

Г-521

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



18/4-74
P1 - 8147

4496/2-74

В.В.Глаголев, Н.К.Душутин, Е.Н.Кладницкая,
А.А.Кузнецов, Р.М.Лебедев, В.М.Мальцев,
Г.Д.Пестова, В.М.Попова, М.Сабэу, И.С.Саитов

СЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ СТРАННЫХ ЧАСТИЦ
В π^-p ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 5 ГЭВ/С

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

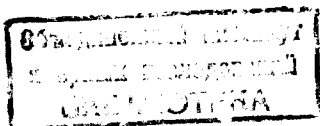
P1 - 8147

В.В.Глаголев, Н.К.Душутин,* Е.Н.Кладницкая,
А.А.Кузнецов, Р.М.Лебедев, В.М.Мальцев,
Г.Д.Пестова, В.М.Попова,* М.Сабзу, И.С.Саитов

СЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ СТРАННЫХ ЧАСТИЦ
В π^-p ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 5 ГЭВ/С

Направлено в ЯФ

* Московский государственный университет



Abstract

Results are presented on $\bar{\pi}^-p$ interactions with strange particle production in the 1 m hydrogen bubble chamber of the JINR^{/2/} at $P_{\pi^-} = (4.9 \pm 0.05) \text{ GeV}/c$. The selection of events and data handling are given in ref. ^{/4/}.

The determined values of the cross sections in millibarns are :

- Total cross section for strange particle production in $\bar{\pi}^-p$ interactions at 4.9 GeV/c is $\sigma_{\text{tot}} = 3.3 \pm 0.1 \text{ mb}$.

- Cross sections for pairs of strange particles

$$\sigma_{\gamma^0 K^0} = 0.52 \pm 0.02; \quad \sigma_{\gamma^0 K^+} = 0.32 \pm 0.02; \quad \sigma_{K^0 K^+} = 0.12 \pm 0.01;$$

$$\sigma_{K^0 K^-} = 0.24 \pm 0.02; \quad \sigma_{K^0 K^+} = 0.16 \pm 0.02; \quad \sigma_{K^0 \Sigma^+} = 0.062 \pm 0.007;$$

$$\sigma_{K^0 \Sigma^-} = 0.084 \pm 0.006; \quad \sigma_{K^+ K^-} = 1.30 \pm 0.15; \quad \sigma_{K^+ \Sigma^-} = 0.073 \pm 0.007;$$

$$\sigma_{K^+ \Sigma^+} = 0.023 \pm 0.004.$$

- Inclusive cross sections $\sigma_{\gamma^0} = 0.85 \pm 0.03$;

$$\sigma_{K^0(\bar{K}^0)} = 1.65 \pm 0.05; \quad \sigma_{\Sigma^+} = 0.078 \pm 0.008;$$

$$\sigma_{\Sigma^-} = 0.150 \pm 0.009; \quad \sigma_{K^+} = 1.98 \pm 0.18; \quad \sigma_{K^-} = 1.76 \pm 0.16.$$

- Topological cross sections $\sigma_0 = 0.38 \pm 0.02$; $\sigma_2 = 1.84 \pm 0.05$;

$$\sigma_4 = 1.02 \pm 0.05; \quad \sigma_6 = 0.058 \pm 0.009; \quad \sigma_8 = 0.003 \pm 0.002.$$

The cross sections of reaction channels are shown in Table IV.

The average charged multiplicity in $\bar{\pi}^-p$ interactions at 4.9 GeV/c is $\langle n_{\pm} \rangle = 2.86 \pm 0.04$, and the value for $\bar{\pi}^-p$ interactions with strange particle production is $\langle n_{\pm} \rangle = 2.46 \pm 0.11$. The average multiplicity of different strange particles produced is

$$\langle n_{\gamma^0} \rangle = 0.037 \pm 0.001, \quad \langle n_{K^0(\bar{K}^0)} \rangle = 0.072 \pm 0.002,$$

$$\langle n_{\Sigma^+} \rangle = 0.010 \pm 0.0005, \quad \langle n_{K^+} \rangle = 0.087 \pm 0.008, \quad \langle n_{K^-} \rangle = 0.076 \pm 0.007.$$

In order to obtain information about the mechanism of interaction, some sum rules were checked using the determined cross sections^{/3/}. Such a test shows that strange particles are produced by different mechanisms and not by a single one (eqs. (4.5) and (4.6) from^{/3/}). Therefore these sum rules and those (4.10)^{/3/}, which take into account a large contribution of diffractive processes, are not fulfilled. An agreement was obtained for the sum rules (4.7) and (4.8) for $n = 4$. The basic assumption for these sum rules was that uncorrelated two-particle (4.7)^{/3/} and multiparticle (4.8)^{/3/} resonances were produced.

