

6491

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.



P1 - 6491

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ
ПО МНОЖЕСТВЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ
В π^+p , π^-n И π^-C -СОУДАРЕНИЯХ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ π^- -МЕЗОНА 40 ГЭВ/С

1972

P1 - 6491

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ
ПО МНОЖЕСТВЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ
В π^+p , π^+n И π^+C -СОУДАРЕНИЯХ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ π^+ -МЕЗОНА 40 ГЭВ/С

Направлено в ЯФ

Перечень авторов - см. на обороте.

Анализ экспериментальных данных по множественности вторичных частиц в π^-p , π^-n и π^-C соударениях при $p = 40$ Гэв/с

Сравниваются экспериментальные результаты по множественности вторичных заряженных и нейтральных частиц в π^-p и π^-C взаимодействиях при $p = 40$ Гэв/с.

Распределения событий по множественности вторичных заряженных частиц в π^-p и π^-n -взаимодействиях сравниваются с расчетами по различным моделям и эмпирическим формулам. Только модель Wang I и эмпирические формулы описывают экспериментальные распределения.

Получены данные о зависимости среднего числа π^0 -мезонов от числа заряженных частиц. Обсуждаются результаты анализа этих данных с помощью теоретических моделей.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.

Дубна, 1972

Analysis of Experimental Data on Secondary Particle Multiplicity in π^-p , π^-n and π^-C Collisions at $p = 40$ GeV/c

Experimental data on multiplicity of secondary charged and neutral particles in π^-p and π^-C interactions at $p = 40$ GeV/c are compared.

Distribution of the events on secondary charged particle multiplicity in π^-p and π^-n interactions are compared with the calculations on different models and empirical formulae. Only the Wang I model and empirical formulae describe the experimental distributions.

The data are obtained on the dependence of an average number of π^0 -mesons on the charged particle number. The results of these data analysis, using the theoretical models, are discussed.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna, 1972

Авторы

А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, В.А.Беляков, К.П.Вишневская¹, В.Г.Гришин,
С.М.Елисеев, Ш.В.Иногамов, Т.Канарек, А.А.Кузнецов, Е.Н.Кладнищкая,
Дж.М.Кохли², В.Б.Любимов, Н.Н.Мельникова, В.М.Попова¹, М.Сабзу,
М.И.Соловьев, Л.Н.Смирнова¹, Х.Я.Супичаков, Ю.В.Тевзадзе, Н.Г.Фадеев,
Л.М.Щеглова¹, Б.С.Юдашев, Г.Янчо

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Л.Йеник, Д.Киш, Ш.Красновски, Д.Пинтер, М.Пош

Центральный институт физических исследований, Будапешт

О.Балеа, В.Боддеа, Т.Понта, С.Фелеа

Институт атомной физики, Бухарест

М.Бардадин-Отвиновска, А.Бичел, В.Вуйцик, Я.Гаевски, М.Гурски,
Р.Гокиели, Е.Петровска, С.Отвиновски, Р.Сосновски

Институт ядерных исследований и Институт физики Варшавского
университета, Варшава

Л.Анѐла, Е.Бартке, В.Зелински, А.Квятковска, С.Ковальчик, К.Эскрейс

Институт ядерной физики и Институт ядерной техники, Краков.

Л.Н.Гердюков, П.Ф.Ермолов, Е.П.Кузнецов, С.В.Клименко,
С.Н.Паршикура, А.А.Соколов

Институт физики высоких энергий, Серпухов

П.П.Керачев, В.Н.Пенев, Х.И.Семерджиев, А.И.Шкловская

Физический институт и Машино-энергетический институт, София

К.Н.Абдуллаева, М.Азимов, С.А.Азимов, С.П.Батраев, К.Р.Игамбердыев,

С.Л.Лутпуллаев, Х.А.Ризаев, Е.И.Трунова, Т.М.Усманов, А.А.Юдашев

Физико-технический институт АН Уз.ССР, Ташкент

Л.Н.Абесалашвили, Н.С.Амаглобели, Д.В.Герсамия, М.А.Дасаева,

Т.И.Квачадзе, Р.Г.Салуквадзе, И.И.Тулиани, М.С.Чаргейшвили,

О.А.Шакулашвили, Ц.В.Хомасуридзе

Тбилисский государственный университет, Тбилиси

Ц.Баатар, Д.Тувдендорж, Б.Чадраа

Институт физики и математики МАН, Улан-Батор

Нгуен Дин Ты

Ханойский университет, Ханой

¹ Физический факультет Московского государственного университета.

