

D-419

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



3102/2-76

9/viii-76
P1 - 9675

С.В. Джмухадзе, Е.Н. Кладницкая, В.М. Попова

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
В π^- -p-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
С РОЖДЕНИЕМ СТРАННЫХ ЧАСТИЦ

1976

P1 - 9675

С.В.Джмухадзе, Е.Н.Кладницкая, В.М.Попова*

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
В π^- -p-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
С РОЖДЕНИЕМ СТРАННЫХ ЧАСТИЦ

Направлено в ЯФ

*Физический факультет МГУ.

1. Введение

В последние годы большое внимание уделяется изучению множественности вторичных частиц в адронных соударениях. Такой интерес вызван тем, что энергетическая зависимость средних множественностей, вид распределений по ним позволяют судить о применимости тех или иных теоретических моделей. В частности, класс статистических моделей предсказывает степенной рост множественности с энергией, а мультипериферические модели - логарифмический. Множественности в $\pi^+\pi^-$ и $p\bar{p}$ -взаимодействиях с рождением заряженных пионов исследованы довольно широко /см., напр., /1/ /. Для $p\bar{p}$ -взаимодействий в интервале энергий 4-70 ГэВ зависимость средней множественности от энергии степенная, в интервале $50 < s < 2 \cdot 10^5$ /ГэВ/² эта зависимость логарифмическая. Для $\pi^+\pi^-$ -столкновений в области $4 \text{ ГэВ}/c < p_{\pi^{\pm}}^{\text{либ}} < 205 \text{ ГэВ}/c$ данные по средней множественности лучше согласуются с логарифмической зависимостью.

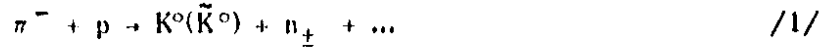
Интересно проследить аналогичные зависимости для соударений адронов, приводящих к образованию странных частиц. Влияет ли рождение Λ -гиперонов и K^0 -мезонов на множественность рождающихся вместе с ними заряженных частиц? Отличается ли энергетическая зависимость средних множественностей, образовавшихся в этих соударениях частиц, от описанных выше? Есть ли корреляции в рождении странных и нестранных адронов?

Экспериментальный материал по рождению странных частиц, однако, довольно беден, не всегда публикуются сведения о множественности вторичных частиц в соударениях с образованием странных частиц.

В настоящей работе исследовались множественности вторичных заряженных частиц в π^- - p -взаимодействиях с рождением нейтральных странных частиц при импульсах первичных пионов, равных 4,9; 7,5 и 40 ГэВ/с. Кроме того, при анализе распределений использовались данные работ при 18,5^{/2/}, 20^{/3/}, 100^{/4/} и 205 ГэВ/с^{/5/}.

2. Экспериментальные результаты

Исследуется множественность заряженных частиц, рождающихся вместе со странными частицами в следующих инклюзивных реакциях:



/обозначение Y^0 относится к Λ - и Σ^0 -гиперонам/. Множественности заряженных частиц, образующихся в реакциях /1/ и /2/, сравнивались с множественностью частиц в реакции /6/



При импульсе 4,9 ГэВ/с все эти реакции наблюдались в 100-сантиметровой водородной камере ОИЯИ /7, 8/. При импульсах 7,5 и 40 ГэВ/с реакции /1/ и /3/ изучались с помощью пропановых камер^{/9-13/}. В табл. 1 приводятся числа наблюдаемых странных частиц и средние множественности заряженных частиц, сопровождающих их рождение. На рис. 1 приводится зависимость средней множественности заряженных частиц $\langle n_{\pm} \rangle$ от импульса налетающего пиона для реакций /1/ и /2/. Там же для сравнения нанесены данные для реакции /3/. Можно видеть, что $\langle n_{\pm} \rangle_{K^0, Y^0}$ растут логарифмически с увеличением $p_{\pi^-}^{лаб}$ от 4,9 до 205 ГэВ/с одинаковым

образом. Этот рост идет несколько быстрее, чем изменение $\langle n_{\pm} \rangle$ для реакции /3/ в том же интервале импуль-

Таблица I

$P_{\pi^-}^{лаб}$ (ГэВ/с)	$\pi^- p \rightarrow Y^0 + n_{\pm} + \dots$	$\pi^- p \rightarrow K^0(\bar{K}^0) + n_{\pm} + \dots$	$\pi^- p \rightarrow n_{\pm} + \dots$
	N_{Y^0}	$N_{K^0(\bar{K}^0)}$	$\langle n_{\pm} \rangle$
4,9	952	1082	2,87±0,04 ^{/8/}
7,5	398	567	3,15±0,09 ^{/10/}
18,5	1369	2783	4,39±0,05 ^{/15/}
20	128	203	4,60±0,05 ^{/3/}
40	204	342	5,62±0,04 ^{/12/}
100	60	102	6,79±0,08 ^{/15/}
205	118	248	8,02±0,12 ^{/15/}