© 1974 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

Изучению рождения странных частиц посвящено большое число экспериментальных работ, однако для π^-p -взаимодействий при $P_{\pi^-} = 5 \text{ ГэВ}/c$ данные по сечениям каналов реакций, особенно с образованием заряженных странных частиц, относительно бедны^{/1, 10 /}.

В данной работе сообщаются сечения реакций с образованием странных частиц при импульсе $P_{\pi^-} = 4,9 \text{ ГэВ}/c \pm 50 \text{ МэВ}$, определенных с помощью 100-сантиметровой водородной камеры ОИЯИ^{/2/}. Полученные сечения сравниваются с данными при других энергиях и используются для анализа механизма рождения странных частиц, путем проверки правил сумм для сечений^{/3/}.

Методические вопросы, связанные с просмотром, измерением, обчислением, а также идентификацией событий, включающих странные частицы, изложены в работе^{/4/}. В этой же работе были рассмотрены методические вопросы разделения событий по каналам реакций.

1. СЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ СТРАННЫХ ЧАСТИЦ.

1а. Инклюзивные сечения.

Сечения одночастичных инклюзивных реакций определялись по формуле

$$\sigma_i = a N_i, \quad /1/$$

где $a = 0,52 \text{ мкбн/событие}$ - нормировочный коэффициент, включающий поправку на эффективность просмотра^{/4/}.

Для нормировки использовалось полное сечение $\pi^- p$ -взаимодействий при $P_{\pi^-} = 4,9 \text{ ГэВ/с}$, равное $\sigma_{\text{tot}}^{\pi^- p} = 29,29 \text{ Мб}^{/5/}$. N_i - полное число странных частиц определенного типа, образовавшихся в эффективном объеме камеры. Оно равно сумме весов: $N_i = \sum W_i$, а $W_i = W_{i1} \cdot W_{i2} \cdot W_{i3}$, где $W_{i1} = \{ \exp(-L_{\text{min}}/L) - \exp[-(L_{\text{pot}} - 0,5)/L] \}^{-1}$, $L_{\text{min}} = 0,5 \text{ см}$, L_{pot} - потенциальная длина, L - средний распадный пробег для странной частицы /все в см./, W_{i2} - поправка на нерегистрируемые моды распада, W_{i3} - экспериментально определенная поправка, учитывающая потери событий с распадами Σ^+ -гиперонов на протон и π^0 -мезон /для остальных странных частиц $W_{i3} = 1$ /.

При определении сечений двухчастичных инклюзивных реакций за N_i принималось полное число пар странных частиц определенного типа. В описываемом эксперименте зарегистрированные пары K^0 -мезонов являются $K_1^0 K_1^0$ -парами. Для них и определялись сечения. Сечения образования $K^0 \bar{K}^0$ -пар могут быть оценены с помощью соотношения ^{/6/}.

$$2N_{K_1^0 K_1^0} \leq N_{K^0 \bar{K}^0} \leq 4N_{K_1^0 K_1^0}.$$

Полученные значения сечений даны в табл. I. Все приводимые нами ошибки - статистические.

На рис. 1 приведены инклюзивные сечения образования $K^0 \bar{K}^0$, $\Upsilon^0 K^0$, $\Upsilon^\pm K^0$ пар вместе с сечениями для других значений первичного импульса ^{/7/}.

1б. Полное сечение.

Полное сечение рождения странных частиц $\sigma_{\text{tot}} = 3,3 \pm 0,1 / \text{Мб}$. при условии, что $\sigma_{K^0 \bar{K}^0} = 4\sigma_{K_1^0 K_1^0}$.

На рис. 2 полученное полное сечение приведено вместе с сечениями для других значений первичного импульса ^{/1/}.

1в. Топологические сечения. Средние множественности.