² Физический факультет Пенджабского университета, Чандигар, Индия.

В в е д е н и е

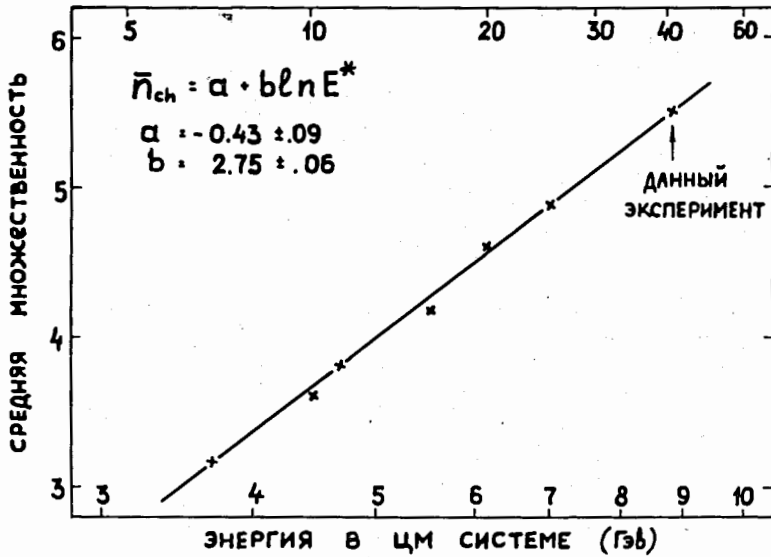
В^{1/1} мы представили результаты просмотра ~ 50 тысяч фотографий, полученных на двухметровой пропановой камере, облученной π^- -мезонами с $P = (40 \pm 0,24)$ Гэв/с. В этой работе мы проводим сравнение экспериментальных данных с различными теоретическими моделями и эмпирическими формулами. Дополнительная информация получена по среднему числу π^0 -мезонов ($\langle n_{\pi^0} \rangle$) на части нашего материала после измерения и обсчёта событий с γ -квантами.

§1. Распределения событий по множественности вторичных частиц в π^-p и π^-n взаимодействиях при $p = 40$ Гэв/с

1. Зависимость средней множественности заряженных частиц от энергии

На рис. 1 и в таблице 1 приведены результаты подгонки кривых типа $\langle n_{\pm} \rangle = a + b \ln E^*$ и $\langle n_{\pm} \rangle = a E^{*b}$ к имеющимся экспериментальным данным по π^-p -соударениям в интервале импульсов $p = 6,8 + 40$ Гэв/с, полученным на пузырьковых камерах. Средняя множественность заряженных частиц в π^-p -соударениях при $p = 40$ Гэв/с взята равной $5,52 \pm 0,04$, так как примесь событий на квазисвободных нуклонах увеличивает экспериментальное значение $\langle n_{\pm} \rangle$ на $\sim 0,1$ ^{1/1}. Как видно из таблицы 1, в настоящее время нельзя сделать выбора между степенным и логарифмическим ростом средней множественности заряженных частиц с энергией.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ИМПУЛЬС (Гэв/с)



ЛАБОРАТОРНЫЙ ИМПУЛЬС (Гэв/с)

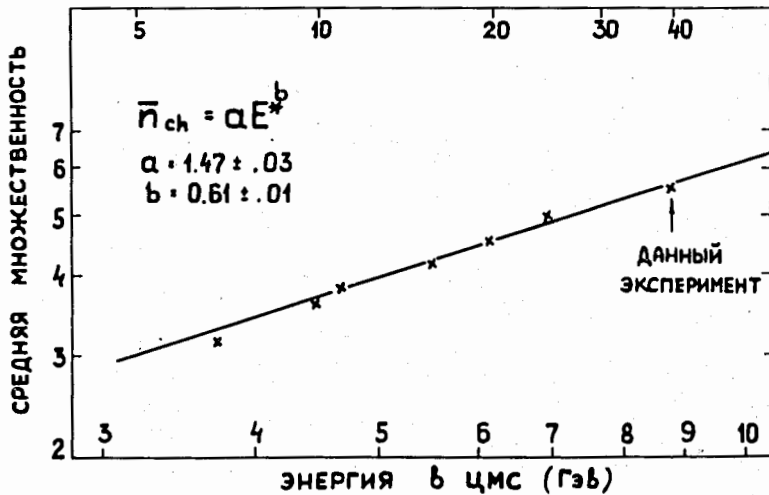


Рис. 1. Зависимость $\langle n_{\pm} \rangle$ для π^-p -взаимодействий от импульса π^- -мезона.