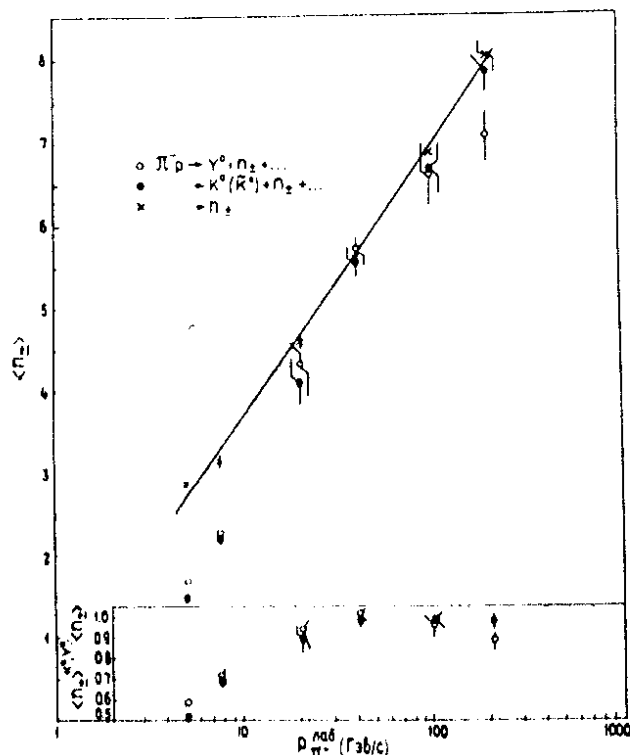


Рис. 1. Зависимость средних множественностей заряженных частиц в π^-p -взаимодействиях [реакции /1/ и /3/] от импульса налетающего π^- -мезона в лабораторной системе. Прямая линия - результат аппроксимации данных для реакции $\pi^-p \rightarrow n_{\pm} + \dots$ функцией вида $\langle n_{\pm} \rangle = A_1 + A_2 \ln \sqrt{s}$.

сов π^- -мезонов. На рисунке даются отношения средних множественностей заряженных частиц в реакциях с образованием странных частиц к $\langle n_{\pm} \rangle$ в реакции /3/. Видно, что в интервале $20 \text{ ГэВ/с} \leq p_{\pi^-}^{lab} \leq 205 \text{ ГэВ/с}$ это отношение близко к единице, а при импульсах 4,9 и 7,5 ГэВ/с $\langle n_{\pm} \rangle^{K^0, \gamma^0}$ меньше $\langle n_{\pm} \rangle$. Это связано с тем, что при таких импульсах π^- -мезонов энергия, которая может пойти на образование заряженных частиц в реакциях /1/ и /2/, заметно меньше, чем в реакции /3/. Чтобы исключить эту неравноправность в условиях рож-

дения частиц, были построены распределения $\langle n_{\pm} \rangle^{K^0(\bar{K}^0)}$ и $\langle n_{\pm} \rangle^{\gamma^0}$ в зависимости от доступной энергии E_g , /рис. 2/, где мы полагаем $E_g = \sqrt{s} - M$, $M = 0$ для реакции /3/, $M = 2m_{K^0}$ для реакции /1/ и $M = m_{K^0} + m_{\Lambda}$ для реакции /2/. Как видно из рисунка, экспериментальные значения $\langle n_{\pm} \rangle^{K^0(\bar{K}^0)}$ и $\langle n_{\pm} \rangle^{\gamma^0}$ в пределах ошибок имеют ту же зависимость от E_g , что и $\langle n_{\pm} \rangle$ /6/.

Следовательно, среднее число заряженных частиц в разных реакциях определяется энергией, доступной для образования заряженных частиц. С этой точки зрения представляет интерес сравнение средних множественностей заряженных частиц, сопровождающих рождение странных частиц в π^-p - и pp -взаимодействиях /14/, от E_g , где $E_g = \sqrt{s} - M_M - M_{II}$, M_M - масса частицы мишени, а M_{II} - масса налетающей частицы. На рис. 3 представлены эти зависимости и можно видеть, что они в пределах ошибок совпадают в исследуемом интервале энергий.

