

A-646

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



1606 / 2-77

25/4-77

P1 - 10324

Н.С.Ангелов, С.Бацкович, В.Г.Гришин, Ю.Надь,
М.Сулейманов

О МНОЖЕСТВЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ,
ОБРАЗОВАННЫХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
 π^- -МЕЗОНОВ С $P = 40$ ГЭВ/С
С НЕСКОЛЬКИМИ НУКЛОНАМИ ЯДРА УГЛЕРОДА

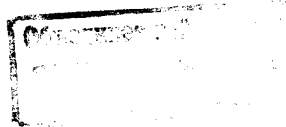
1976

P1 - 10324

Н.С.Ангелов, С.Бацкович,¹ В.Г.Гришин, Ю.Надь,
М.Сулейманов²

О МНОЖЕСТВЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ,
ОБРАЗОВАННЫХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
 π^- -МЕЗОНОВ С $P = 40$ ГЭВ/С
С НЕСКОЛЬКИМИ НУКЛОНАМИ ЯДРА УГЛЕРОДА

Направлено в ЯФ



¹ Институт физики, Белград, СФРЮ.
² Институт физики АН АзССР, Баку.

Ангелов Н.С. и др.

P1 - 10324

О множественности вторичных частиц, образованных при взаимодействиях π^- -мезонов с $p = 40$ ГэВ/с с несколькими нуклонами ядра углерода

Получены распределения событий по множественности вторичных заряженных пионов, образованных во взаимодействиях π^- -мезонов с несколькими нуклонами ядра углерода при $p = 40$ ГэВ/с. Приводятся данные по средним значениям множественности π^\pm -мезонов для $\pi^-(mN)$ -взаимодействий, где $m=2,3,4$. Проведено сравнение полученных результатов с расчетами по каскадной модели и модели Глаубера. Получено, что среднее число взаимодействий $\bar{\nu} \geq 1,50 \pm 0,03$.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

Angelov N.S. et al.

P1 - 10324

Multiplicity of Secondary Particles
Produced in 40 GeV/c π^- -Meson Interactions
with Several Nucleons of C Nucleus

Multiplicity distributions of secondary charged pions generated by 40 GeV/c π^- mesons on several nucleons of carbon nucleus are presented. Average values of π^\pm meson multiplicities at $\pi^-(mN_p)$ are obtained for $m = 2,3,4$. Experimental results are compared with the cascade and Glauber models. Average number of interactions was found to be $\langle \nu \rangle \geq 1.50 \pm 0.03$.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1976

§1. Введение

Изучение взаимодействий адронов с ядрами в принципе позволяет получить новую информацию о динамике сильных взаимодействий. Действительно, ядра представляют собой мишени из нуклонов, распределенных в пространстве с характерным расстоянием 10^{-13} см, поэтому взаимодействия с ними могут служить индикатором структуры сильных взаимодействий в пространственно-временном интервале 10^{-13} см - 10^{-23} с. Получить эту информацию из данных по адрон-адронным взаимодействиям прямым путем принципиально невозможно.

С этой точки зрения исследование адрон-ядерных взаимодействий особенно важно при высоких энергиях, когда большое число вторичных частиц приводит к тому, что интерпретация механизма их образования по данным, полученным в адрон-адронных взаимодействиях, становится практически невозможной /проблема образования кластеров, резонансов и т.п./.

В настоящее время имеется уже много экспериментов по исследованию адрон-ядерных взаимодействий на ускорителях при $E \leq 400$ ГэВ¹⁻³. Однако полученные данные в основном относятся к общим характеристикам этих взаимодействий. Извлечение из них данных об адрон-адронных столкновениях существенно связано с модельными представлениями /2,3/.

В связи с этим особый интерес приобретает вопрос об экспериментальном выделении таких взаимодействий

адронов с ядрами, в которых приняли участие несколько нуклонов ядра /многонуклонные взаимодействия/. Одним из способов такого выделения является отбор событий по кинематике, в которой практически невозможно взаимодействие адронов только с одним нуклоном ядра /4/. В этом случае непосредственно изучается взаимодействие адронов с несколькими нуклонами и свойства ядерной материи.

В настоящей работе предпринята попытка получить данные о множественности вторичных частиц, образующихся при взаимодействии π^- -мезонов с $p = 40 \text{ ГэВ/с}$ с несколькими нуклонами ядра углерода ($mN, m \geq 2$), на основе данных по множественности вторичных частиц в π^-p -, π^-n - и $\pi^-^{12}\text{C}$ -соударениях /5-7/.