Таблица I

Зависимость $\langle n \pm \rangle$ от энергии в π^-p
взаимодействиях
в интервале $pc = 6.8 \div 40$ Гэв (7 точек)

Вид функции	A	B	χ^2
$A + B \ln E_2^*$	-0.43 ± 0.09	2.75 ± 0.06	7.8
$A + B \ln Q^*$	0.94 ± 0.06	2.23 ± 0.05	9.2
$A E^{*B}$	1.47 ± 0.03	0.61 ± 0.01	16.1
$A Q^{*B}$	2.00 ± 0.03	0.50 ± 0.01	11

$\langle n \pm \rangle = 5.52 \pm 0.04$ при $pc = 40$ Гэв

E^* - полная энергия в системе центра масс; Q^* - кинетическая энергия в с.ц.м.

2. Распределения по множественности π^- и $\pi^+\pi^-$ -событий

Различные модели и эмпирические формулы были предложены для описания распределений событий по множественности вторичных заряженных частиц. Мы рассмотрим следующие:

а) Пуассоновское распределение для всех заряженных частиц.

б) Пуассоновское распределение для $\pi^+\pi^-$ -пар.

Эта модель была предложена Вангом^{/2/} (модель Wang-I).

в) Пуассоновское распределение для рожденных заряженных пионов (Wang-II)^{/2/}.

г) Пуассоновское распределение для каждого сорта пионов (Хорн и Сильвер)^{/3/}.

д) Пуассоновское распределение для всех рожденных пионов с распределением по зарядам на основе модели изоспиновой независимости (Шоу)^{/4/}.

Мы также рассмотрим две эмпирические формулы:

а) Формулу, предложенную Бозоки и др.^{/5/}, в виде

$$P(n_{\pm}) = C^{-1} n_{\pm}^{\beta-1} \exp(-n_{\pm} / 2a^2), \quad (1)$$

где C - нормировочный множитель, a и β - свободные параметры. Параметр β практически не зависит от энергии^{/5/}.

б) Формулу Чижевского-Рыбицкого^{/6/} в виде

$$P(n_{\pm}) = \frac{2d}{D} e^{-d^2} \frac{d^{2d/D} (n_{\pm} - \langle n_{\pm} \rangle + dD)}{\Gamma((d/D)(n_{\pm} - \langle n_{\pm} \rangle + dD) + 1)}, \quad (2)$$

где $D = (\langle n_{\pm}^2 \rangle - \langle n_{\pm} \rangle^2)^{1/2}$ и d - свободный параметр.

Мы взяли $d = 1,8$, который хорошо описывает имеющиеся данные.

Сравнение всех перечисленных выше моделей с экспериментальными результатами показало, что только модель Wang - I хорошо описывает эксперимент^{x/}. Результаты подгонки даны в таблице II и на рис. 2. Аналогичные результаты были получены в работе^{/7/} для π^-p -взаимодействий при $p = 25$ Гэв/с.

Эмпирические формулы^{/5,6/} также хорошо описывают экспериментальные результаты. Для π^-p -взаимодействий очень важно было оценить вклад когерентных взаимодействий. В работе^{/11/} мы вычитали только когерентные взаимодействия типа $\pi^- \rightarrow (3\pi)^-$, соответствующие сечению 2,5 мбн.

Лучшая подгонка рассчитанных кривых по модели Wang - I и формулам Чижевского-Бозоки соответствует сечению когерентных процессов $\sigma(\pi^- \rightarrow (3\pi)^-, \pi^- \rightarrow (3\pi)^- + 2\pi^0) = 4,4$ мбн и $\sigma(\pi^- \rightarrow (5\pi)^-) = 0,3$ мбн^{xx/}. Эти величины сечений не противоречат имеющимся экспериментальным данным при более низких энергиях^{/8/}.

^{x/} Остальные модели дают $\chi^2 \geq 100$ при числе точек 9. Случаи с видимыми V^0 -событиями также были включены в наши распределения.

