

А - 646



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

1-81-218

**АНГЕЛОВ**  
Николай Стоянов

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
МНОЖЕСТВЕННОГО РОЖДЕНИЯ  
ПИОНОВ И МЕЗОННЫХ РЕЗОНАНСОВ  
В ПИОН-НУКЛОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ**

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени доктора физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник

Ю. А. БУДАГОВ

доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник

Е. М. ЛЕВИН

доктор физико-математических наук  
профессор

М. Н. ХАЧАТУРЯН

Ведущее научно-исследовательское учреждение -  
Научно-исследовательский институт ядерной физики  
Московского государственного университета  
им. М. В. Ломоносова.

Защита диссертации состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1981 года  
в \_\_\_\_\_ часов на заседании специализированного совета Д-047.01.02  
при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных  
исследований по адресу: г. Дубна, Московской области, Лаборатория  
высоких энергий ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1981 года.

Ученый секретарь  
Специализированного совета

М. Ф. ЛИХАЧЕВ

### Общая характеристика работы

Актуальность исследований множественного рождения частиц в адрон-нуклонных соударениях при высоких энергиях обусловлена тем, что эти процессы составляют основную часть сильных взаимодействий. Всестороннее изучение характеристик множественных процессов необходимо для создания теории сильных взаимодействий.

Инклюзивный метод исследований, гипотеза масштабной инвариантности и кварк-партоновые модели стимулировали интенсивное исследование этих процессов. В результате получен огромный экспериментальный материал. Однако следует отметить, что подавляющее большинство данных относится к характеристикам заряженных пионов. Информация о структурных функциях  $\Pi^0$ -мезонов (или гамма-квантов от их распадов), о корреляциях в образовании  $\Pi^{\pm}$  и  $\Pi^0$ -мезонов намного беднее. В последние годы были получены веские доказательства, свидетельствующие об интенсивном образовании резонансов в адрон-нуклонных соударениях при высоких энергиях, - факт, имеющий первостепенное значение как для многих теоретических моделей, так и для объяснения ранее установленных закономерностей.

Настоящая работа посвящена изучению множественного образования адронов в пион-нуклонных взаимодействиях при высоких энергиях с упором на подробный анализ данных для  $\Pi^0$ -мезонов (гамма-квантов) и мезонных резонансов.

#### Цель работы -

- получение нового и значительного по объему экспериментального материала по взаимодействиям  $\Pi^-$ -мезонов с протонами, нейтронами и ядрами углерода при импульсе 40 ГэВ/с, характеризующегося единой методикой обработки и анализа данных, полной информацией о вторичных частицах и рекордной статистикой гамма-квантов;

- систематический анализ в рамках данного эксперимента характеристики взаимодействий в зависимости от типа мишени, сравнение одночастичных спектров и двухчастичных корреляций разных типов вторичных частиц;

- исследование процессов с множественным образованием пионов и мезонных резонансов в широком интервале энергий;

- сравнение экспериментальных результатов с предсказаниями теоретических моделей.

Новизна работы. На основе анализа данных по неупругим  $\Pi^-N$ -взаимодействиям установлен ряд новых основных закономерностей множественного рождения адронов. Впервые показано, что образование резонансов играет доминирующую роль, установлено равенство сечений

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
БИБЛИОТЕКА

образования  $\rho^0$  и  $\omega$  -мезонов, которое явилось первым подтверждением справедливости аддитивной кварковой модели. В большинстве случаев данные для  $\Pi^0$ - мезонов (гамма-квантов) также получены впервые. С успехом применены современные математические идеи и алгоритмы для восстановления инклюзивных спектров  $\Pi^0$ -мезонов. Проведено комплексное изучение одночастичных, двухчастичных спектров пионов (гамма-квантов) и корреляций между ними для  $\Pi^-N$ -взаимодействий. Такой систематический анализ данных для пион-нейтронных взаимодействий является первым в области физики высоких энергий.

Научная и практическая ценность работы. Результаты диссертационной работы дают обширный экспериментальный материал для проверки теоретических моделей и подходов к проблеме множественного рождения частиц и резонансов в сильных взаимодействиях при высоких энергиях. Подробное количественное сравнение экспериментальных данных с предсказаниями мультипериферической модели с образованием кластеров позволило уточнить ряд ее параметров. Аддитивная кварковая модель, которая в настоящее время с успехом применяется в физике высоких энергий, была впервые подтверждена на экспериментальных результатах, изложенных в настоящей работе.

Разработанные алгоритмы и программы для анализа данных дали ( и дают ) значительную экономию времени на ЭВМ и в конечном итоге - существенный экономический эффект.

Ряд данных использовался ( и используется ) для планирования экспериментов в области физики высоких энергий.

Апробация работы и публикации. Основные положения работы докладывались на международных конференциях по физике высоких энергий в Амстердаме (1971 г.), Оксфорде (1972 г.), Батавии (1972 г.), Экс-ан-Провансе (1973 г.), Лондоне (1974 г.), Тбилиси (1976 г.), международных семинарах по проблемам физики высоких энергий в Дубне (1975 г., 1978 г.) и на научных сессиях Отделения ядерной физики АН СССР.

В основу настоящей диссертации легли результаты 33 работ, опубликованных в виде сообщений, препринтов ОИЯИ и статей в журналах "Ядерная физика", "Доклады Болгарской академии наук", "Nuclear Physics", "Physics Letters".

#### Автор защищает:

I. Работу по получению и обработке данных с двухметровой пропановой пузырьковой камеры, облученной  $\Pi^-$ - мезонами с импульсом 40 ГэВ/с, вклад в программное обеспечение эксперимента и разработку ряда методических вопросов. Результат этой работы - получение полной информации о характеристиках вторичных частиц на статистике

~ 35 тыс. взаимодействий  $\Pi^-$ -мезонов с нуклонами и ядрами углерода.

2. Данные, полученные для топологических сечений, множественностей  $\Pi^0$ -мезонов и сечений рождения мезонных резонансов  $\rho^0$ ,  $f$  и  $\omega$ .

3. Результаты анализа одночастичных инклюзивных и полудиинклюзивных спектров частиц, одночастичных корреляций и дифференциальных сечений  $\rho^0$ -мезона.

4. Результаты исследования двухчастичных корреляций заряженных частиц и гамма-квантов.

5. Выводы, сделанные при сравнении экспериментальных данных с теоретическими моделями.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы - всего 163 страницы машинописного текста, 72 рисунков, 25 таблиц и библиографии из 243 наименований.

#### Содержание работы

В первой главе диссертации дано краткое описание экспериментальной установки - двухметровой пропановой ( $C_3H_8$ ) пузырьковой камеры (ДТПК-500). Приводятся основные характеристики камеры и системы фотографирования. Среднее значение напряженности магнитного поля в рабочем объеме ДТПК-500 составляет 15 кГс. Камера экспонировалась в пучке  $\Pi^-$ - мезонов с импульсом  $P = (40,00 \pm 0,24)$  ГэВ/с на серпуховском ускорителе. Во время сеансов облучения было получено около 300 тыс. стереофотографий.

Во второй главе диссертации излагаются все этапы процесса обработки данных. Приводятся основные методические результаты.