§2. Множественность вторичных частиц в пион-нуклонных (π^-N) и в многонуклонных взаимодействиях при $p = 40 \text{ ГэВ/с}$

Данные по множественности вторичных частиц в π^-p - и π^-n -взаимодействиях получены с помощью 2-метровой пропановой пузырьковой камеры (C_3H_8), облученной π^- -мезонами с $P = 40 \text{ ГэВ/с}$ на серпуховском ускорителе /5/.

Сравнение этих данных с результатами, полученными с помощью водородных камер, показывает, что распределения по множественности вторичных заряженных частиц и их одночастичные инклюзивные спектры в пределах ошибок согласуются между собой /5/. Таким образом, мы будем исходить из того, что нам хорошо известны распределения по множественности вторичных заряженных частиц в π^-p - и в π^-n -взаимодействиях при $P = 40 \text{ ГэВ/с}$.

Отметим также, что в 44% случаев π^-p -взаимодействий и во всех π^-n -взаимодействиях спектры по множественности вторичных частиц были определены для соударений с нуклонами, имеющими ферми-импульс /5/. Хорошее согласие этих данных с данными, полученными на водородных камерах, показывает, что влияние внутриядерного движения нуклонов на множественность вто-

ричных частиц несущественно *. Для нахождения распределений по множественности в π^-N -взаимодействиях мы предполагаем, что вероятности взаимодействия пиона с протоном или нейтроном ядра углерода одинаковы /однотипные взаимодействия/, поэтому

$$n_i(\pi^-N) = \frac{1}{2} [n_i(\pi^-p) + n_i(\pi^-n)], \quad /1/$$

где n_i - множественности вторичных частиц данного типа (i).

В табл. I приведены средние значения чисел π^+ -мезонов и протонов в π^-p -, π^-n - и π^-N -взаимодействиях при $P = 40 \text{ ГэВ/с}$ /5/. Здесь следует отметить, что в пропановых пузырьковых камерах протоны визуально идентифицируются при $P \leq 700 \text{ МэВ/с}$. Все положительно заряженные частицы с $P \geq 700 \text{ МэВ/с}$ считаются π^+ -мезонами. Примесь протонов с $P \geq 700 \text{ МэВ/с}$ среди π^+ -мезонов составляет 15% в π^-p -взаимодействиях, примесь K^+ -мезонов среди π^+ -мезонов 4%.

Таблица I

	π^-p	π^-n	π^-N
$\langle N_{\pm} \rangle$	$5,43 \pm 0,04$	$4,98 \pm 0,06$	$5,21 \pm 0,03$
$\langle N_{-} \rangle$	$2,81 \pm 0,02$	$3,04 \pm 0,03$	$2,92 \pm 0,02$
$\langle N_{+} \rangle$	$2,62 \pm 0,02$	$1,94 \pm 0,03$	$2,28 \pm 0,02$
$\langle N_p \rangle$	$0,18 \pm 0,01$	$0,092 \pm 0,007$	$0,136 \pm 0,006$

* Влияние внутриядерного движения нуклонов и примеси взаимодействий пионов с несколькими нуклонами ядра углерода на полученные данные для π^-p - и π^-n -взаимодействий, по нашим оценкам, составляет $\leq 2\%$ от средних значений множественности заряженных частиц /5/.

Для определения доли однонуклонных взаимодействий α_N среди $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействий мы рассмотрели три варианта отбора $\pi^- \text{N}$ -взаимодействий.

В первом варианте к $\pi^- \text{N}$ -взаимодействиям отнеслись все события, удовлетворяющие следующим критериям:

1/ В $\pi^-^{12}\text{C}$ -событиях сумма зарядов вторичных частиц равна $0(\pi^- \text{p})$ или $-1(\pi^- \text{n})$.

2/ Число наблюдаемых протонов $N_p \leq 1$, они могут иметь любое направление вылета /ферми-движение/.

Во втором варианте использовались эти же условия, но из рассмотрения исключались протоны с $P \leq 200 \text{ МэВ/с}$, в третьем - с $P \leq 300 \text{ МэВ/с}$ /испарительные протоны/ [8,9].