^{xx/} Сечение процесса $\pi^- C^{12} \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ C^{12}$ бралось равным 3,7 мбн и $\sigma(\pi^- C^{12} \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0 C^{12}) = 0,7$ мбн, т.к. по статистической изоспиновой модели отношение

$$\frac{\sigma(\pi^- \rightarrow 2\pi^0 + 2\pi^- + \pi^+)}{\sigma(\pi^- \rightarrow 3\pi^- + 2\pi^+)} = 2,2.$$

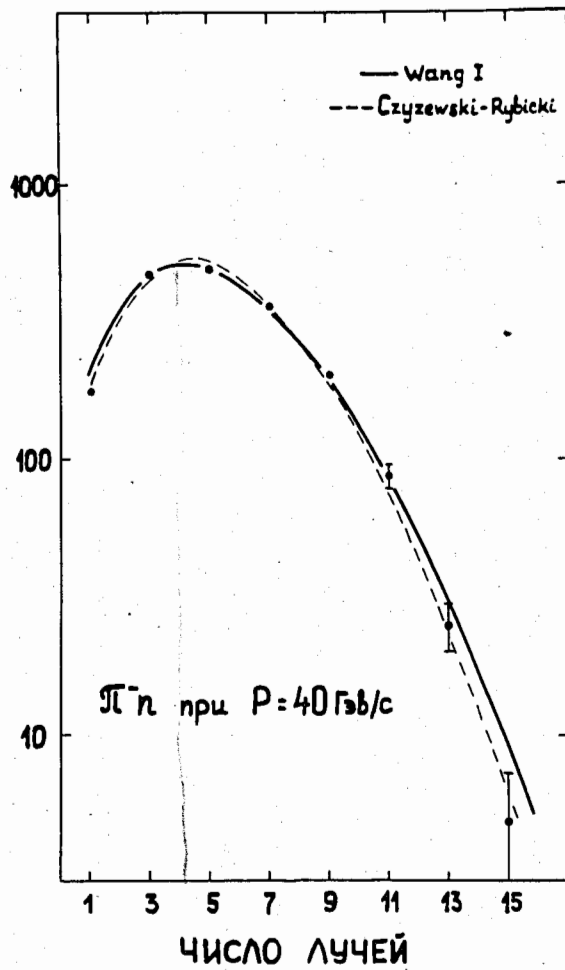
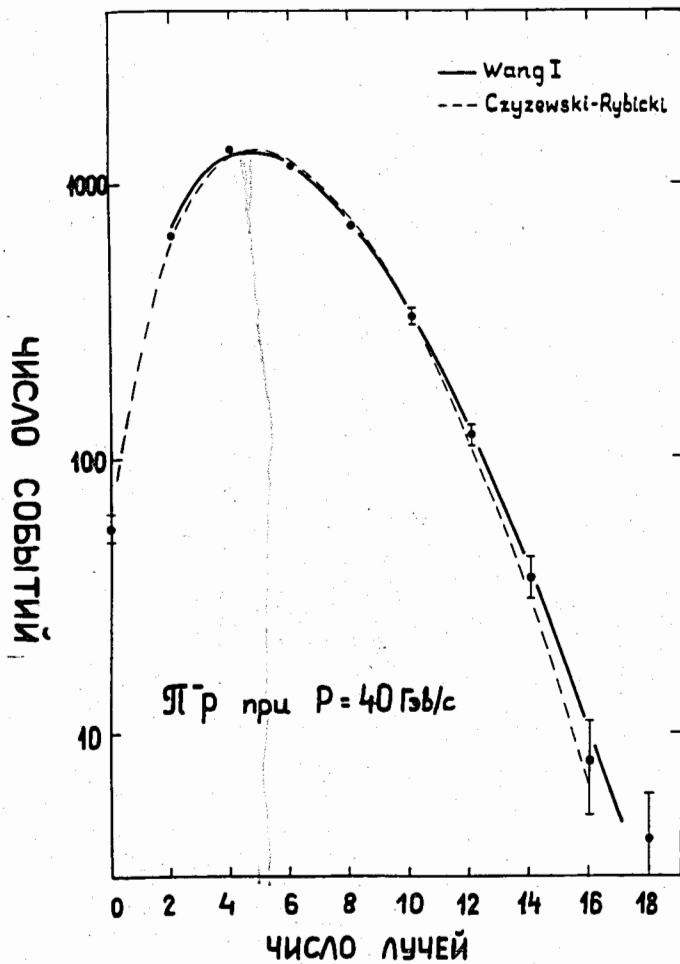


Рис. 2

Таблица II (а)

