистрированных  $V^0$  и  $\gamma$ -квантов представлено в табл. VIII.

Полученные значения парциальных сечений приведены в табл. IX, там же представлены результаты ряда работ по определению сечений в близкой области энергий.

### Заключение

В данной работе измерены сечения  $\pi^-p$ -взаимодействий при  $p_{\pi^-} = 5,0$  ГэВ/с, приводящие к образованию  $V^0$ -частиц в сопровождении  $\pi^0$ -мезонов и  $\gamma$ -квантов.

Результаты работы показывают, что применение метровой пропановой камеры с достаточно высокой эффективностью регистрации  $\gamma$ -квантов в сочетании с новой методикой определения сечений /  $\eta_{ij}$ ; или  $\kappa_{ij}$  - коэффициенты / позволяет получить качественно новую и существенную информацию о взаимодействиях элементарных частиц. Это в первую очередь относится к реакциям с рождением большого числа нейтральных частиц и  $\gamma$ -квантов.

В заключение нам хочется выразить благодарность коллективу синхрофазотрона за помощь при облучении камеры, а также лаборантам ЛВТА и ЛЯП за обработку и обсчет событий.

### Литература

1. O.I.Dahl et al. Phys. Rev., 163, 1377, 1967.
2. А.В.Богомолов и др. ПТЭ, 1, 61 /1964/.
3. Ю.А.Будагов и др. Сообщения ОИЯИ, 1-6568, Дубна, 1972.
4. А.Г.Володько и др. Сообщения ОИЯИ, P1-6488, Дубна, 1972.
5. А.Г.Володько и др. Сообщения ОИЯИ, 1-8514, Дубна, 1975.

Н.С.Амаглобели и др. Сообщения ОИЯИ, P1-8699, Дубна, 1975.

6. S.Bartsch et al. Nuovo Cim., 43A, 1010, 1966.
7. L.Bertanza et al. Phys. Rev., 130, 786, 1963.
8. В.В.Глаголев и др. Препринт ОИЯИ, P1-8147, Дубна, 1974.
9. R.Ehrlich et al. Phys. Rev., 152, 1194, 1966.
10. М.Р.Атаян и др. Препринт ОИЯИ, 1-3779, Дубна, 1968.
11. Ю.А.Будагов и др. ЯФ, 11, 395 /1970/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
9 июля 1976 года.