В табл. 2 приведены средние значения $\langle n_{\pm} \rangle$ и доля $\pi^- \text{N}$ взаимодействий среди $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействий для этих вариантов отбора. Как видно из табл. 2, исключение из рассмотрения протонов с $P \leq 300 \text{ МэВ/с}$ приводит к значению $\langle n_{\pm} \rangle = 5,38 \pm 0,03$, которое существенно отличается от ожидаемого - $5,21 \pm 0,03$. В связи с этим мы полагали, что доля однонуклонных взаимодействий составляет $59,9 \pm 1,5\%$ /вариант 2/ *.

Таблица 2

	$\pi^- \text{N}(1)$	$\pi^- \text{N}(2)$	$\pi^- \text{N}(3)$	$\pi^- \text{N}$
$\langle n_{\pm} \rangle$	$5,25 \pm 0,03$	$5,27 \pm 0,03$	$5,38 \pm 0,03$	$5,21 \pm 0,03$
$\langle n_{-} \rangle$	$2,92 \pm 0,02$	$2,94 \pm 0,02$	$2,99 \pm 0,02$	$2,92 \pm 0,02$
$\langle n_{+} \rangle$	$2,32 \pm 0,02$	$2,33 \pm 0,02$	$2,39 \pm 0,02$	$2,28 \pm 0,02$

Доля $\pi^- \text{N}$ (55,8 \pm 1,4)% (59,9 \pm 1,5)% (66,9 \pm 1,6)%
взаимодейств.

* Таким образом, к однонуклонным взаимодействиям мы относим такие события, когда имеется возбуждение ядра углерода с последующим испусканием испарительных протонов. Интересно также отметить, что средняя множественность отрицательных пионов $\langle n_{-} \rangle$ слабо зависит от условий отбора однонуклонных взаимодействий.

После определения доли однонуклонных взаимодействий из соотношения

$$n_{\pm}(\pi^-^{12}\text{C}) = \alpha_N n_{\pm}(\pi^- \text{N}) + (1 - \alpha_N) n_{\pm}(\pi^- \cdot \text{mN}) \quad /2/$$

можно найти распределения событий по множественности в многонуклонных взаимодействиях ($m \geq 2$). На рис. 1-3 приведены вероятности рождения π^{\pm} -мезонов в $\pi^-^{12}\text{C}$,

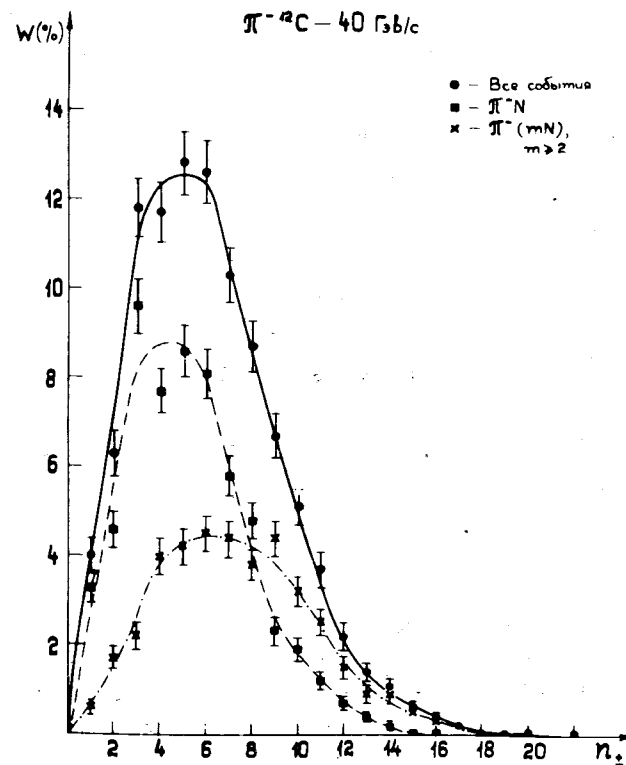


Рис. 1. Распределения событий по множественности вторичных заряженных пионов (n_{\pm}) для $\pi^-^{12}\text{C}$, $\pi^- \text{N}$ и $\pi^- (\text{mN})$ -взаимодействий при $P = 40 \text{ ГэВ/с}$. Кривые проведены от руки.