В Дубне просмотр стереоснимков проводился на просмотрных столах БПС-1, БПС-2 и САМЕТ. Треки измерялись на полуавтоматах типа ПУОС, работающих на линии с ЭВМ БЭСМ-4. Обсчет измерений осуществлялся на ЭВМ CDC-1604 А по программе геометрической и кинематической реконструкции ГЕОФИТ.

Конечным результатом просмотра, измерения и начальной математической обработки по геометрическим и кинематическим программам является создание первичных магнитных лент суммарных результатов (ЛСР), на которых записана информация о событии в целом и основные характеристики (тип, импульс  $p$ , углы вылета  $\beta$  и  $\alpha$ , погрешности  $\Delta p$ ,  $\Delta \beta$ ,  $\Delta \alpha$  и т.д.) частиц, образованных в результате данного взаимодействия. Для обработки большого объема поступающих данных была создана система программ на ЭВМ, осуществляющая: а) контроль качества просмотра и измерения, исправление допущенных ошибок; б) введение на ЛСР результатов методического просмотра, методических

исследований и кинематические характеристики частиц; в) объединение данных из разных измерений и разных ЛСР; г) создание ЛСР разных типов, отвечающих специфике ЭВМ и т.д. Многолетняя эксплуатация (1972-1980 гг.) показала, что этот цикл программ для обработки फिल्मовой информации успешно справляется со всеми, обычно возникающими на этом этапе работы, проблемами.

Физические результаты с конечным ЛСР получаются при помощи цикла программ статистической обработки информации и программ сервисного типа. Первые из них предназначены для получения данных в виде гистограмм или таблиц. Возможна, и обычно применяется, последующая обработка сервисными программами. В момент своего создания (1972-1973 гг.) эта система имела (и сейчас имеет) некоторые преимущества по сравнению с другими аналогичными программами. К самым существенным из них можно отнести: а) наглядность результатов; б) замкнутость и простоту; в) самостоятельную ценность отдельных универсальных блоков; г) быстрое действие, дающее значительную экономию времени на ЭВМ. Этот цикл программ получил широкое распространение в коллективах, занимающихся обработкой फिल्मовой информации. В настоящий момент с ними работают в Улан-Баторе, Ташкенте, Тбилиси, Софии, Варне, Лаборатории высоких энергий и Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и т.д. В принципе, возможно его применение в обширном круге задач, связанных с анализом больших наборов данных и их статистической обработкой на ЭВМ.

В этой же главе приведены результаты методических исследований.

Эффективность двойного независимого просмотра для нахождения звезд равна 99,7%, для гамма-квантов и  $V^0$ -частиц - 99%. Средние погрешности определения импульсов заряженных пионов и гамма-квантов соответственно равны:  $(\Delta p/p)_{\pi} = (10,00 \pm 0,05)\%$ ,  $(\Delta p/p)_{\gamma} = (13,17 \pm 0,07)\%$ .

Описан разработанный алгоритм получения функции разрешения прибора для системы вторичных частиц. Для эффективных масс зависимость, в основном, линейная ( $\sigma(M) = \alpha + \beta M$ ) и для некоторых характерных значений масс имеем:  $\sigma(M_{\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma}) = 0,014$  ГэВ,  $\sigma(M_{p^0 \rightarrow \pi^+\pi^-}) = 0,038$  ГэВ и  $\sigma(M_{\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma}) = 0,030$  ГэВ.

По стандартным, для пропановых камер, критериям события идентифицировались как  $\pi^+\pi^-$ ,  $\pi^+\pi^0$  и  $\pi^+\pi^+\pi^-$  - взаимодействия.

Рассмотрены вопросы выбора эффективных областей для регистрации звезд и нейтральных частиц, идентификации частиц, примеси неидентифицированных частиц и т.д. Особое внимание уделено проблемам, связанным с регистрацией гамма-квантов: эффективность регистрации, выделение тормозных  $\gamma$ -квантов, введение поправок, учитывающих

потери гамма-квантов. Приведены критерии для выделения упругих и когерентных взаимодействий.

Суммарная статистика составляет около 35 тыс.  $\pi^+\pi^-$ ,  $\pi^+\pi^0$  и  $\pi^+\pi^+\pi^-$  - взаимодействий с измеренными заряженными и нейтральными (в основном гамма-кванты) частицами. Из них ~ 18 тыс. являются  $\pi^+\pi^-$ -соударениями - взаимодействия со свободными (~ 56%) и квазисвободными (~ 44%) протонами. Статистика взаимодействий  $\pi^+$ -мезонов с квазисвободными нейтронами ядра углерода равна соответственно 6,5 тыс.

Третья глава диссертации посвящена изучению сечений рождения пионов и мезонных резонансов.

В первом параграфе подробно рассмотрен вопрос определения топологических сечений в  $\pi^+\pi^-$  - взаимодействиях при 40 ГэВ/с. На статистике ~ 6000  $\pi^+\pi^-$  и ~ 2100  $\pi^+\pi^0$  - взаимодействий были проанализированы поправки, которые необходимо ввести в начальные данные просмотра и измерений: а) учет эффективности регистрации; б) потери ( $e^+e^-$ )-пар вблизи звезды, которые считались вторичными заряженными частицами (~ 2,8%); в) потери пары Далица вблизи звезды (~ 0,6%); г) исключение упругих и когерентных событий. Средние множественности вторичных заряженных частиц равны  $\langle n_{ch} \rangle = 5,51 \pm 0,04$  для  $\pi^+\pi^-$ -и  $\langle n_{ch} \rangle = 5,07 \pm 0,06$  для  $\pi^+\pi^0$  - взаимодействий. Значения не противоречат логарифмическому росту средних множественностей с ростом энергий сталкивающихся частиц.

Сравнительно высокая эффективность регистрации ( $\langle \epsilon_{\gamma} \rangle \sim 0,21$ ) позволила набрать большую статистику (около 40 тыс.) гамма-квантов. Оценки показали, что их основным источником являются  $\pi^0$ -мезоны.

Среднее число  $\pi^0$ -мезонов в  $\pi^+\pi^-$ ,  $\pi^+\pi^0$ -и  $\pi^+\pi^+\pi^-$  - взаимодействиях при 40 ГэВ/с соответственно равны:  $\langle n_{\pi^0} \rangle_{\pi^+\pi^-} = 2,52 \pm 0,03$ ,  $\langle n_{\pi^0} \rangle_{\pi^+\pi^0} = 2,41 \pm 0,05$  и  $\langle n_{\pi^0} \rangle_{\pi^+\pi^+\pi^-} = 2,91 \pm 0,04$ .

Во всех трех типах взаимодействий имеет место линейный рост  $\langle n_{\pi^0} \rangle$  с увеличением числа заряженных частиц -  $\langle n_{\pi^0} \rangle = \alpha + \beta n_{ch}$ . В пределах ошибок значения коэффициента  $\beta$  не зависят от типа мишени. В настоящее время эти корреляции, открытые в нашем эксперименте, изучены в широком диапазоне энергий и типов сталкивающихся частиц. Значения  $\beta$  возрастают с увеличением энергий первичных частиц.