	Тип взаимодействия	$\langle n_{\pm} \rangle$ эксп.	χ^2		Число степеней свободы
			Wang-I	Cz-R	
$\bar{\pi} \bar{p}$	Без упругих*	5.62 $\pm .04$	7.8	12.	9
	С упругими*	5.40 $\pm .04$	30.	34.	9
$\bar{\pi} n$	Без когерентных**	5.33 $\pm .07$	10.5	7.	8

* Без ноль-лучевых событий

** $\sigma_{\text{ког.}}(3\pi^{\circ}) = 3.7 \text{ мбн}$, $\sigma_{\text{ког.}}(5\pi^{\circ}) = 0.3 \text{ мбн}$, $\frac{\sigma(3\pi^{\circ} + 2\pi^{\circ})}{\sigma(5\pi^{\circ})} = 2.2$

Полное сечение когерентных трехлучевых событий

$\sigma_{\text{ког.}} = (3.7 + 0.7) \text{ мбн} = 4.4 \text{ мбн}$.

Таблица II (б)

	Тип взаимодействия	Wang-I			Czyzewski - Rybicki		
		$\langle n_{\pm} \rangle$ фитированный	χ^2	Число точек	$\langle n_{\pm} \rangle$ фитированный	χ^2	Число точек
$\bar{\pi} \bar{p}$	Без упругих*	5.68 $\pm .04$	5.7	9	5.58 $\pm .05$	12.	9
	С упругими*	5.46 $\pm .04$	30.	9	5.24 $\pm .05$	24.	9
$\bar{\pi} n$	Без когерентных**	5.34 $\pm .07$	10.6	8	5.30 $\pm .07$	7.	8

* Без ноль-лучевых событий

** $\sigma_{\text{ког.}}(3\pi^{\circ}) = 3.7 \text{ мбн}$, $\sigma_{\text{ког.}}(5\pi^{\circ}) = 0.3 \text{ мбн}$, $\frac{\sigma(3\pi^{\circ} + 2\pi^{\circ})}{\sigma(5\pi^{\circ})} = 2.2$

Полное сечение когерентных трехлучевых событий

$\sigma_{\text{ког.}} = (3.7 + 0.7) \text{ мбн} = 4.4 \text{ мбн}$

82. Образование π^0 -мезонов в π^-p и π^-n -соударениях
при $p = 40$ Гэв/с

На части полученного материала были проведены измерения (e^+e^-)-пар, образованных γ -квантами. Зависимость "веса" γ -квантов от множественности вторичных заряженных частиц в π^-p и π^-n -соударениях приведена на рис. 3. Средние "веса" γ -квантов для π^-p и π^-n -соударений соответственно равны $\bar{W}_\gamma = 4,08 \pm 0,12$ и $\bar{W}_\gamma = 4,09 \pm 0,20$. Из рисунка видно, что эффективность регистрации γ -квантов в пределах ошибок не зависит от множественности вторичных заряженных частиц. Это связано с тем обстоятельством, что γ -кванты вылетают преимущественно вперед под малыми углами по отношению к первичному π^- -мезону. Средняя множественность π^0 -мезонов в π^-p и π^-n -взаимодействиях оказалась равной $\langle n_{\pi^0}^{\pi^-p} \rangle = 2,51 \pm 0,06$ и $\langle n_{\pi^0}^{\pi^-n} \rangle = 2,39 \pm 0,08$ ^{x/}.

Таким образом, получаем, что $\langle n_{\pi^0}^{\pi^-p} \rangle = (0,45 \pm 0,02) \langle n_{\pi^\pm}^{\pi^-p} \rangle$, т.е. среднее число π^0 -мезонов составляет примерно половину среднего числа заряженных частиц в π^-p -взаимодействиях^{xx/}. Для π^-n -взаимодействий $\langle n_{\pi^0}^{\pi^-n} \rangle = (0,45 \pm 0,02) \langle n_{\pi^\pm}^{\pi^-n} \rangle$. На рис. 4 приведена зависимость $\langle n_{\pi^0} \rangle$ от n_\pm для π^-p и π^-n -взаимодействий. Среднее число π^0 -мезонов растет с увеличением множественности заряженных частиц. Указание на аналогичную зависимость $\langle n_{\pi^0} \rangle$ от n_\pm было получено также и при $p = 25$ Гэв/с^{17/}.

^{x/} Здесь мы предполагаем, что источником γ -квантов являются только π^0 -мезоны. Число γ -квантов от Σ^0 -частиц составляет незначительную долю ($\lesssim 1\%$) от всех зарегистрированных γ -квантов.