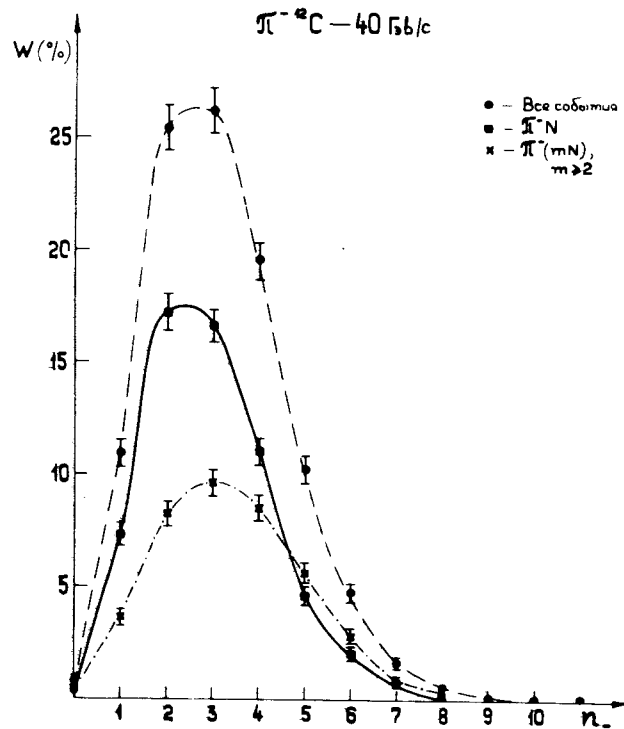


Рис. 2. Распределения событий по множественности π^- -мезонов (n_+) для $\pi^-^{12}\text{C}$ -, $\pi^- \text{N}$ - и $\pi^- (\text{mN})$ -взаимодействий при $P = 40 \text{ ГэВ/с}$. Кривые проведены от руки.

$\pi^- \text{N}$ - и в $\pi^- (\text{mN})$ -взаимодействиях при $P = 40 \text{ ГэВ/с}$. В табл. 3 приведены соответствующие значения $\langle n_i \rangle$. При определении средних значений $\langle n_i \rangle$ для π^0 -мезонов и нейтральных странных частиц значение α_N полагалось равным 59,9% от полученного для пионов /10/.

Как видно из рисунков и табл. 3, средние множественности вторичных пионов в многонуклонных взаимодействиях примерно в 1,5 раза больше, чем в однонуклонных. Большее значение $\langle n_+ \rangle$ для $\pi^- (\text{mN})$ -взаимодействий, чем $\langle n_- \rangle$, вероятно, связано с наличием большого положительного заряда ядра углерода.

Таблица 3

$\pi^-^{12}\text{C}$	$\pi^- \text{N}$	$\pi^- (\text{mN})$	$\frac{\langle n \rangle^{\pi^-^{12}\text{C}}}{\langle n \rangle^{\pi^- \text{N}}}$	$\frac{\langle n \rangle^{\pi^- (\text{mN})}}{\langle n \rangle^{\pi^- \text{N}}}$
$\langle n_+ \rangle 6,32 \pm 0,06$	$5,21 \pm 0,03$	$7,98 \pm 0,10$	$1,21 \pm 0,01$	$1,53 \pm 0,02$
$\langle n_- \rangle 3,24 \pm 0,03$	$2,92 \pm 0,02$	$3,72 \pm 0,05$	$1,11 \pm 0,01$	$1,27 \pm 0,02$
$\langle n_+ \rangle 3,08 \pm 0,04$	$2,29 \pm 0,02$	$4,27 \pm 0,06$	$1,35 \pm 0,02$	$1,87 \pm 0,03$
$\langle n_{\pi^0} \rangle 2,91 \pm 0,04$	$2,47 \pm 0,06$	$3,57 \pm 0,12$	$1,18 \pm 0,03$	$1,45 \pm 0,06$
$\langle n_{\Lambda^0} \rangle 0,32 \pm 0,03$	$0,27 \pm 0,04$	$0,39 \pm 0,09$	$1,19 \pm 0,21$	$1,44 \pm 0,39$