В диссертации исследован вопрос о распределении  $\pi^0$ -мезонов по множественности. Система уравнений, связывающая распределения  $\pi^0$ -мезонов ( $n_{\pi^0}(N^0)$ ) и гамма-квантов ( $m_{\gamma}(\gamma)$ ):

$$m_{\gamma}(\gamma) = \sum_k \frac{2k!}{(2k-\epsilon)! \epsilon!} \langle \epsilon_{\gamma} \rangle^{\epsilon} (1 - \langle \epsilon_{\gamma} \rangle)^{2k-\epsilon} n_{\pi^0}(N^0), \quad (I)$$

относится к некорректно поставленным задачам и на данном экспериментальном материале ее решение обычными методами приводит к нефизическим результатам – большие положительные и отрицательные значения  $n_K(\pi^0)$ . В постулированном предположении о том, что  $\pi^0$  – мезоны рождаются независимо, ее решение показало, – в статистически обеспеченных данных ( $n_{ch} \leq 10$ ) распределения  $n_K(\pi^0)$  не описываются законом Пуассона.

Дисперсия распределения  $\pi^0$  – мезонов по множественности  $D_{\pi^0} = \langle n_{\pi^0}^2 \rangle - \langle n_{\pi^0} \rangle^2$  связана с дисперсией распределения гамма-квантов  $D_\gamma$  соотношением:

$$D_\gamma = 4 \langle \epsilon_\gamma \rangle^2 D_{\pi^0} + \langle n_{\pi^0} \rangle D_0, \quad (2)$$

где  $D_0$  – дисперсия распределения гамма-квантов от распада одного  $\pi^0$  – мезона. Инклюзивные корреляционные параметры  $R_2^{oo} = D_{\pi^0} - \langle n_{\pi^0} \rangle$  равны  $R_2^{oo} = 1,6 \pm 0,4$ ,  $R_2^{oo} = 1,5 \pm 0,5$  и  $R_2^{oo} = 1,7 \pm 0,4$  для  $\pi^+p^-$ ,  $\pi^+n^-$  и  $\pi^+c^-$  – взаимодействий при 40 ГэВ/с. В отдельных топологиях значения  $R_2^{oo}$  также существенно отличаются от нуля.

Таким образом установлена корреляция по множественности для  $\pi^0$  – мезонов. С ростом энергии сталкивающихся частиц значения  $R_2^{oo}$  возрастают.

На основании полученных топологических сечений для  $\pi^+N^-$  – взаимодействий и данных по  $\pi^0$  – мезонам получены и проанализированы значения корреляционных параметров  $R_2^{++}$ ,  $R_2^{+-}$ ,  $R_2^{+o}$  и т.д., характеризующих распределения пионов по множественности.

Результаты, изложенные в этом параграфе, послужили основанием для создания теоретических моделей с учетом корреляций по множественности.

Данные, свидетельствующие об обильном образовании резонансов при высоких энергиях, привели к существенному изменению представлений о динамике множественных процессов. Ввиду важности этого результата в третьей главе диссертации подробно проанализирована методика выделения резонансов при высоких энергиях. Основное внимание уделено  $\rho^0$  – и  $\omega$  – мезонам.

В  $\pi^+N^-$  – соударениях при 40 ГэВ/с, в спектрах эффективных масс  $M(\pi^+\pi^-)$ , можно ожидать сигналы от  $\rho^0$  – и  $f$  – мезонов, но следует учитывать также возможность образования  $\omega$  – мезонов, которые в случае интенсивного рождения оказывают влияние на вид спектра  $M(\pi^+\pi^-)$ , частично перекрывая сигнал от  $\rho^0$  – мезона. Экспериментальные спектры эффективных масс (рис. I) аппроксимировались методом наименьших квадратов функцией:

$$\frac{dN}{dM} = \Phi(M) [1 + \alpha_{\rho^0} \cdot BW_{\rho^0}(M) + \alpha_f \cdot BW_f(M) + \alpha_\omega \cdot F_\omega(M)], \quad (3)$$

где коэффициенты  $\alpha_{\rho^0}$ ,  $\alpha_f$ ,  $\alpha_\omega$  определяют сечения рождения резонансов ( $\rho^0$ ,  $f$ ,  $\omega$ ).  $BW_{\rho^0}(M)$ ,  $BW_f(M)$  – релятивистские функции Брейта-Вигнера с фиксированными значениями масс и ширины резонансов:  $M_0 = 0,776$  ГэВ,  $\Gamma_0 = 0,158$  ГэВ для  $\rho^0$  – мезона,  $M_0 = 1,27$  ГэВ,  $\Gamma_0 = 0,18$  ГэВ для  $f$  – мезона;  $F_\omega(M)$  – функция отражения  $\omega$  – мезона,  $\Phi(M)$  – фоновое распределение. Функции  $BW_{\rho^0}(M)$ ,  $BW_f(M)$  и  $F_\omega(M)$  умножались на величину фазового объема и модифицировались с учетом экспериментальных погрешностей  $\sigma(M)$  в измерении эффективных масс. В качестве фона  $\Phi(M)$  использовались распределения эффективных масс одноименно заряженных пионов или аналитическая кривая. Сечения образования резонансов, получаемые с разными фонами, в пределах ошибок совпадают.

Инклюзивные и полунклюзивные сечения образования и средние множественности  $\rho^0$  – и  $\omega$  – мезонов в  $\pi^+p^-$  и  $\pi^+n^-$  – взаимодействиях при 40 ГэВ/с представлены в табл. I. Инклюзивные сечения  $f$  – мезона соответственно равны:  $\sigma_{\pi^+p^-}(f) = (1,3 \pm 0,5)$  мб. и  $\sigma_{\pi^+n^-}(f) = (0,9 \pm 0,5)$  мб.\*.

Таблица I. Сечения и средние множественности  $\rho^0$  – и  $\omega$  – мезонов ( $\pi^+N^-$  – взаимодействия при 40 ГэВ/с)\*\*\*

$n_{ch}$	$\sigma_{\rho^0}$ (мб)	$\langle n_{\rho^0} \rangle$	$\sigma_\omega$ (мб)	$\langle n_\omega \rangle$
4	$1,2 \pm 0,2$	$0,19 \pm 0,03$	$1,0 \pm 0,2$	$0,16 \pm 0,03$
5	$1,3 \pm 0,5$	$0,23 \pm 0,09$	$0,7 \pm 0,4$	$0,11 \pm 0,07$
6	$2,1 \pm 0,3$	$0,35 \pm 0,05$	$2,4 \pm 0,3$	$0,40 \pm 0,06$
7	$2,1 \pm 0,6$	$0,54 \pm 0,16$	$1,7 \pm 0,6$	$0,43 \pm 0,18$
8	$2,5 \pm 0,4$	$0,72 \pm 0,11$	$1,8 \pm 0,4$	$0,51 \pm 0,12$
9	$1,7 \pm 0,4$	$1,16 \pm 0,27$	$2,1 \pm 0,6$	$1,43 \pm 0,38$
$\geq 10(\pi^+p^-)$	$2,3 \pm 0,4$	$1,00 \pm 0,18$	$2,1 \pm 0,6$	$0,94 \pm 0,34$
$\geq 11(\pi^+n^-)$	$1,4 \pm 0,5$	$1,40 \pm 0,50$	$1,6 \pm 0,7$	$1,56 \pm 0,66$
$\geq 4(\pi^+p^-)$	$8,1 \pm 0,7$	$0,45 \pm 0,04$	$7,3 \pm 0,8$	$0,40 \pm 0,04$
$\geq 5(\pi^+n^-)$	$6,5 \pm 1,0$	$0,54 \pm 0,08$	$6,1 \pm 1,2$	$0,50 \pm 0,10$

\* Данные для  $f$  – и  $\omega$  – мезонов приведены с учетом всех их мод распадов.