^{xx/} Если предположить, что коэффициент перезарядки протона составляет 0,5, то $\langle n_{\pi^0}^{\pi^-p} \rangle = (0,49 \pm 0,02) \langle n_{\pi^\pm}^{\pi^-p} \rangle$.

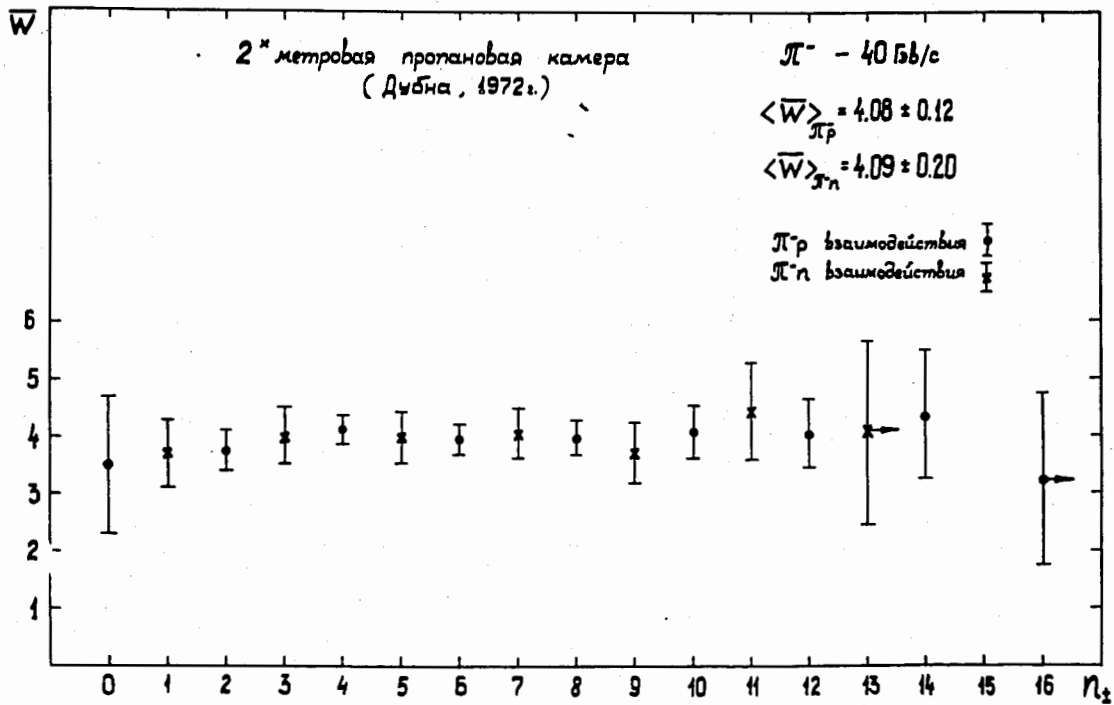


Рис. 3

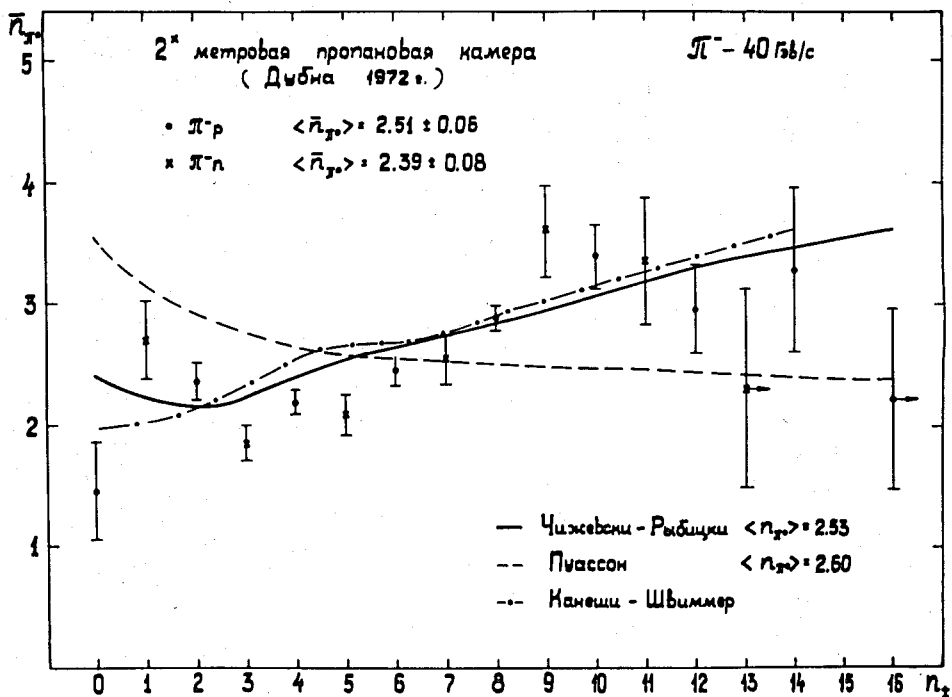


Рис. 4. Зависимость $\langle n_{\pi^0} \rangle$ от n_{\pm} для $\pi^- p$ и $\pi^- n$ -соударений при $p = 40 \text{ ГэВ/с}$. Кривые - результаты расчетов по теоретическим моделям.

Для сравнения с экспериментом были проведены вычисления по статистической изоспиновой модели в предположении, что все рожденные π -мезоны распределены по закону Пуассона. Результаты даны пунктирной кривой на рис. 4. Как и при $p = 25$ Гэв/с эта модель не описывает экспериментальные данные^{/7/}. Аналогичная ситуация имеет место и в случае мультипериферической модели Чу-Пиньётти^{/7/}.

Нами были проведены вычисления зависимости $\langle n_{\pi^0} \rangle = f(n_{\pm})$ в предположении, что полное число частиц в π^-p -взаимодействиях описывается формулой Чижевского-Рыбицкого^{/6/} с $d = 1,8$ и $\langle n \rangle = \langle n_{\pm} \rangle + \langle n_{\rho^0} \rangle + \langle n_{\pi^0} \rangle$. Значение $\langle n_{\pm} \rangle$ и $\langle n_{\pi^0} \rangle$ бралось из эксперимента, и $\langle n_{\rho^0} \rangle$ полагалось