Все рассмотренные зависимости аппроксимировались функциями типа

$$\langle n_{\pm} \rangle = A_1 + A_2 \ln(B/s_0) \quad /4/$$

и

$$\langle n_{\pm} \rangle = A_3 (B/s_0)^{A_4} \quad /5/$$

где $s_0 = 1 \text{ ГэВ}$, A_i - свободные параметры. Результаты аппроксимации приведены в табл. 2, из которой ясно значение величины B . Анализ этой таблицы позволяет сделать вывод, что в исследуемом интервале энергий зависимость от энергии среднего числа заряженных частиц, образующихся в π^-p - и pp -соударениях вместе с нейтральными странными частицами и без них, прак-

*Здесь из $\langle n_{\pm} \rangle^{\gamma^0}$ исключено среднее число K^+ -мезонов.

Таблица 2

Реакция	В	$\langle n_{\pm} \rangle = A_1 + A_2 \ln(B/s^0)$			$\langle n_{\pm} \rangle = A_3(B/s^2)^{A_4}$			2 / число степеней свободы
		A ₁	A ₂	число степеней свободы	A ₃	A ₄	X	
$\pi^- p \rightarrow K^0(K^+) + n_{\pm} + \dots$	\sqrt{S}	-2,88±0,15	3,74±0,09	9,3/4	0,57±0,02	0,92±0,02	148/4	
$\pi^- p \rightarrow K^0(K^+) + n_{\pm} + \dots$	$\sqrt{S} - 2m_{K^0}$	-1,00±0,08	3,08±0,08	5,9/4	0,88±0,03	0,79±0,02	105/4	
$\pi^- p \rightarrow K^0(K^+) + K_{\pm} + \dots$	$\sqrt{S} - m_{K^0} - m_{K_{\pm}}$	-0,83±0,08	3,02±0,08	6,0/4	0,92±0,03	0,78±0,02	106/4	
$pp \rightarrow K^0(K^+) + n_{\pm} + \dots$	$\sqrt{S} - 2m_p$	-0,74±0,40	3,10±0,27	7,7/4	1,64±0,09	0,60±0,03	3,3/4	
$\pi^- p \rightarrow n_{\pm} + \dots$	\sqrt{S}	-0,83±0,05	2,95±0,05	8,5/7	1,46±0,03	0,61±0,01	56/7	
$\pi^- p \rightarrow Y^0 + n_{\pm} + \dots$	\sqrt{S}	-2,36±0,15	3,47±0,12	18/4	0,66±0,03	0,86±0,02	102/4	
$\pi^- p \rightarrow Y^0 + n_{\pm} + \dots$	$\sqrt{S} - m_{K^0} - m_{K^+}$	0,03±0,05	2,42±0,07	12,7/4	0,90±0,02	0,76±0,02	97/4	
$\pi^- p \rightarrow Y^0 + n_{\pm} + \dots$	$\sqrt{S} - m_p - m_{K^+}$	-0,44±0,09	2,79±0,09	14/4	1,03±0,03	0,72±0,02	74/4	
$pp \rightarrow Y^0 + n_{\pm} + \dots$	$\sqrt{S} - 2m_p$	-0,09±0,44	2,64±0,30	3,5/4	1,61±0,10	0,56±0,04	2,4/4	
$pp \rightarrow n_{\pm} + \dots$	\sqrt{S}	-0,405±0,033	2,47±0,02	308/15	1,27±0,010	0,61±0,01	126/15	

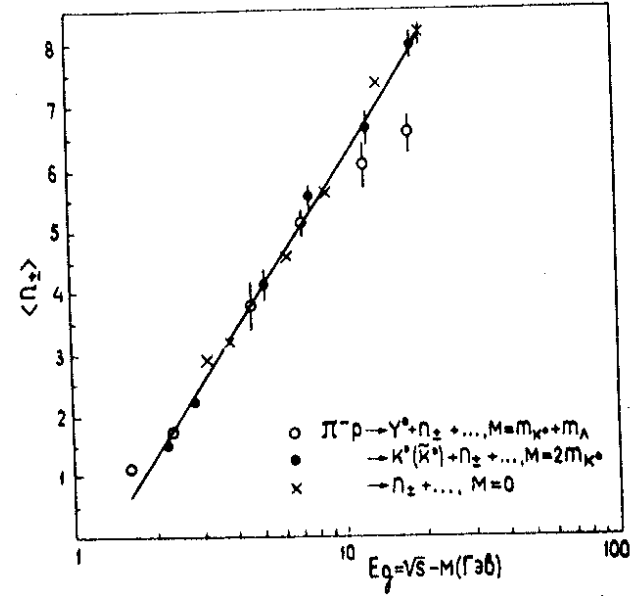


Рис. 2. Зависимость средних множественностей заряженных частиц в реакциях /1/-/3/ от доступной энергии в системе центра масс. Прямая линия - результат аппроксимации данных для реакции $\pi^- p \rightarrow n_{\pm} + \dots$ функцией вида $\langle n_{\pm} \rangle = A_1 + A_2 \ln E$. Из $\langle n_{\pm} \rangle$ Y^0 исключено $\langle n_{K^+} \rangle$.