\*\*\* Четные значения  $n_{ch}$  относятся к  $\pi^+p^-$  – взаимодействиям, нечетные – к  $\pi^+n^-$  – взаимодействиям.

В диссертации описан анализ спектров  $M(\pi^+\pi^0)$ . В качестве  $\pi^0$ - мезонов брались пары гамма-квантов, удовлетворяющих условию  $(M_{\pi^0} - M_{\gamma\gamma}) \approx 2\Delta M_{\gamma\gamma}$ . Сечение образования  $\omega$ - мезона оказалось равным  $(6 \pm 2)$  мб, что не противоречит результатам, полученным из спектров  $M(\pi^+\pi^-)$ .

Таким образом показано, что в  $\pi N$ - взаимодействиях при 40 ГэВ/с сечения рождения  $\rho^0$ - и  $\omega$ - мезонов примерно одинаковы, - результат, который явился одним из первых подтверждений аддитивной кварковой модели при высоких энергиях.

Образование резонансов в пределах погрешностей практически не зависит от типа мишени ( протон или нейтрон). Среднее число  $\rho^0$ - и  $\omega$ - мезонов растет с увеличением множественности вторичных заряженных частиц. В инклюзивных реакциях с  $N_{ch} \geq 4$  средняя множественность равна 0,4 - 0,5, т.е. на каждое неупругое взаимодействие рождается в среднем один резонанс. Отношения числа  $\pi^-$ - мезонов, образованных от распадов  $\rho^0$  и  $\omega$ , к их полному числу  $R = \frac{N_{\pi^-}(\pi^-)}{N(\pi^-)}$ , равны соответственно  $R_{\rho^0} = 0,14 \pm 0,01$  и  $R_{\omega} = 0,13 \pm 0,01$  ( для  $\pi^-\rho^-$ - и  $\pi^-\omega$ - взаимодействий величины  $R$  совпадают). Таким образом  $(27 \pm 2)\%$   $\pi^-$ - мезонов образуется от распадов этих резонансов. Используя: а) результаты анализа дифференциальных сечений  $\rho^0$ - мезона при 40 ГэВ/с, б) данные для сечения рождения  $\rho^0, \rho^+$  и  $\rho^-$  ( в  $\pi^+\rho^-$ - взаимодействиях при 16 ГэВ/с и в  $pp$ - взаимодействиях при 24 ГэВ/с) в центральной области и в областях фрагментации, мы получили, что около 50%  $\pi^\pm$ - мезонов являются продуктами распада легких мезонных резонансов  $\rho, f$  и  $\omega$ .

Таким образом было показано, что при высоких энергиях интенсивно рождаются резонансы, а это противоречило общепринятому в то время (1975-1976 гг.) представлению о доминирующей роли пионов.

В четвертой главе диссертации изложены результаты изучения одночастичных спектров и корреляций  $\pi^-$ - мезонов и гамма-квантов.

Анализировались следующие экспериментальные данные:

1. Продольные  $\frac{d\sigma}{dy^*}$  и  $E^* \frac{d\sigma}{dx}$  спектры частиц и их характеристики  $\#$ : а)  $\langle y^* \rangle$  и  $D_{y^*} = \langle y^{*2} \rangle - \langle y^* \rangle^2$ ; б) коэффициенты  $K^B, K^P, K^F$ , определяющие доли частиц в области фрагментации мишени ( $y^* < -1$ ), центральной ( $-1 \leq y^* \leq 1$ ) и фрагментации первичного  $\pi^-$ - мезона ( $y^* > 1$ );

$\# y^* = \frac{1}{2} \ln \frac{E^* + P_{||}^*}{E^* - P_{||}^*}$ ,  $x = \frac{P_{||}^*}{P_{max} S \rightarrow \infty \sqrt{S}}$ ,  $S$  - квадрат полной энергии в системе центра инерции, величины в с.д.и. обозначены звездочкой ( $\#$ ).

в) коэффициенты наклонов  $\beta_B, \beta_F$ , полученные при аппроксимации спектров:

$$E^* \frac{d\sigma}{dx} = A_i \exp(-\beta_i |x|) \quad (4)$$

в областях  $(-0,2 \leq x \leq 0)$  и  $(0 \leq x \leq 0,2)$ , соответственно.

2. Поперечные  $\frac{d\sigma}{dP_{\perp}^2}$  спектры частиц: а) средние значения поперечного импульса  $\langle P_{\perp} \rangle$ ; б) коэффициенты наклонов  $B_1$  и  $B_2$ , определяемые при аппроксимации спектров:

$$\frac{d\sigma}{dP_{\perp}^2} = A_1 \exp(-B_1 P_{\perp}^2) + A_2 \exp(-B_2 P_{\perp}^2) \quad (5)$$

3. Зависимость продольных и поперечных спектров и характеристик от  $N_{ch}$ . Одночастичные корреляции между продольными и поперечными переменными.

Экспериментальные результаты для  $\pi^-\rho^-$ - соударений при 40 ГэВ/с сравнивались с расчетами по фазовому объему и мультипериферической модели с образованием кластеров, которые имелись на ЛСР в виде ансамблей искусственных событий.

Первое сравнение инвариантных поперечных сечений  $\frac{1}{\sigma_{ch}} \frac{d\sigma}{dy^*}$  гамма-квантов показало, что абсолютная величина сечений при  $y^* = 0$  для  $\pi^-\rho^-$ - соударений при 40 ГэВ/с совпадает с соответствующим сечением для  $\rho\rho$ - взаимодействий при  $E_p = 500 - 1500$  ГэВ в пределах ошибок. Исследование масштабных закономерностей для реакции:



проведенное на основании данных при 5 ГэВ/с, указывает, что сечение  $\frac{d\sigma}{dy^*}$  не зависит от энергии в интервале 5 - 100 ГэВ при  $y^* = 0$ , а в областях фрагментации в интервале 5 - 40 ГэВ.

В  $\pi^-\rho^-$ - соударениях при 40 ГэВ/с имеет место равенство сечений инклюзивного образования  $\pi^\pm$  и  $\pi^-$ - мезонов при  $y^* \approx 0$  или  $x = 0$  (рис.2). Для всех  $\frac{d\sigma}{dy^*}$  распределений существует общая тенденция к сужению спектров, смещению их максимума к  $y^* = 0$ , увеличению симметрии с ростом  $N_{ch}$ , - количественные оценки дают значения моментов  $\langle y^* \rangle$  и  $D_{y^*}$  (рис.3). С увеличением значений  $N_{ch}$  основные изменения спектров происходят в области фрагментации налетающей частицы и центральной области, - эти результаты получены из анализа значений коэффициентов  $K^B, K^P, K^F$  (рис.4). Зависимость  $K^P$  от  $N_{ch}$  для всех типов частиц ( $\gamma, \pi^+, \pi^-$ ) и мишеней ( $\rho, n, ^{12}C$ ) описывается одной кривой, что можно трактовать как независимость рождения различных типов частиц в центральной области от типа частицы мишени.