равным 0,5. Параметр D оставался свободным. Для каждой множественности вторичных частиц соотношение между заряженными и нейтральными частицами вычислялось по статистической изоспиновой модели^{/9/}. Результаты подгонки показаны на рис. 4 ($D = 3,32$). Распределение π^-p -событий по заряженным частицам в этой модели приведено на рис. 5 ($\chi^2 = 26,5$). Хотя данная модель плохо описывает это распределение, зависимость $\langle n_{\pi^0} \rangle = f(n_{\pm})$ качественно согласуется с экспериментом.

Сопоставление наших данных с расчетами по мультипериферической R-модели Канеши-Швиммера^{/10/} также приведено на рис. 4 (штрихпунктирная кривая). В этой модели предполагается, что π -мезоны рождаются парами в определенном изоспиновом состоянии ($T = 0$, σ -мезон и $T = 1$, ρ -мезон). Как видно из рисунка, модель качественно описывает зависимость $\langle n_{\pi^0} \rangle$ от n_{\pm} . Однако полученные при этой подгонке константы распадов $\rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ и $\sigma \rightarrow \pi^+ \pi^-$ оказались равными $g_{\rho}^2 \sim g_{\sigma}^2 \sim 1$, что значительно превышает ожидаемую величину, полученную из данных по ширине ρ -мезона^{/10/}. Сравнение предсказаний этой модели с распределением по заряженным частицам не проводилось.