Топологические сечения приведены в табл. II. Средние множественности рождения странных частиц

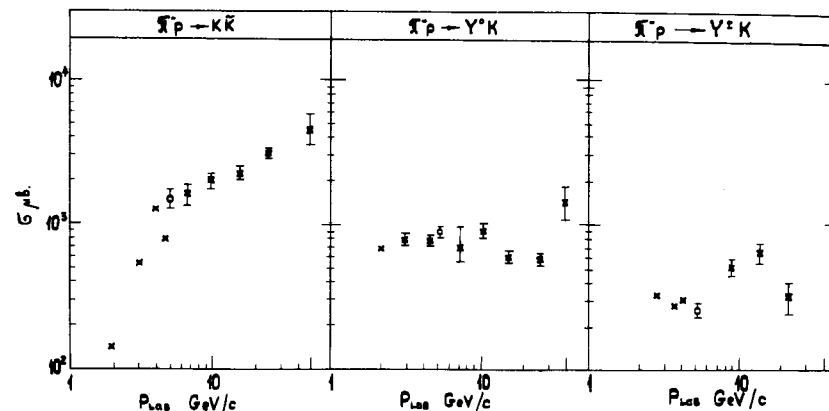


Рис. 1. Зависимость сечений рождения $K^0 \bar{K}^0$, $\Upsilon^0 K^0$, $\Upsilon^\pm K^0$ -пар в $\pi^- p$ -взаимодействиях от импульса налетающей частицы. Здесь и далее везде $\bar{\sigma}$ - значения в нашем эксперименте.

в $\pi^- p$ -взаимодействиях представлены в табл. III. Сравнение полученных результатов со средней множественностью рождения Λ^0 -гиперона $\langle n_{\Lambda^0} \rangle = 0,07 \pm 0,01$ и K^0 -мезона $\langle n_{K^0} \rangle = 0,24 \pm 0,03$ при импульсе налетающей частицы, равной $40 \text{ ГэВ/с}^{/9/}$, говорит о том, что среднее число странных частиц на одно неупругое взаимодействие растет с увеличением энергии.

При импульсе $4,9 \text{ ГэВ/с}$ средняя множественность заряженных частиц в процессах с рождением странных частиц $\langle n_{\pm} \rangle = 2,46 \pm 0,11$; средняя множественность заряженных частиц в $\pi^- p$ -взаимодействиях $\langle n_{\pm} \rangle = 2,87 \pm 0,04$.

Видно, что странные частицы рождаются в процессах с меньшей множественностью заряженных частиц при данной энергии.

2. СЕЧЕНИЯ КАНАЛОВ РЕАКЦИЙ.

Сечения каналов реакций определялись:

а/ по событиям, где были зарегистрированы распады обеих странных частиц;

Таблица I
(сечения в мб)

$\sigma_{\gamma^+ \dots}$	$\sigma_{K^0(\bar{K}^0)^+ \dots}$	$\sigma_{\Sigma^+ \dots}$	$\sigma_{\Sigma^- + \dots}$	$\sigma_{K^+ \dots}$	$\sigma_{K^- + \dots}$
$0,85 \pm 0,03$	$1,65 \pm 0,05$	$0,078 \pm 0,008$	$0,150 \pm 0,009$	$1,98 \pm 0,18$	$1,76 \pm 0,16$
$\sigma_{\gamma^+ K^+ \dots}$	$\sigma_{K^+ K^+ \dots}$	$\sigma_{K^0 \Sigma^+ \dots}$	$\sigma_{K^0 \Sigma^- \dots}$	$\sigma_{K^+ K^- \dots}$	$\sigma_{K^+ \Sigma^+ \dots}$
$0,52 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,01$	$0,062 \pm 0,007$	$0,084 \pm 0,006$	$1,30 \pm 0,15$	$0,073 \pm 0,007$
	$0,24 \pm 0,02$	$0,062 \pm 0,007$	$0,084 \pm 0,006$	$0,15$	$0,007$
	$0,02$	$0,02$	$0,006$	$0,007$	$0,004$

Таблица II

n_{\pm}	0	2	4	6	8	сумма
σ (в мкб)	$0,38 \pm 0,02$	$1,84 \pm 0,05$	$1,02 \pm 0,05$	$0,058 \pm 0,009$	$0,003 \pm 0,002$	$3,3 \pm 0,1$

Таблица III

$\langle n_{\gamma^0} \rangle$	$\langle n_{K^0(\bar{K}^0)} \rangle$	$\langle n_{\Sigma^+} \rangle$	$\langle n_{K^+} \rangle$	$\langle n_{K^-} \rangle$
$0,037 \pm 0,001$	$0,072 \pm 0,002$	$0,010 \pm 0,0005$	$0,087 \pm 0,008$	$0,076 \pm 0,007$