тически не зависит от природы налетающей частицы, так же как и от природы образующейся странной частицы, если рассматривать зависимость $\langle n_{\pm} \rangle$ от "доступной" в данной реакции энергии. Данные по множественности для $\pi^- p$ -взаимодействий лучше согласуются с логарифмическим ростом $\langle n_{\pm} \rangle$ с энергией, а данные для pp -взаимодействий удовлетворяют и логарифмическому и степенному законам в исследуемом диапазоне энергий. Это говорит в пользу лучшей применимости мультипериферических моделей по сравнению со статистическими.

На рис. 4 показаны вероятности образования нейтральных странных частиц в событиях с различным числом заряженных частиц $\sigma_n^{Y^0, K^0} / \sigma^{Y^0, K^0} = f(n_{\pm})$ для $\pi^- p$ -

взаимодействий в интервале от 4,9 до 205 ГэВ/с. Здесь $\sigma_n^{Y^0, K^0}$ - сечение рождения Y^0 или $K^0(K^0)$ частиц

в событиях с n заряженными частицами, а $\sigma_n^{Y^0, K^0} =$

$= \sum_n \sigma_n^{Y^0, K^0}$ - инклюзивное сечение рождения нейтральных странных частиц.

При низких энергиях наблюдается один максимум при малых множественностях как в событиях с Y^0 -гиперонами, так и в событиях с $K^0(K^0)$ -мезонами. При

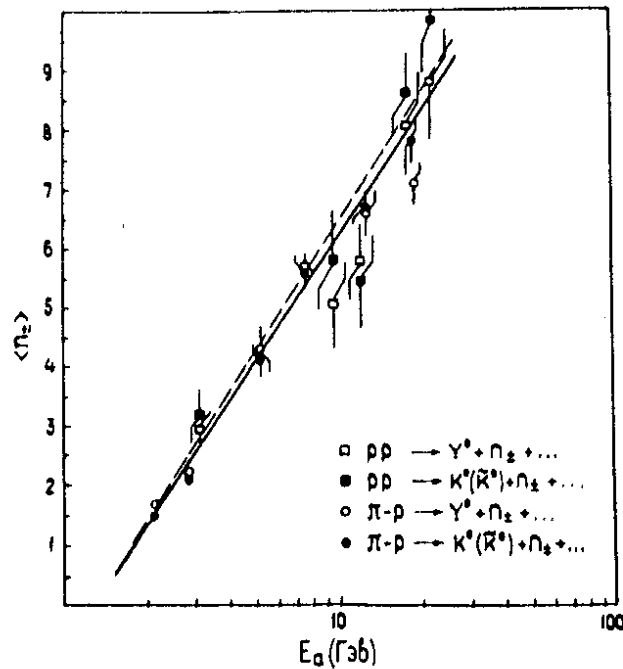


Рис. 3. Зависимость средних множественностей заряженных частиц в π^-p - и pp -взаимодействиях от E_a в системе центра масс /см. текст/. Сплошная линия - результат аппроксимации функцией $\langle n_{\pm} \rangle = A_1 + A_2 \ln E_a$

данных для реакции $\pi^-p \rightarrow K^0(\bar{K}^0) + n_{\pm} + \dots$, пунктирная - для реакции $pp \rightarrow K^0(\bar{K}^0) + n_{\pm} + \dots$