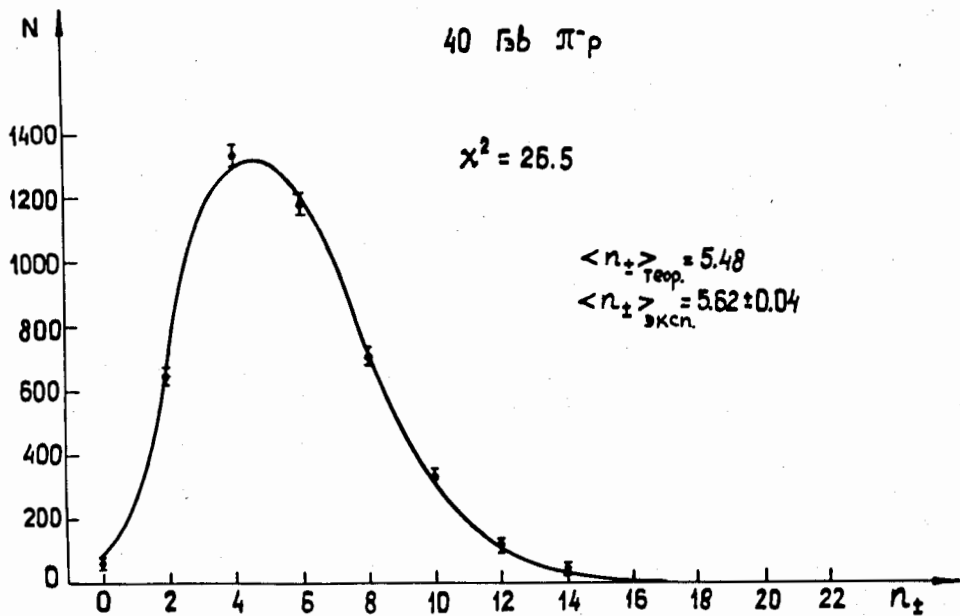


Рис. 5

Таким образом, обнаруженная корреляция между $\langle n_{\pi^0} \rangle$ и $n_{\pi^{\pm}}$ исключает все модели, в которых предполагается, что нейтральные и заряженные π -мезоны рождаются независимо. В настоящее время нет модели, которая дала бы удовлетворительное описание как данных по заряженным, так и по нейтральным частицам при $p = 40$ Гэв/с. Из анализа наших экспериментальных результатов следует, что пары заряженных π -мезонов рождаются независимо друг от друга. (Wang-1), но имеется корреляция между образованием π^0 и π^{\pm} -мезонов.

§3. $\pi^- C^{12}$ -взаимодействия

Наши данные по $\pi^- C^{12}$ -взаимодействиям сравнивались с расчетами, выполненными по каскадной модели /11/. В этой модели распределение плотности ядерного вещества описывается формулой Вуда-Саксона и учитывается эффект выбывания нуклонов при развитии каскада. Входные данные для описания $\pi^- p$ и $\pi^- n$ -взаимодействий были взяты из экспериментов, проведенных на ускорителях и с космическими лучами. В таблице III приведены наши данные и результаты, полученные по модели /11/. Модель только качественно описывает экспериментальные результаты. Вычисленное среднее число релятивистских частиц на единицу выше, чем дает эксперимент.

Л и т е р а т у р а

1. Дубна-Будапешт-Бухарест-Варшава-Краков-Серпухов-София-Ташкент-Тбилиси-Улан-Батор-Ханой Сотрудничество, ОИЯИ, P1-6277, 1972 г.
2. C.P. Wang. Phys.Rev., 180, 1463 (1969).
3. D.Horn and R. Silver. Phys.Rev., D2, 2082 (1970).
4. G.Y.Chow. Preprint Univ. of Michigan, October 1971.
5. G.Bozoki et al., Nuovo Cim., 54A, 881 (1969).
6. O.Czyzewski, K.Rybicki. INR Report, No 703/PH, Cracow, 1970.

7. J.W. Elbert et al., Nucl.Phys., B19, 85 (1970).
 8. S.A. Asimov et al., Phys.Lett., 31B, 237 and 241 (1970).
 9. Смотри: J. Bartke, Herceg Novi Lecture, 1970.
 10. L.Caneschi and Schwimmer. Phys.Rev., 3D, 1588 (1971).
 Phys.Lett., 33B, 577 (1970).
 11. В.С. Барашенков, А.С. Ильинов, В.Д. Тонеев. Ядерная физика, 13, 743, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 июня 1972 года.

Таблица III
 π_c - события

N ^{**} p	Распределение по N _p (%)		$\bar{n}_{\text{рел.}}$	
	экспер.	модель	экспер.	модель
0	54.1 ± 0.9	58.8 ± 0.8	6.47 ± .06 ^{*)}	7.40 ± 0.05 ^{*)}
1	25.0 ± 0.6	28.9 ± 0.6	7.41 ± .10 ^{*)}	8.50 ± 0.09 ^{*)}
2	13.1 ± 0.4	9.5 ± 0.3	7.58 ± .12	8.99 ± 0.17
3	5.4 ± 0.3	2.2 ± 0.2	7.83 ± .20	9.84 ± 0.34
≥ 4	2.3 ± 0.2	0.5 ± 0.1	7.44 ± .29	9.25 ± 0.60
Все события			6.98 ± .04 ^{*)}	7.99 ± 0.04 ^{*)}

*) Не учитывались события с
 $\bar{n}_{\text{рел.}} = 0, 1, 2$

***) Импульс протона - 160 + 550 мэв/с