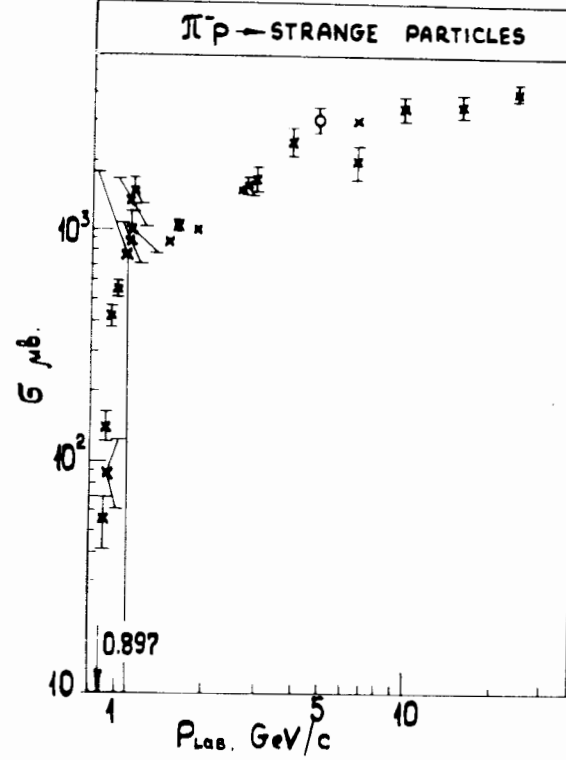


Рис. 2. Зависимость полного сечения рождения странных частиц в π^-p -взаимодействиях от импульса налетающей частицы.

б/ по событиям, где зарегистрирован распад только одной странной частицы;

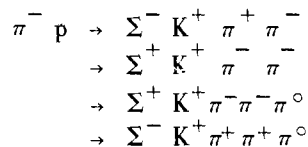
в/ по всем событиям, где зарегистрирован распад хотя бы одной частицы;

Все три значения сечений обычно были близкими, но выбиралось статистически наиболее обеспеченное. В табл. IV даны значения сечений каналов реакций с образованием странных частиц. На рис. 3-6 приводятся полученные сечения вместе с данными при других энергиях.

Таблица IV.

Канал реакции	$\sigma \pm \Delta\sigma$ (мкб)	Канал реакции	$\sigma \pm \Delta\sigma$ (мкб)	Канал реакции	$\sigma \pm \Delta\sigma$ (мкб)
$\Upsilon^- K^+$	60.3 ± 8.7	$\rho K^+ K^+ \pi^0$	56 ± 10	$\Upsilon^- K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$	51 ± 7
$\Sigma^- K^+$	3 ± 1	$\rho K^+ K^+ \pi^-$	15 ± 2	$\Lambda^- K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$	103 ± 17
$NK^+ K^0$	44 ± 8	$\Upsilon^- K^+ \pi^+ \pi^-$	187.5 ± 28.4	$\Sigma^- K^+ \pi^+ \pi^-$	15 ± 3
$NK^+ K^-$	166 ± 39	$\Lambda^- K^+ \pi^+ \pi^0$	43 ± 27	$\Sigma^- K^+ \pi^+ \pi^-$	17 ± 3
$\rho K^+ K^0$	56 ± 10	$\Sigma^- K^+ \pi^+ \pi^-$	29 ± 7.5	$\Sigma^- K^+ \pi^+ \pi^-$	13 ± 2
$\rho K^+ K^+$	28 ± 5	$\Sigma^- K^+ \pi^+ \pi^-$	33 ± 8	$\Sigma^- K^+ \pi^+ \pi^-$	8 ± 3
$\Upsilon^- K^+ \pi^0$	79 ± 20	$\Sigma^- K^+ \pi^+ \pi^-$	22 ± 4	$NK^+ K^+ \pi^+ \pi^-$	5 ± 3
$\Upsilon^- K^+ \pi^-$	74.8 ± 13	$\Sigma^- K^+ \pi^+ \pi^-$	44 ± 3	$NK^+ K^+ \pi^+ \pi^-$	8 ± 4
$\Sigma^- K^+ \pi^0$	21 ± 4	$NK^+ K^+ \pi^+ \pi^-$	14 ± 4	$\rho K^+ K^+ \pi^+ \pi^-$	7 ± 4
$\Sigma^- K^+ \pi^+$	29 ± 5	$NK^+ K^+ \pi^+ \pi^-$	114 ± 20	$\rho K^+ K^+ \pi^+ \pi^-$	7 ± 4
$\Sigma^- K^+ \pi^-$	19 ± 4	$\rho K^+ K^+ \pi^+ \pi^-$	24 ± 6	$\Lambda^- K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$	12 ± 3
$NK^+ K^+ \pi^+$	72 ± 12	$\rho K^+ K^+ \pi^+ \pi^-$	10 ± 4	$\Lambda^- K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$	34 ± 5
$NK^+ K^+ \pi^-$	71 ± 12.8	$\rho K^+ K^+ \pi^+ \pi^-$	50 ± 14	$\Sigma^- K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$	11 ± 4
$\rho K^+ K^+ \pi^-$	74 ± 20	$\rho K^+ K^+ \pi^+ \pi^-$	12 ± 4	$\Sigma^- K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$	6 ± 3