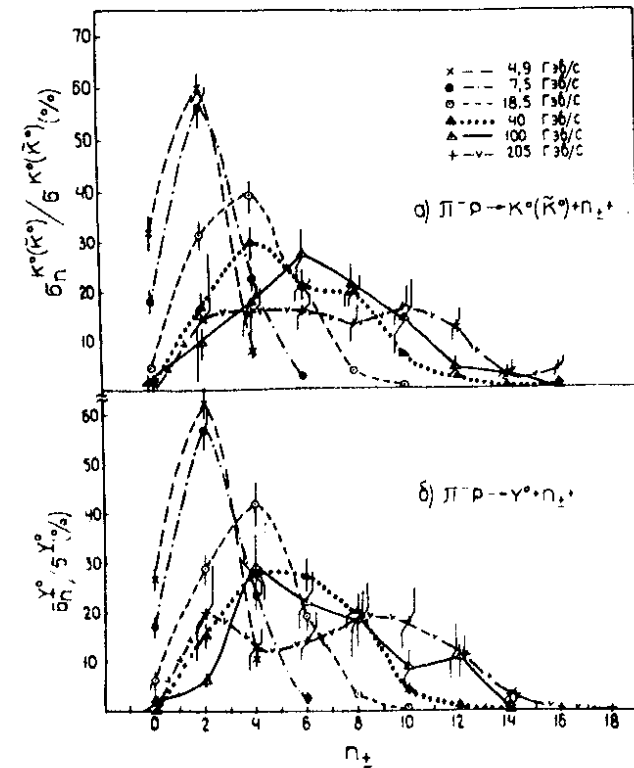


Рис. 4. Зависимость вероятности образования нейтральных странных частиц от числа заряженных частиц в событии. Кривые проведены от руки, они соединяют точки при одинаковом $p_{\pi^-}^{лаб}$.

возрастании энергии он сдвигается в сторону больших множественностей и расширяется. А при импульсе, равном 205 ГэВ/с, появляются намеки на второй максимум. На рис. 5 приводится зависимость отношения $\langle n_{\pm} \rangle / D$ от $p_{\pi^-}^{лаб}$ для реакций /1/ и /2/. Здесь $D = (\langle n_{\pm}^2 \rangle - \langle n_{\pm} \rangle^2)^{1/2}$ - дисперсия распределения по множественности. Для импульсов пионов выше 20 ГэВ/с это отношение в пределах экспериментальных ошибок не противоречит значению, равному 2. При 4,9 и 7,5 ГэВ/с отношение $\langle n_{\pm} \rangle / D < 2$. Для реакции /3/ это отношение приближается к 2 сверху.

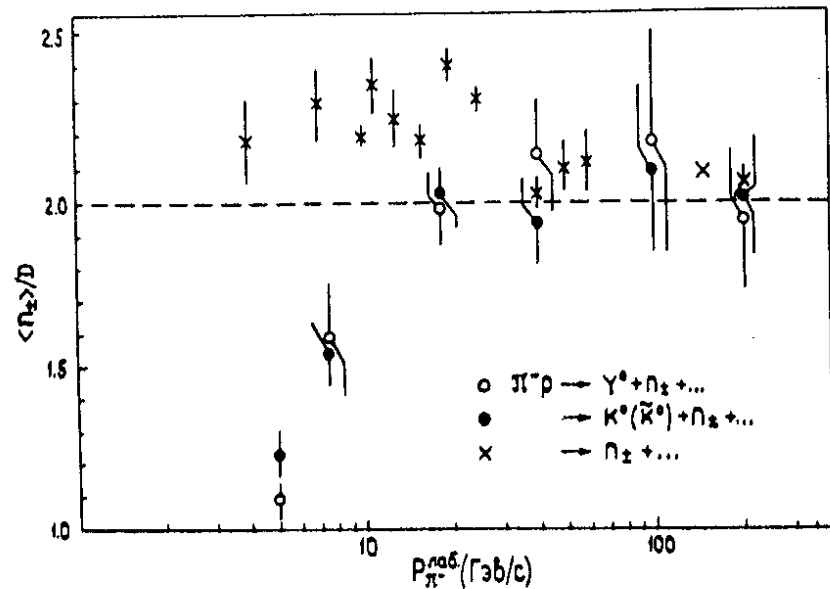


Рис. 5. Зависимость отношения средней множественности заряженных частиц к дисперсии $\langle n_{\pm} \rangle / D$ от $p_{\pi^{\pm}}^{\text{лаб}}$ для реакций /1/ ÷ /3/.

На рис. 6 показана зависимость D от $\langle n_{\pm} \rangle$. Аппроксимация прямыми наших экспериментальных данных и данных работ /2-5/ для реакций /1/ и /2/, а также данных работ /15/ для реакции /3/ показала следующие результаты:

$$D^{\gamma^0} = (1,00 \pm 0,10) + (0,28 \pm 0,03) \langle n_{\pm} \rangle^{\gamma^0},$$

$$D^{K^0(\bar{K}^0)} = (0,6 \pm 0,08) + (0,37 \pm 0,03) \langle n_{\pm} \rangle^{K^0(\bar{K}^0)},$$

$$D_{\pm} = (-0,16 \pm 0,05) + (0,48 \pm 0,01) \langle n_{\pm} \rangle.$$

Очевидно, что в $\pi^- p$ -взаимодействиях как с рождением странных частиц, так и без него существует пропорциональная зависимость между D и $\langle n_{\pm} \rangle$. Такая зави-