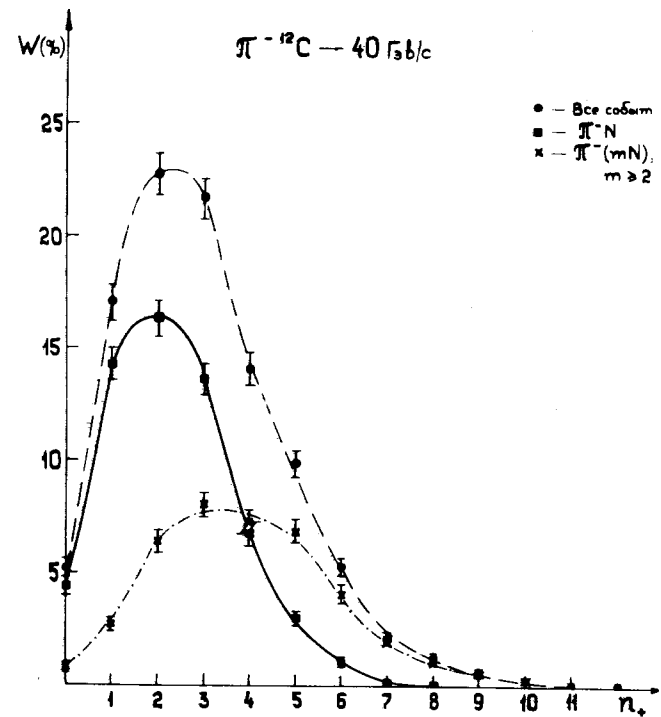


Рис. 3. Распределения событий по множественности π^+ -мезонов (n_+) для $\pi^+^{12}\text{C}$ -, $\pi^+ \text{N}$ - и $\pi^+ (\text{mN})$ -взаимодействий при $P = 40 \text{ ГэВ/с}$. Кривые проведены от руки.

§3. О множественности вторичных частиц
в многонуклонных взаимодействиях $\pi^- (mN)$

Во втором параграфе настоящей работы были получены данные о множественности пионов для $\pi^- (mN)$ -взаимодействий, где $m \geq 2$. Представляет большой интерес получить данные о n_i для таких многонуклонных взаимодействий, когда $m = 2, 3, 4, 5$ и т.д. Для выделения этих взаимодействий мы использовали величину

$$Q = n_+ - n_-, \quad /3/$$

которая равна разности зарядов положительных и отрицательных пионов. Идентифицируемые протоны с $P \leq 700 \text{ МэВ/с}$ исключаются из рассмотрения из-за неоднозначной интерпретации их образования*.

Значение величины Q для $\pi^- p$ - и $\pi^- n$ -взаимодействий



соответственно равно $-1, 0; -2; -1$. Здесь X означает, "все, что угодно". Таким образом, в однонуклонных взаимодействиях значения Q меняются от -2 до 0 . Поэтому, если, например, $Q = 1$, то число протонов, которые участвовали во взаимодействиях, $m_p \geq 2$. Здесь следует подчеркнуть, что в этом случае неупругие взаимодей-

* В дальнейшем можно использовать имеющуюся информацию о вторичных протонах с импульсом $P \geq >/200-300/ \text{ МэВ/с}$. Такое ограничение связано с тем, что большая часть протонов с $P \leq </200-300/ \text{ МэВ/с}$ связана с процессом испарения^{/8,9/}.

ствия были такого типа, что протоны после взаимодействия имели или $P \geq 700 \text{ МэВ/с}$, или $p \rightarrow \pi^+ *$. С другой стороны, если $Q = -3$, то в этом случае во многонуклонном взаимодействии участвовало $m_n \geq 2$ протонов. Аналогично для $Q = 2$ получаем $m_p \geq 3$ и т.д. Таким образом, классифицируя зарегистрированные π^- -события по Q , можно выделять многонуклонные взаимодействия с большим числом нуклонов.

В табл. 4 и на рис. 4 приведены значения $\langle n_i \rangle$ в зависимости от величины Q . Из этих данных видно, что с увеличением Q быстро растет число положительных пионов, чего и следовало ожидать по условиям отбора. Интересно отметить, что при $Q = -3, -4$, когда во взаимодействиях доминируют процессы с участием