Среднее значение поперечного импульса  $\langle P_{\perp} \rangle$  заряженных пионов

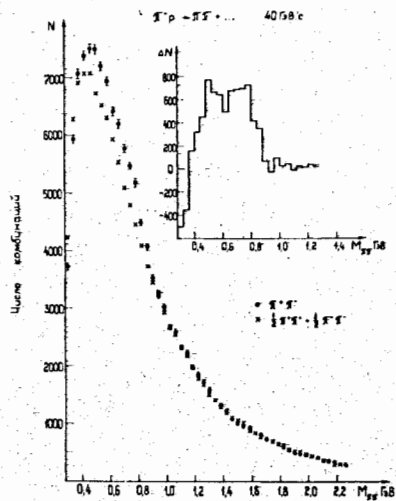


Рис. 1. Инклюзивные спектры эффективных масс  $N(\pi^+\pi^-)$  и  $\Phi(\pi^+\pi^\pm) = \frac{1}{2}N(\pi^+\pi^0) + \frac{1}{2}N(\pi^+\pi^-)$ . Спектры нормированы на одинаковое число комбинаций в области масс  $M(\pi\pi) \geq 1,2$  ГэВ. В правом верхнем углу показана их разница:

$$\Delta N = N(\pi^+\pi^-) - \Phi(\pi^+\pi^\pm)$$

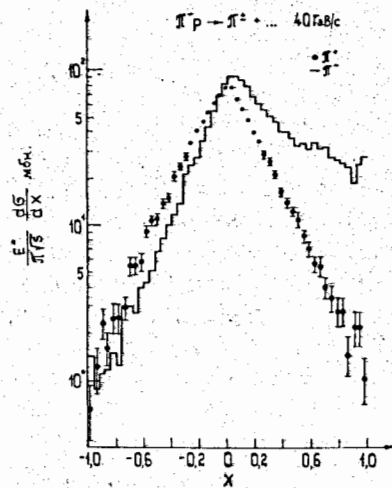


Рис. 2. Инклюзивные дифференциальные сечения  $\pi^+$  и  $\pi^-$  мезонов по переменной  $\chi = \frac{2P_{\pi}^*}{\sqrt{s}}$ .

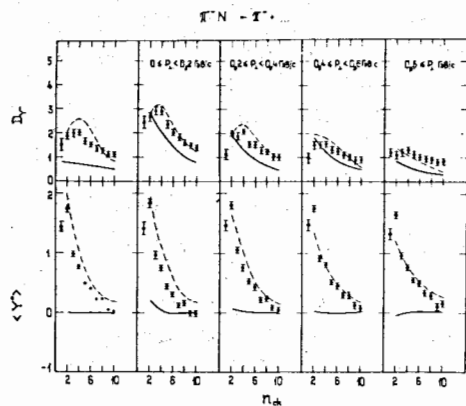


Рис. 3. Значения  $\langle y^* \rangle$  и  $D_{y^*}$   $\pi^-$  мезонов в зависимости от  $p_{ch}$  и  $p_{\perp}$  для  $\pi^- N$ -взаимодействий при 40 ГэВ/с. Пунктирная кривая - расчеты по мультипериферической модели, сплошная кривая - расчеты по фазовому объему.

Рис. 4. Значения коэффициентов  $K^B, K^P, K^F$   $\pi^-$ -мезонов в зависимости от  $p_{ch}$  и  $p_{\perp}$  для  $\pi^- N$ -взаимодействий при 40 ГэВ/с. Кривые - см. рис. 3.

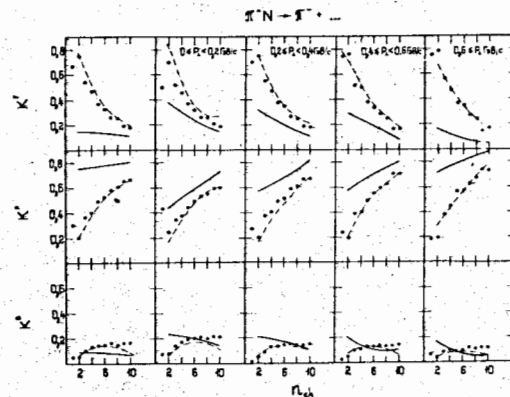


Рис. 5. Параметры наклонов  $B_1$  и  $B_2$ , полученные при аппроксимации полуинклюзивных спектров  $\frac{d\sigma}{dP_{\perp}^2}$   $\pi^+$ ,  $\pi^-$ -мезонов и гамма-квантов в  $\pi^- N$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с.

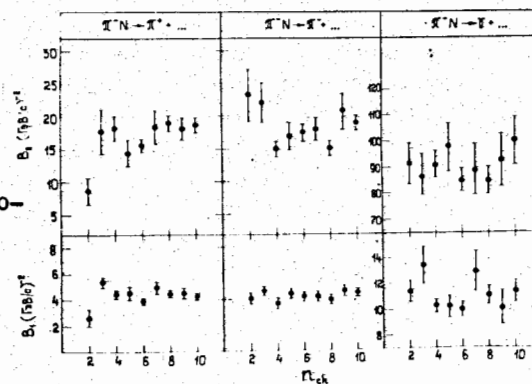
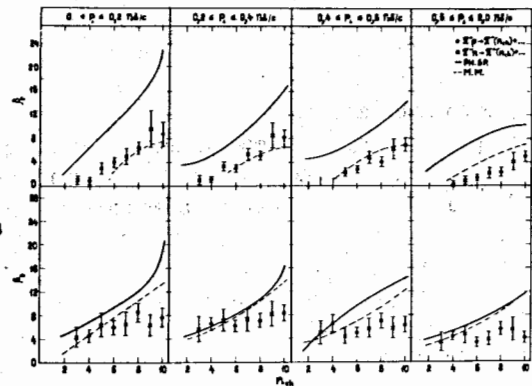


Рис. 6. Значения параметров наклонов  $\beta_B, \beta_F$   $\pi^-$  мезонов в зависимости от значений  $p_{ch}$  и  $p_{\perp}$ . Кривые - см. рис. 3.



в  $\Pi N$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с уменьшается с ростом  $Nch$ . Обращает на себя внимание практическое постоянство значений  $\langle \rho_1 \rangle$  гамма-квантов при разных значениях  $Nch$ . Два наклона в спектрах (5) сохраняются для всех топологий и всех вторичных частиц (рис.5).

Анализ инклюзивных и полунклюзивных одночастичных корреляций показал, что: а) существуют динамические корреляции между  $\langle \rho_1 \rangle$  и продольными переменными частиц, только для центральной области значения  $\langle \rho_1 \rangle$  в пределах ошибок остаются постоянными; б) значения параметров  $\beta_B, \beta_F$  зависят от поперечного импульса, притом зависимость не одинакова для частиц, летящих в переднюю и заднюю полусферу. Таким образом, простая факторизация структурных функций  $f(\rho_1^2, x) = f_1(\rho_1^2) \cdot f(x)$  не имеет места (рис.6).