симость в pp -взаимодействиях отмечалась в работе /16/. Ван Ховом /17/ было предложено ее объяснение с помощью двухкомпонентной модели для $\pi^- p$ - и pp -взаимодействий в диапазоне импульсов первичной частицы от 4 до 205 ГэВ/с. Эта модель предполагает два класса неупругих взаимодействий, каждый из которых имеет постоянное сечение и достаточно малую дисперсию, но один имеет заметно большую множественность, чем другой. Если обозначить величины, относящиеся к классу с большей множественностью, n_0 , D_0 , σ_0 , а величины, относящиеся к классу с меньшей множественностью n_M , D_M и σ_M , то

$$\langle n_M \rangle \ll \langle n_0 \rangle$$

$$\langle n_{\pm} \rangle = \frac{\sigma_0}{\sigma_0 + \sigma_M} \langle n_0 \rangle + \frac{\sigma_M}{\sigma_0 + \sigma_M} \langle n_M \rangle.$$

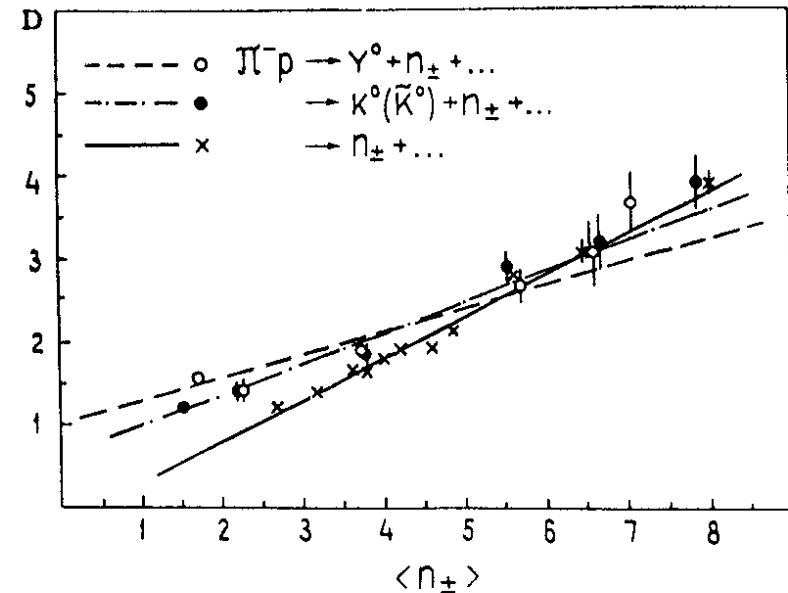


Рис. 6. Зависимость дисперсии D от средней множественности заряженных частиц в реакциях /1/ ÷ /3/. Прямые - результат аппроксимации экспериментальных данных линейными функциями /см. текст/.

Применение модели Ван Хова позволяет сделать грубую оценку вероятностей процессов классов (б), (м) и $\langle n_M \rangle$. В табл. 3 приводятся значения этих оценок для разных реакций.

Таблица 3

Реакция	$\sigma_M / (\sigma_0 + \sigma_M)$	$\langle n_M \rangle$
$pp \rightarrow p_{\pm} + \dots$	0,255	2,5
$\pi^- p \rightarrow p_{\pm} + \dots$	0,163	2,8
$\pi^- p \rightarrow K^0(\bar{K}^0) + p_{\pm} + \dots$	0,121	2,0
$\pi^- p \rightarrow Y^0 + p_{\pm} + \dots$	0,072	2,8

Если, следуя Ван Хову, предположить, что процессом типа (м) является дифракционная диссоциация, то видно, что ее вклад в реакции с рождением странных частиц меньше, чем в реакции без их образования.