Таблица 4

Доля от π^- -событий (%)	Q	$\langle n_- \rangle$	$\langle n_+ \rangle$	$\langle n_{\pm} \rangle$	$\langle n_p \rangle$
$0,40 \pm 0,12$	≤ -3	$6,50 \pm 0,44$	$3,23 \pm 0,44$	$9,73 \pm 0,88$	$2,09 \pm 0,33$
$4,38 \pm 0,40$	-2	$3,86 \pm 0,12$	$1,86 \pm 0,12$	$5,72 \pm 0,24$	$1,73 \pm 0,09$
$36,30 \pm 1,15$	-1	$3,15 \pm 0,04$	$2,15 \pm 0,04$	$5,30 \pm 0,08$	$0,69 \pm 0,05$
$39,13 \pm 1,19$	0	$3,08 \pm 0,04$	$3,08 \pm 0,04$	$6,16 \pm 0,08$	$0,65 \pm 0,03$
$13,00 \pm 0,69$	1	$3,46 \pm 0,08$	$4,46 \pm 0,08$	$7,92 \pm 0,16$	$1,04 \pm 0,06$
$4,49 \pm 0,40$	2	$3,77 \pm 0,16$	$5,77 \pm 0,16$	$9,54 \pm 0,32$	$1,39 \pm 0,11$
$1,63 \pm 0,24$	3	$3,43 \pm 0,25$	$6,43 \pm 0,25$	$9,86 \pm 0,50$	$1,20 \pm 0,17$
$0,65 \pm 0,15$	≥ 4	$3,89 \pm 0,33$	$8,11 \pm 0,33$	$12,00 \pm 0,66$	$0,79 \pm 0,22$

* Среди событий с $Q \geq 1$ имеются также и такие, которые связаны с неупругой перезарядкой вторичного π^- -мезона на протоне ядра углерода ($\pi^- p \rightarrow n \pi^0$). Однако их доля, по нашим оценкам, невелика ($\leq 10\%$).

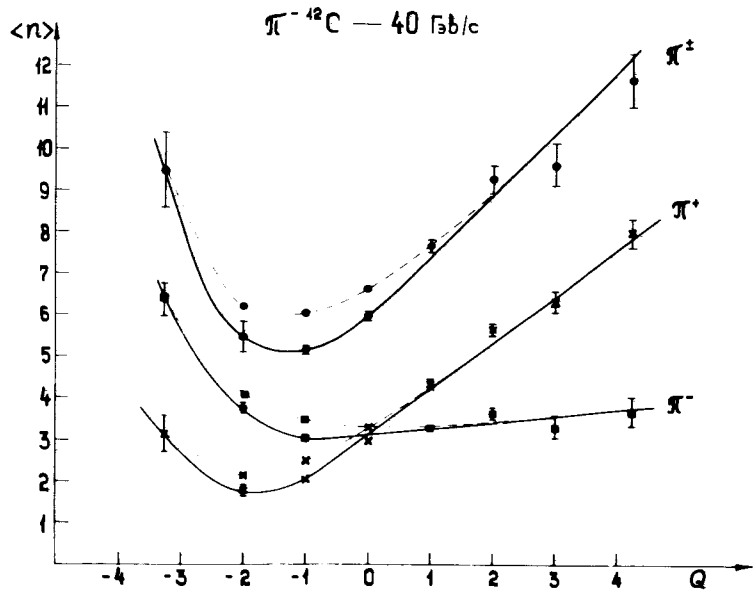


Рис. 4. Зависимость средних множественностей пионов от Q . Пунктиром даны значения $\langle n \rangle$ для $\pi^- (mN)$ -взаимодействий. Кривые проведены от руки.

двух или трех нейтронов типа $p \rightarrow p \pi^-$, начинает расти и среднее число отрицательных пионов.

На рис. 5-7 приведены распределения событий по множественности вторичных пионов в зависимости от величины Q . На рис. 8 даны значения $\langle n_i \rangle$ для различных значений Q в интервале 0-5. Здесь же приведены оценки $\langle n_i \rangle$ по каскадной модели и модели Глаубера^{/3/}. При оценке $\langle n_i \rangle$ по каскадной модели предполагалось, что энергия вторичных частиц равна $E / \langle n \rangle$, где E - энергия частицы до взаимодействия и $\langle n \rangle$ - среднее число вторичных частиц. При вычислении $\langle n_i \rangle$ по модели Глаубера для взаимодействий с протонами полагалось, что энергия первичной частицы делится между этими взаимодействиями поровну (E/m); взаимодействия вторичных частиц не учитывались^{/3/}. Как видно из рис. 8,

Рис. 5. Распределения событий по множественности вторичных заряженных пионов (n_{\pm}) в зависимости от Q для π^-12C -взаимодействий. Заштрихованные области гистограмм соответствуют $\pi^- (mN)$ -взаимодействиям.