На этом материале была проведена систематическая апробация мультипериферической модели, уточнен ряд ее параметров, и в последнем варианте модель дает качественное описание установленных закономерностей.

Структурные функции гамма-квантов, в принципе, содержат полную информацию о структурных функциях  $\Pi^0$ -мезонов. Но обычно сравнение импульсных характеристик  $\Pi^\pm$  и  $\Pi^0$  проводится на уровне моментов распределений (средние значения), так как существуют простые соотношения между моментами распределений гамма-квантов и  $\Pi^0$ -мезонов. Между тем кинематика дает возможность восстановления спектров  $\Pi^0$ -мезонов по спектрам гамма-квантов. Так, искомым спектр продольных импульсов  $\Pi^0$ -мезонов ( $N(\rho_{ii}^*)$ ) связан со спектром гамма-квантов ( $n(q_{ii}^*)$ ) уравнением:

$$n(q_{ii}^*) = \int_{p_{ii}^{*min}}^{p_{ii}^{*max}} N(\rho_{ii}^*) (\rho_{ii}^{*2} + m_{\Pi^0}^2)^{-\frac{1}{2}} d\rho_{ii}^*, \quad (7)$$

где  $p_{ii}^{*min} = -\infty, p_{ii}^{*max} = q_{ii}^* - \frac{m_{\Pi^0}^2}{4q_{ii}^*}$  при  $q_{ii}^* < 0; p_{ii}^{*min} = q_{ii}^* - \frac{m_{\Pi^0}^2}{4q_{ii}^*}, p_{ii}^{*max} = \infty$  при  $q_{ii}^* > 0$ . Решая аналогичные, но более сложные уравнения, можно получить и спектры поперечных импульсов  $\Pi^0$ -мезонов. Все уравнения такого типа представляют собой интегральные уравнения Фредгольма I рода. Для их решения был выбран метод статистической регуляризации. Возможности метода для восстановления спектров  $\Pi^0$ -мезонов были проверены путем математического моделирования. На рис.7 показан полученный спектр  $N(\rho_{ii}^*)$   $\Pi^0$ -мезонов, там же дан и спектр  $\Pi^-$ -мезонов. В центральной области ( $|X| \leq 0,02$ ) сравнение спектров показало, что в пределах 7% ошибки  $N_{\Pi^+} = N_{\Pi^-} = N_{\Pi^0}$ , - факт, свидетельствующий об одинаковом механизме образования пионов.

В диссертации обсуждаются проблемы, возникающие при восстановлении структурной функции  $\Pi^0$ -мезонов (решение двумерной зада-

чи такого типа) и спектры эффективных масс, где одна из частиц является  $\Pi^0$ -мезоном. Предложен алгоритм программы на ЭМ для получения ядра интегрального уравнения. Показано, что распределение гамма-квантов по продольной быстрой  $Y^*$  практически совпадает с распределением  $\Pi^0$ -мезонов по той же переменной - примерно в 70% случаев  $\Delta Y = |Y_{\Pi^0} - Y_\gamma| \leq 0,3$ . Прямое сравнение дифференциальных сечений  $\frac{d\sigma}{dy^*}$  гамма-квантов и  $\Pi^\pm$ -мезонов подтвердило равенство выхода  $\Pi$ -мезонов разных зарядов в области  $Y^* = 0$ .

В работе получены дифференциальные сечения  $\rho^0$ -мезона. Сечения  $\frac{d\sigma(\rho^0)}{d\rho^2}$  аппроксимируются экспонентой с параметрами наклона  $B = 2,7 \pm 0,3$  (ГэВ/с) $^{-2}$  и  $B = 3,0 \pm 0,4$  (ГэВ/с) $^{-2}$  для  $\Pi^+ \rho$  и  $\Pi^- \rho$ -взаимодействий соответственно. В широком интервале энергий эти параметры практически постоянны. Распределения  $\rho^0$ -мезонов по продольной быстрой  $\frac{d\sigma(\rho^0)}{dy^*}$  (рис.8) показывают, что в области фрагментации нуклона сечения образования малы и практически не зависят от типа мишени ( $\sigma_p^f = \sigma_n^f \approx 0,5$  мбн). Отношение сечений для центральной области  $\sigma^c(\rho^0)$  и области фрагментации пиона  $\frac{\sigma^c(\rho^0)}{\sigma_n^f(\rho^0)} \approx 2$ , что согласуется с предсказаниями аддитивной кварковой модели.

Для изучения влияния резонансов на одночастичные спектры и двухчастичные корреляции было проведено моделирование распадов  $\rho^0$ - и  $\omega$ -мезонов. Отметим, что появление наклона  $B_2$  ( $B_2 \approx 4B_1$ ) в сечениях  $\frac{d\sigma}{d\rho^2}$  нельзя объяснить рождением  $\Pi^\pm$ -мезонов с малыми поперечными импульсами, получаемых в результате распадов только  $\rho^0$ - и  $\omega$ -резонансов.

Пятая глава диссертации посвящена изучению двухчастичных корреляций заряженных частиц и гамма-квантов.

Для анализа двухчастичных корреляций по продольной быстрой  $Y^*$  были использованы стандартные корреляционные функции:

$$C(Y_1^*, Y_2^*) = \frac{1}{\sigma_{in}} \frac{d^2\sigma}{dy_1^* dy_2^*} - \frac{1}{\sigma_{in}^2} \frac{d\sigma}{dy_1^*} \frac{d\sigma}{dy_2^*} \quad (8)$$

$$R(Y_1^*, Y_2^*) = \sigma_{in} \frac{d^2\sigma}{dy_1^* dy_2^*} / \frac{d\sigma}{dy_1^*} \frac{d\sigma}{dy_2^*} - 1. \quad (9)$$

Инклюзивные распределения  $C(Y_1^*, Y_2^* = const)$  или  $R(Y_1^*, Y_2^* = const)$  (рис.9) показывают, что имеются положительные короткодействующие корреляции - максимум корреляционной функции смещается по линии  $Y_1^* \approx Y_2^*$ . Наблюдается сильное различие между экспериментальными данными и расчетами по фазовому объему, которое служит указанием на то, что положительные значения  $C(0,0)$  и  $R(0,0)$  (табл. II) в инклюзивных процессах не связаны с законами сохранения энергии - импульса.



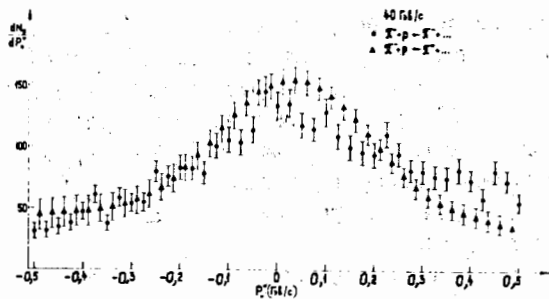


Рис. 7. Инклюзивные спектры  $\rho^+$  и  $\rho^-$ -мезонов. Спектр  $\rho^+$ -мезонов восстановлен методом статистической регуляризации.