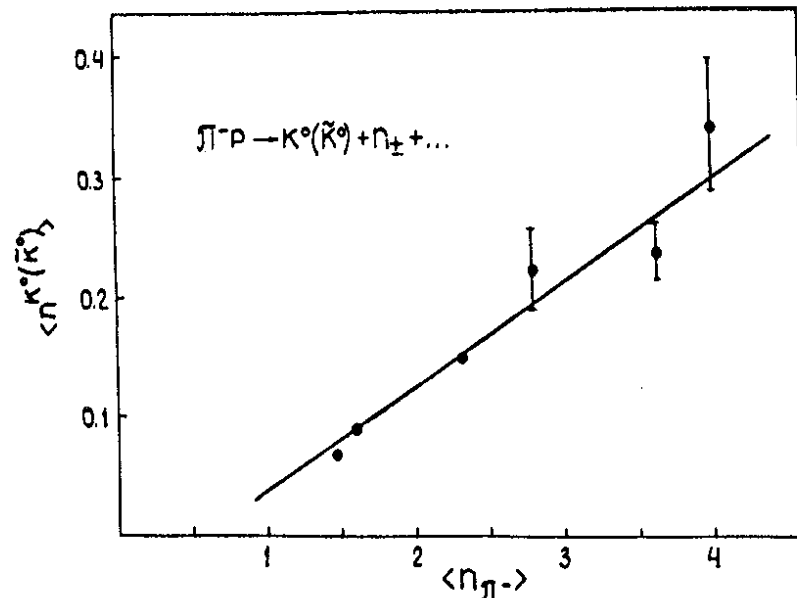


Рис. 7. Зависимость средней множественности $K^0(\bar{K}^0)$ -мезонов $\langle n_{K^0(\bar{K}^0)} \rangle$ от $\langle n_{\pi^-} \rangle$ для $\pi^- p$ -взаимодействий.

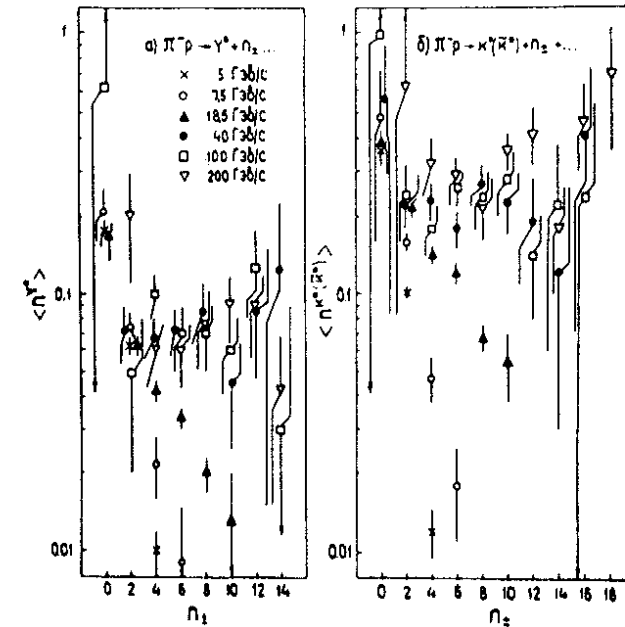


Рис. 8. Зависимость средних множественностей странных частиц $\langle n_{K^0(\bar{K}^0)} \rangle$ и $\langle n_{Y^0} \rangle$ от числа заряженных частиц в событии для $\pi^- p$ -взаимодействий.

Зависимость средней множественности $K^0(\bar{K}^0)$ -мезонов от средней множественности π^- -мезонов n_{π^-} в $\pi^- p$ -взаимодействии приведена на рис. 7. В пределах ошибок она аппроксимируется прямой линией, что говорит о том, что средняя множественность $K^0(\bar{K}^0)$ -мезонов в $\pi^- p$ -взаимодействии в интервале $4,9 \text{ ГэВ/с} \leq p_{\pi^-}^{\text{лаб}} \leq 205 \text{ ГэВ/с}$ также логарифмически растет с энергией.

На рис. 8 показана зависимость $\langle n_{K^0(\bar{K}^0)} \rangle$ и $\langle n_{Y^0} \rangle$ от множественности заряженных частиц для разных $p_{\pi^-}^{\text{лаб}}$. Резкое падение $\langle n_{K^0(\bar{K}^0)} \rangle$ и $\langle n_{Y^0} \rangle$ с ростом множественности заряженных частиц при 4,9; 7,5 и 18,5 ГэВ/с обусловлено кинематикой реакций. В интервале $40 \text{ ГэВ/с} \leq p_{\pi^-}^{\text{лаб}} \leq 205 \text{ ГэВ/с}$ $\langle n_{K^0(\bar{K}^0)} \rangle$ и $\langle n_{Y^0} \rangle$

остаются в пределах ошибок постоянными при всех множественностях заряженных частиц. В $\pi^+\pi^-$ -взаимодействиях при импульсах 200 и 300 ГэВ/с [18] были наблюдаемы слабые положительные корреляции между средним числом K^0 -мезонов и n_{\pm} , которые также не наблюдались при меньших энергиях.