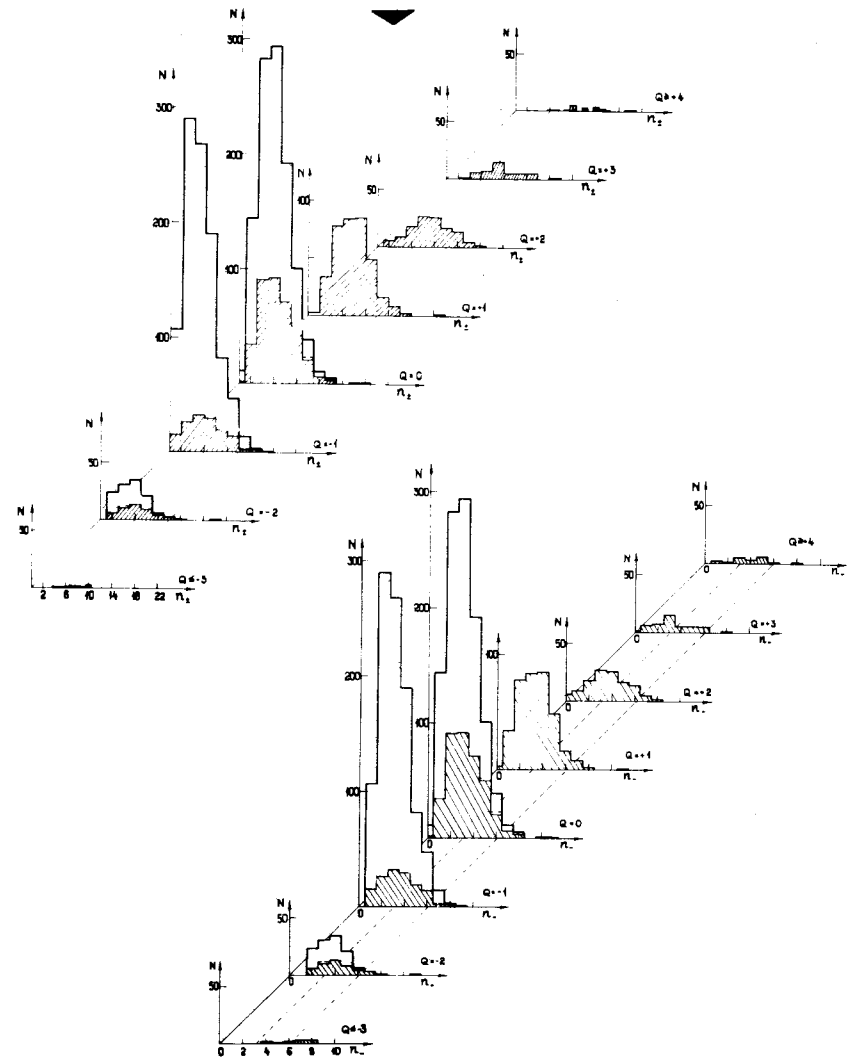


Рис. 6. Распределения событий по множественности π^- -мезонов (n_-) в зависимости от Q для π^-12C -взаимодействий. Заштрихованные области гистограмм соответствуют $\pi^- (mN)$ -взаимодействиям.

модель Глаубера качественно описывает зависимость $\langle n_i \rangle$ от Q^* .

Используя значения вероятностей взаимодействия π^- -мезонов с m -нуклонами /табл. 4/, можно получить, что среднее число взаимодействий $\langle \nu \rangle \approx 1,50 \pm 0,03$. Для гауссовского распределения плотности нуклонов в ядре углерода $\langle \nu \rangle = 1,5$ при $\sigma(\pi^-N) = 22 \text{ мб} / 8 /$.