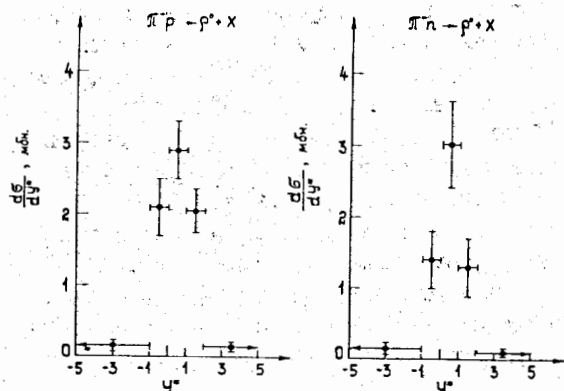


Рис. 8. Инклюзивные спектры  $\rho^+$ -мезонов по продольной быстрой в  $\pi^-N$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с.

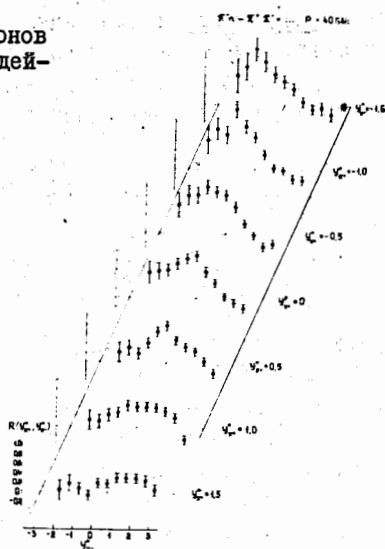


Рис. 9. Корреляционная функция  $R(\rho^+, \rho^-)$  в  $\pi^-p$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с.

Для  $(\pi^+ \pi^-)$ -пар значения корреляционной функции выше, чем для  $(\pi^\pm \pi^\pm)$ - пар. Этот факт имеет естественное, качественное объяснение в свете полученных данных об образовании  $\rho^0$  и  $\omega$ -мезонов. Значения  $R(0,0)$  в  $\pi^-p$ -взаимодействиях, в основном, больше, чем в  $\pi^-p$ -соударениях. Двухчастичные  $(\gamma\gamma)$ -корреляции в пион-углеродных взаимодействиях слабее по сравнению с пион-нуклонными взаимодействиями  $-R^{\pi^+p}(0,0) = 0,34 \pm 0,09$  и  $R^{\pi^-p}(0,0) = 0,68 \pm 0,18$ .

Сравнение данных для  $\pi^-p$ -взаимодействий при 40 ГэВ/с с соответствующими данными для  $p-p$ -взаимодействий при 205 ГэВ/с и с результатами, полученными на встречных протонных пучках ( $\sqrt{s} = 23 - 63$  ГэВ), показывает: а) в пределах ошибок значения  $R(0,0)$  при 40 и 205 ГэВ/с совпадают; б) значения для  $(chck)$ - и  $(\gamma ch)$ -систем при  $\sqrt{s} = 23 - 63$  ГэВ выше, чем в  $\pi^-p$ -соударениях.

Корреляционная функция  $C(y_1^*, y_2^*)$  инклюзивных процессов связана с функциями  $C^{(n)}(y_1^*, y_2^*)$  для полуинклюзивных процессов таким образом, что большие положительные корреляции в инклюзивных реакциях могут быть обусловлены только различием в одночастичных инклюзивных и полуинклюзивных спектрах, даже если все  $C^{(n)}(y_1^*, y_2^*) = 0$ . Действительно, экспериментальные данные, и в частности, при 40 ГэВ/с, показывают, что практически для всех комбинаций вторичных частиц  $R(0,0) \gg R^{(n)}(0,0)$ . Положительные значения  $R(0,0)$  имеют место для  $(\pi^+ \pi^-)$ - и  $(\gamma\gamma)$ - систем, и то только в полуинклюзивных каналах  $Cn \leq 4 - 5$ . С ростом энергий сталкивающихся частиц наблюдается увеличение значения  $R(0,0)$  для  $(\pi^+ \pi^-)$  комбинаций в событиях с  $Nch = 4$ .

Мультипериферическая модель удовлетворительно описывает экспериментальные данные по двухчастичным корреляциям в  $\pi^-p$ -взаимодействиях. Расчеты по фазовому объему начинают согласовываться с экспериментом в полуинклюзивных каналах с большой множественностью.

Изучение азимутальных корреляций проводилось путем анализа распределений  $\frac{1}{\sigma} \frac{d^2\sigma}{d\phi} ($  или без нормировки  $\frac{\Delta N}{\Delta\phi} )$  пар частиц 1 и 2 по азимутальному углу  $\phi$  между ними:

$$\cos \phi = \frac{\vec{P}_{11} \cdot \vec{P}_{12}}{|\vec{P}_{11}| |\vec{P}_{12}|}, \quad (I)$$

а также значения коэффициента асимметрии  $B$ :

$$B = \frac{N(\phi \geq \frac{\pi}{2}) - N(\phi < \frac{\pi}{2})}{N(\phi \geq \frac{\pi}{2}) + N(\phi < \frac{\pi}{2})}, \quad (II)$$

где  $N(\phi \geq \frac{\pi}{2})$  - число пар частиц, имеющих угол  $\phi \geq \frac{\pi}{2}$ .

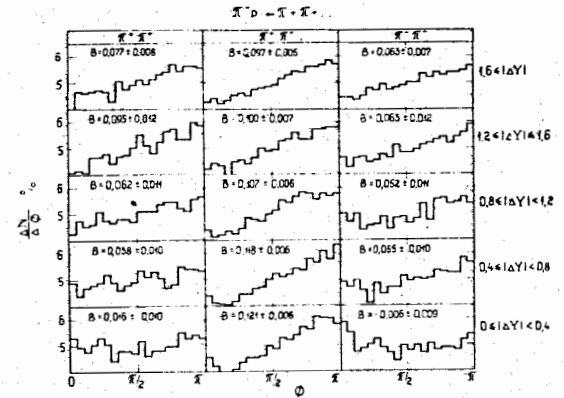
Корреляции исследовались для инклюзивных и полуинклюзивных реакций, для центральной и фрагментационных областей, в зависимости

Таблица II

Значения корреляционных функций  $C(\theta, \theta)$ ,  $R(\theta, \theta)$  и коэффициентов асимметрии  $B$  для инклюзивных  $\pi^+ \pi^-$  - взаимодействий при 40 ГэВ/с

Тип комбинации	$\pi^+ \rho^-$		$\pi^- \pi^+$	
	$C(\theta, \theta)$	$R(\theta, \theta)$	$C(\theta, \theta)$	$R(\theta, \theta)$
	$B$			
$\pi^+ \pi^+$	$0,08 \pm 0,04$	$0,14 \pm 0,04$	$0,061 \pm 0,004$	$0,07 \pm 0,07$
$\pi^+ \pi^-$	$0,34 \pm 0,04$	$0,64 \pm 0,05$	$0,107 \pm 0,003$	$0,93 \pm 0,11$
$\pi^+ \pi^+$	$0,12 \pm 0,04$	$0,26 \pm 0,04$	$0,052 \pm 0,004$	$0,38 \pm 0,08$
$chch$	$1,00 \pm 0,04$	$0,45 \pm 0,05$	$0,085 \pm 0,003$	$0,62 \pm 0,06$
$\gamma \pi^+$	$0,20 \pm 0,12$	$0,16 \pm 0,09$	$0,052 \pm 0,004$	$0,36 \pm 0,15$
$\gamma \pi^-$	$0,40 \pm 0,08$	$0,38 \pm 0,10$	$0,085 \pm 0,004$	$0,57 \pm 0,16$
$\gamma ch$	$0,68 \pm 0,16$	$0,31 \pm 0,08$	$0,069 \pm 0,003$	$0,58 \pm 0,14$
$\gamma \gamma$	$0,60 \pm 0,32$	$0,60 \pm 0,14$	$-0,082 \pm 0,003$	$1,87 \pm 0,35$

Рис. 10. Распределения по азимутальному углу  $\phi$  и значения коэффициентов асимметрии  $B(\pi_1, \pi_2)$ -пар при разных ограничениях на разницу быстрот  $\Delta Y = |y_1 - y_2|$ .