Видно, что в реакциях



при импульсе /4-5/ ГэВ/с намечается прекращение роста сечений этих каналов.

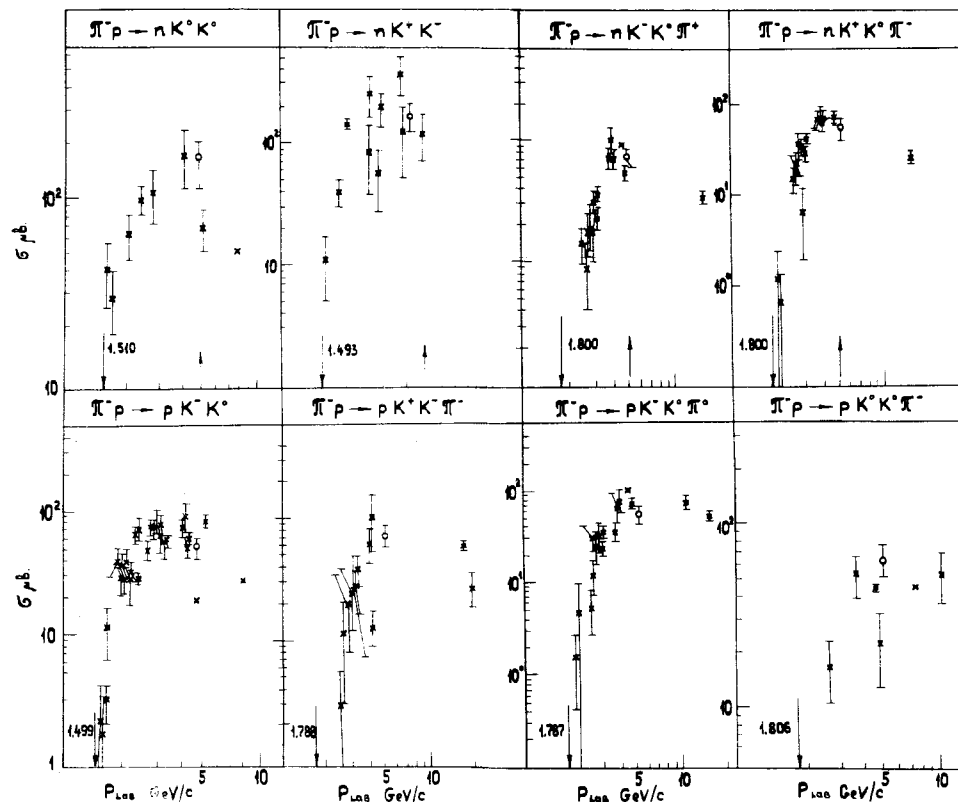


Рис. 3. Зависимость сечений каналов реакций, включающих КК - пары, от импульса налетающей частицы.

Значительный интерес представляет сравнение полученных результатов с теоретическими моделями адронных взаимодействий, в частности, с моделями процессов в области высоких энергий. Сопоставление с теоретическими моделями было сделано в рамках полуинклюзивного описания эксперимента /3/.

В таком описании выделяются каналы с фиксированной частицей, и сечения процессов, в которых образуется одинаковое число других вторичных частиц, суммируются. Проверка показала, что правила сумм, выведенные для