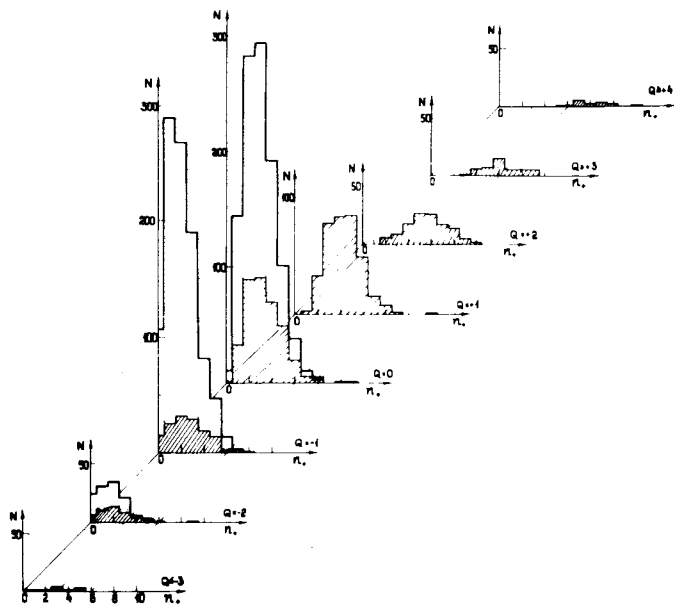


Рис. 7. Распределения событий по множественности π^+ -мезонов (n_+) в зависимости от Q для $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействий. Заштрихованные области гистограмм соответствуют $\pi^-(mN)$ -взаимодействиям.

*В расчетах предполагалось, что число протонов, участвующих во взаимодействиях, $m_p = Q + 1$. Значения $\langle n_i \rangle$ брались из экспериментальных данных.

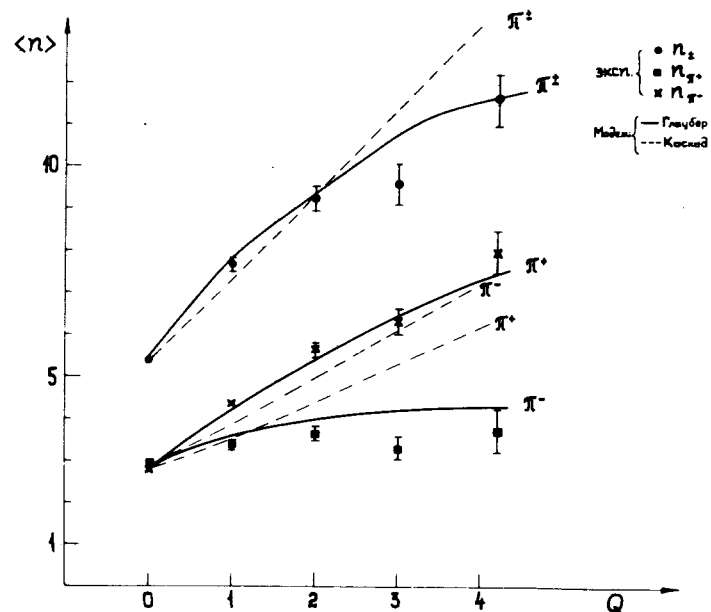


Рис. 8. Зависимость $\langle n \rangle$ от Q . Пунктир - каскадная модель, сплошные кривые - модель Глаубера. Кривые проведены от руки.

Мы признательны участникам Сотрудничества по исследованию процессов множественного рождения частиц в π^-N -взаимодействиях при $P = 40 \text{ ГэВ/с}$ за полезные обсуждения.

Литература

1. Гуламов К.Г., Чернов Г.М., Юлдашев Б.С. IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Множественные процессы. ОИЯИ, Д1,2-9224, Дубна, 1975, стр. 233.
2. Nikolaev N.N., I.T.P., Particle-Nucleus Interactions at High Energies. Chernogolovka, 1976.
3. Шабельский Ю.М. ЛИЯФ, №248, Ленинград, 1976.

4. Балдин А.М. ОИЯИ, Р7-5808, Дубна, 1971; ОИЯИ, Д1,2-7411, Дубна, 1973, стр. 463.
5. Абдурахимов А.У. и др. ОИЯИ, Р1-6326, Дубна, 1972; Ангелов Н.С. и др. ОИЯИ, Р1-9785, Дубна, 1976; Назаргулов Р.М. ОИЯИ, Р1-10218, Дубна, 1976; Ангелов Н.С. и др. ОИЯИ, Р1-9792, Дубна, 1976.
7. Ангелов Н.С. и др. ОИЯИ, Р1-9978, Дубна, 1976.
8. Ангелов Н.С. и др. ЯФ, 22 /5/, 1026, 1975.
9. Азимов С.А. и др. ЯФ, 22 /6/, 1168, 1975.
10. Ангелов Н.С. и др. ЯФ, 24/4/, 732, 1976.

*Рукопись поступила в издательский отдел
24 декабря 1976 года.*