3. Выводы

1. Множественность заряженных частиц в $\pi^+\pi^-$ -взаимодействиях с рождением нейтральных странных частиц меньше $\langle n_{\pm} \rangle$ для всех $\pi^+\pi^-$ -событий в интервале $p_{\pi^{\pm}}^{lab} \leq 20$ ГэВ/с и совпадает с $\langle n_{\pm} \rangle$ для более высоких импульсов 20 ГэВ/с $\leq p_{\pi^{\pm}}^{lab} \leq 205$ ГэВ/с.

2. Множественности $\langle n_{\pm} \rangle_{Y^0}$ и $\langle n_{\pm} \rangle_{K^0(\bar{K}^0)}$ подобным образом логарифмически растут с энергией в интервале 4,9 - 205 ГэВ/с.

3. Скорости роста $\langle n_{\pm} \rangle_{Y^0}$, $\langle n_{\pm} \rangle_{K^0(\bar{K}^0)}$ и $\langle n_{\pm} \rangle$ совпадают, если рассматривать их зависимость от доступной энергии.

4. Дисперсия распределений по множественности в событиях с рождением странных частиц линейно растет с увеличением $\langle n_{\pm} \rangle_{K^0, Y^0}$.

5. Рост среднего числа $K^0(\bar{K}^0)$ -мезонов на одно $\pi^+\pi^-$ -взаимодействие не противоречит логарифмическому закону в интервале импульсов 4,9 - 205 ГэВ/с.

6. $\langle n_{\pm} \rangle_{Y^0}$ и $\langle n_{\pm} \rangle_{K^0(\bar{K}^0)}$ не зависят, в пределах ошибок, от числа заряженных частиц в событии ($n_{\pm} = 2-12$) при высоких энергиях /40 - 205 ГэВ/с/.

В заключение авторы выражают благодарность участникам сотрудничества по обработке пленок с 2-метровой пропановой камеры за обсуждение результатов. Нам приятно поблагодарить Г.П.Тонееву и А.А.Куракину за проведенные ими расчеты.

Литература

1. В.С.Мурзин, Л.И.Сарычева. "Множественные процессы при высоких энергиях". Москва, Атомиздат, 1974.
2. P.H.Stuntembeck et al. Phys.Rev., D9, 608 /1974/.
3. E.Balea et al. Nucl.Phys., B54, 189 /1973/.
4. E.L.Berger et al. CERN/D, Ph.II/PHIS, 74-27/1974/.
5. D.Bogert et al. NAL-Conf-74/55 - EXP.
6. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов и др. ЯФ, 16, 989 /1972/; ОИЯИ, P1-6491, Дубна, 1972.
7. В.В.Глаголев, Е.Н.Кладницкая и др. ОИЯИ, 1-7884, Дубна, 1974.
8. В.В.Глаголев, Н.К.Душутин, и др. ЯФ, 21, 1933 /1975/; ОИЯИ, P1-8147, Дубна, 1974.
9. М.Р.Баландин, Н.Г.Борисов et al. Nucl.Inst. and Meth., 20, 110 /1963/.
10. Е.Н.Кладницкая. Автореферат диссертации, ОИЯИ, 1-983, Дубна, 1965.
11. Н.Г.Бургер, Ван Ган-чан и др. ЖЭТФ, 41, 1461 /1961/.
12. А.У.Абдурахимов и др. ОИЯИ, P1-6277, Дубна, 1972; Phys.Lett., 39B, 571 /1972/.
13. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов и др. ЯФ, 16, 989/1972/; ОИЯИ, Дубна, P1-7267 /1973/.
14. K.Jaeger et al. Phys.Rev., D11, 1756 /1975/; H.Blumensfeld et al. Phys.Lett., 45B, 528 /1973/; J.W.Chapman et al. Phys.Lett., 47B, 465 /1973/; A.Sheug et al. Phys.Rev., D11, 1733 /1975/;
15. O.Czyżewski, K.Rybicki. Nucl.Phys., B47, 633 /1972/; J.T.Powers et al. Phys.Rev. D8, 1947 /1973/; V.V.Amosov et al. Nucl.Phys., B58, 77 /1973/; E.L.Berger et al. Nucl.Phys., B77, 365 /1974/; D.Foag et al. Nucl.Phys., B102, 386 /1976/; Bogert et al. Phys.Rev.Lett., 31, 1271 /1973/.
16. A.K.Wroblewski. Warszawa. Poland, IFD/73/9.
17. L.Van Hove. Phys.Lett., 43B, 65 /1973/.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 апреля 1976 года.