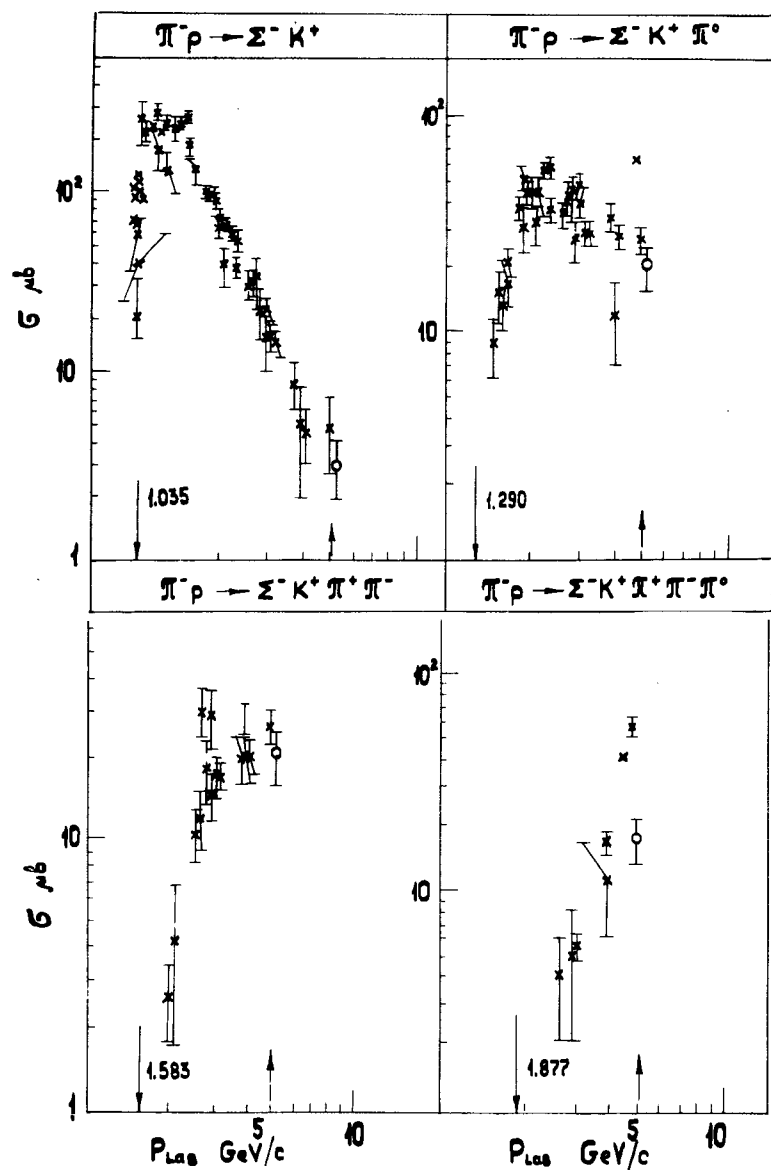


Рис. 4. Зависимость сечений каналов реакций, включающих $\Sigma^- K^+$ - пары, от импульса налетающей частицы.

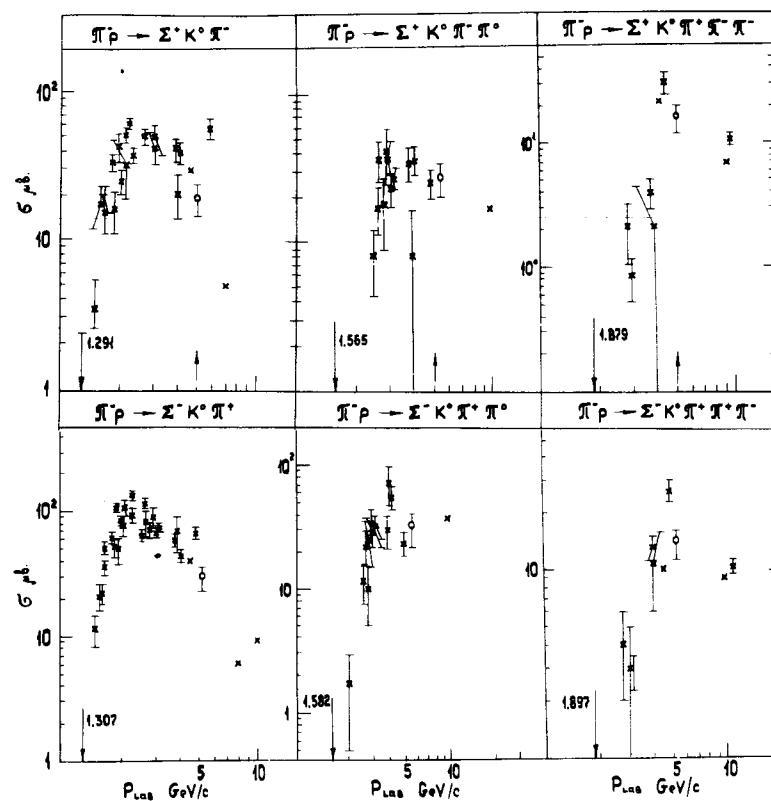


Рис. 5. Зависимость сечений каналов реакций, включающих $\Sigma^\pm K^0$ - пары, от импульса налетающей частицы.

одного чистого механизма образования вторичных частиц /соотношения /4,5/ и /4,6/ из $^{3/}$, а также правило сумм /4,10/ $^{3/}$, учитывающее большой вклад дифракционных процессов в образовании вторичных частиц, не выполняются.

Согласие получено для правил /4,7/ $^{3/}$ и /4,8/ $^{3/}$ при $n = 4$:

$$\frac{(n+1)\sigma_{n+1} - \sigma_n}{n\sigma_n - \sigma_{n-1}} = \frac{n\sigma_n - \sigma_{n-2}}{(n-1)\sigma_n - \sigma_{n-2}} \quad /4,8/$$

Таблица V

пра- вило	n	канал реак- ции	левая часть	правая часть	пра- вило	n	канал реак- ции	левая часть	правая часть
4,7	n=3	все каналы	26	7	4,8	n=4	K ⁻ K ⁰	0,14	1,3
--	n=4	--	12	9	--	--	Y ⁰	0,6	1,2
--	n=5	--	22,2	11	--	--	Σ ⁻	0,6	1,2
--	n=4	Y ⁰ K ⁰	22,2	9,2	--	--	K ⁰	0,9	1,1
--	n=4	Y ⁰ K ⁺	28	9	--	--	K ⁺	0,9	1,2
--	n=4	Σ ⁻ K ⁺	11,4	9,1	--	--	K ⁻	0,9	0,8
--	n=4	Σ ⁺ K ⁰	15,7	9	4,9	n=3	все каналы	4,2	28,8
--	n=4	K ⁰ K ⁰	5,5	9	--	n=4	--	2,5	4,3
--	n=4	K ⁰ K ⁻	79	9	--	n=5	--	1,6	1,9
--	n=4	Y ⁰	22	9,3	--	n=4	Y ⁰ K ⁰	2,5	10,8
--	n=4	K ⁰	11	9,1	--	--	Y ⁰ K ⁺	2,04	5,7
--	n=4	K ⁻	13	9	--	--	Σ ⁺ K ⁰	2,2	3,9
--	n=4	K ⁺	12,7	9	--	--	Σ ⁻ K ⁺	2,3	3,3
--	n=4	Σ ⁻	23,7	9,1	--	--	K ⁰ K ⁰	2,16	2,16
4,8	n=3	все каналы	1,9	1,4	--	--	K ⁺ K ⁻	3,3	3,2
--	n=4	--	0,84	1,1	--	--	K ⁺ K ⁰	2	3,5
--	n=5	--	0,08	1,15	--	--	K ⁻ K ⁰	1,7	5,9
--	n=4	Y ⁰ K ⁰	0,8	1,3	--	--	Y ⁰	2,3	6,8
--	--	Y ⁰ K ⁺	0,3	1,2	--	--	Σ ⁺	2,2	5,8
--	--	Σ ⁻ K ⁺	0,7	1,1	--	--	Σ ⁻	2,3	7,2
--	--	Σ ⁺ K ⁰	0,6	1,1	--	--	K ⁰	3,3	4,1
--	--	K ⁰ K ⁰	1,5	0,93	--	--	K ⁺	2,5	6,5
--	--	K ⁺ K ⁻	1,15	1,04	--	--	K ⁻	2,3	5,3

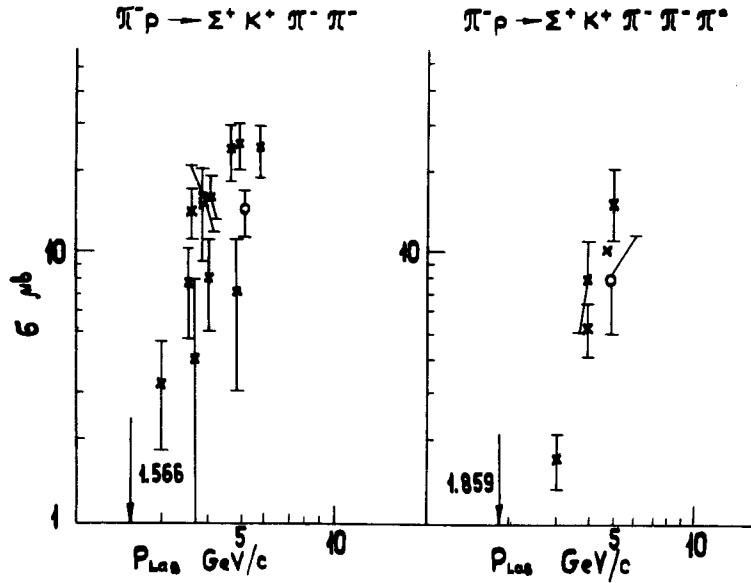


Рис. 6. Зависимость сечений каналов реакций, включающих Σ⁺K⁺-пары, от импульса налетающей частицы.

$$\begin{aligned}
 & \frac{n^2}{n-1} \times \frac{\sigma_n^2}{\sigma_{n-1} \cdot \sigma_{n+1}} + \frac{(n+1)(n-2)}{n} \times \frac{\sigma_{n-2} \cdot \sigma_{n+1}}{\sigma_n \cdot \sigma_{n-1}} + \\
 & + \frac{(n+2)(n-1)}{n+1} \times \frac{\sigma_{n+2} \cdot \sigma_{n-1}}{\sigma_n \cdot \sigma_{n-1}} = \frac{n^2-4}{n+1} \times \\
 & \times \frac{\sigma_{n+2} \cdot \sigma_{n-2}}{\sigma_{n+1} \cdot \sigma_{n-1}} + 2n+1,
 \end{aligned}$$

/4,7/

что видно из табл. V.

При выводе этих правил предполагалось, что в процессах генерации наиболее существенно некоррелированное образование 2-частичных /4,7 /³/ или многочастичных /4,8 /³/ резонансов. Подобный механизм генерации приводит к распределениям по множественности вида

распределения Мюллера^{/7/} для /4,7/^{/3/} и обобщенного распределения Пуассона^{/8/} для /4,8/^{/3/}, что хорошо согласуется с существующими данными в области высоких энергий.

Необходимо отметить также, что каналы с образованием $K^0 \bar{K}^0$ и $K^- K^+$ - пар удовлетворяют правилу /4,9/^{/3/}, что видно из той же табл. V. Это правило учитывает комбинированный механизм независимого и дифракционного образования частиц.

Значения правой и левой частей проверенных правил определены с точностью ~30%, что обусловлено оценкой вклада некоторых каналов реакций с образованием более чем двух нейтральных частиц.

Таким образом, процессы образования странных частиц в $\pi^- p$ - взаимодействиях при $P_{\pi^-} = 4,9$ ГэВ/с по интегральным характеристикам подобны процессам множественной генерации при более высоких энергиях. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют об отсутствии одного чистого механизма образования вторичных частиц.

Авторы благодарны проф. М.И.Подгорецкому и проф. А.К.Михулу за обсуждение результатов, Т.П.Тонеевой, А.А.Куракиной, В.Н.Емельяненко за большую помощь в подготовке материала и проведение расчетов, И.А.Первушиной - за оформление чертежей и таблиц, а также лаборантам ЛВГА, просмотрщицам и измерителям, которые принимали участие в выполнении данной работы.

Литература

1. I.Berceanu, S.Berceanu, T.Besliu, A.Mihul. JINR, E1-6327, Dubna (1972).
2. A.V.Belonogov, A.A.Belushkina, R.Vinaver et al. Nucl. Instr. and Meth., 20, 114 (1963).
3. N.K.Dushutin, V.M.Maltsev. JINR, E2-7276, Dubna (1973).
4. В.В.Глаголев, Е.Н.Кладницкая, А.А.Кузнецов и др. ОИЯИ, 1-7884, Дубна /1974/.
5. E.Flauminio, J.D.Hausen, D.R.O.Morrison, N.Tovey. CERN/HERA, 70-7.
6. В.Н.Огиевецкий, Э.О.Оконов, М.И.Подгорецкий. ЖЭТФ, т.43, в.2 /8/, 1962.

7. A.H.Mueller. Phys. Rev., D4, 150 (1971).

8. Т.Корн, Т.Корн. Справочник по математике, Издательство "Наука", Москва, 1970, стр. 509.

9. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, К.П.Вишневский и др. Препринт ОИЯИ, P1-7267 /1973/, Дубна, ЯФ, т.18, в.6, 125 /1973/.

10. Ю.А.Будагов, В.Б.Виноградов, А.Г.Володько и др. ОИЯИ 1-6568, Дубна /1972/.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 июля 1974 года.