от разности быстрот  $|\Delta Y| = |y_1 - y_2|$ , значений поперечных импульсов частиц и эффективной массы системы частиц.

Отметим основные результаты, полученные при анализе как самих распределений (см. напр., рис.10), так и значений коэффициента  $B$  (табл. II):

1. В  $\pi^+ \rho^-$ - и  $\pi^- \pi^+$  - взаимодействиях  $B(\pi^+ \pi^-) < B(\pi^+ \pi^+) \sim B(\pi^+ \pi^-)$ . В системе  $(\pi^+ \pi^-)$  следует ожидать вклад в азимутальные корреляции от распадов резонансов, - результаты моделирования дают значения  $B(\pi^+ \rho^0, \pi^+ \rho^0) = 0,5$ ,  $B(\pi^+ \omega, \pi^+ \omega) = -0,07$  и  $B(\pi^+ \rho^0, \pi^+ \omega) = 0$ . Количественные оценки показали, однако, что распадами резонансов только частично можно объяснить наблюдаемое различие в азимутальных корреляциях одноименно и разноименно заряженных пионов.

2. Коэффициенты асимметрии между заряженными пионами и гамма-квантами связаны соотношениями  $B(\gamma \pi^-) > B(\gamma ch) > B(\gamma \pi^+) > B(\gamma \gamma)$ . Наиболее предпочтительное объяснение состоит в том, что эти соотношения отражают распады  $\rho^\pm$  - мезонов, притом  $\sigma(\rho^-) > \sigma(\rho^+)$ .

3. В азимутальных корреляциях для  $(\gamma \gamma)$  -пар впервые отмечен эффект увеличения вероятности наблюдения пар при  $\phi \rightarrow 0$ , который также имеет место для систем тождественных пионов  $(\pi^+ \pi^+)$  и  $(\pi^- \pi^-)$ . Эффект увеличивается при  $|\Delta Y| \rightarrow 0$  и интерпретируется как проявление интерференции тождественных частиц. Используя его, можно получить сведения о пространственно-временных характеристиках взаимодействия - размерах области и времени излучения частиц. Например, при отборе пары  $(\pi_1^+ \pi_2^-)$  с  $\phi(\pi_1^+, \pi_2^-) < 45^\circ$  и анализе их распределения по переменной  $q_T^2 = \vec{q}^2 - (\vec{q} \cdot \vec{n})^2$ , где  $\vec{q} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2$ ,  $\vec{n} = \frac{\vec{p}_1 + \vec{p}_2}{|\vec{p}_1 + \vec{p}_2|}$ , для  $\pi^+ \rho^-$  - взаимодействий, получены оценки радиуса  $R = (1,5 \pm 0,3) \times 10^{-13}$  см.

В заключении представлено краткое изложение основных результатов работы:

1. С участием автора на всех этапах обработки данных с ДТПК-500 получен экспериментальный материал, состоящий из  $\sim 35$  тыс. взаимодействий  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 40 ГэВ/с с протонами, нейтронами и ядрами углерода. В этих взаимодействиях зарегистрировано и обработано около 40 тыс. гамма-квантов. Создано современное программное обеспечение эксперимента. Программы статистического анализа информации широко используются в других экспериментах, выполняемых методикой пузырьковых камер и ядерной фотоэмульсии.

2. На основании полученных топологических сечений для  $\pi^- N$ -взаимодействий и данных по гамма-квантам определены основные характеристики распределений пионов по множественности (моменты и корреляционные параметры). На большой статистике гамма-квантов подтверждена положительная корреляция по множественности в образовании нейтральных и заряженных пионов, которая впервые наблюдалась в нашем эксперименте. Эти результаты послужили основанием для создания теоретических моделей с учетом корреляций по множественности.

3. Впервые показано, что образование резонансов является доминирующим процессом в сильных взаимодействиях при высоких энергиях. В частности, в  $\pi^- N$ -соударениях при 40 ГэВ/с получено, что более 50%  $\pi^-$ -мезонов представляют собой продукты распадов  $\rho^-$ ,  $f^-$  и  $\omega$ -мезонов. Впервые при высоких энергиях определены сечения образования  $\omega$ -мезонов на основании анализа инклюзивных спектров эффективных масс  $M(\pi^+\pi^-)$ . Доминирующая роль резонансов и равенство сечений рождения  $\rho^0$  и  $\omega$ -мезонов, полученное в нашем эксперименте, явилось сильным аргументом, подтверждающим справедливость аддитивной кварковой модели, которая в настоящее время широко применяется в физике высоких энергий.

4. Проведен комплексный анализ структурных функций пионов и гамма-квантов в инклюзивных и полуинклюзивных  $\pi^- N$ -взаимодействиях. В инклюзивных  $\pi^- p$ -соударениях, в пределах 7% ошибки, имеет место равенство сечений образования  $\pi^+$ ,  $\pi^-$  и  $\pi^0$ -мезонов при  $Y^* = 0$ . Получены указания на независимость рождения пионов разных знаков в центральной области от типа частицы мишени. Установлены динамические корреляции между продольными и поперечными составляющими структурных функций частиц. Первое, проведенное при высоких энергиях, сравнение нормированных структурных функций гамма-квантов показало, что абсолютная величина сечений при  $Y^* = 0$  для  $\pi^- p$ -соударений при 40 ГэВ/с совпадает в пределах ошибок с соответствующими сечениями для  $pp$ -взаимодействий при  $E_p = 500-1500$  ГэВ.

5. Впервые при высоких энергиях методом статистической регуляризации восстановлены продольные и поперечные импульсные спектры  $\pi^0$ -мезонов в  $\pi^- p$ -взаимодействиях. Проанализированы методы по-

лучения информации о характеристиках  $\pi^0$ -мезонов (спектры, структурные функции, эффективные массы) на основании данных по гамма-квантам. Даны рекомендации относительно применения того или другого метода. Предложен алгоритм для получения ядра интегрального уравнения, к решению которого сводятся задачи такого типа.

6. В инклюзивных двухчастичных корреляциях вторичных частиц по продольной быстройrate установлены положительные короткодействующие корреляции. В основном положительные значения корреляционных функций  $C(0,0)$  и  $R(0,0)$  в инклюзивных реакциях объясняются разницей в одночастичных инклюзивных и полуинклюзивных спектрах, так как практически для всех комбинаций вторичных частиц  $R(0,0) \gg R^{(n)}(0,0)$ .

7. В двухчастичных корреляциях по азимутальному углу исследовано проявление двух эффектов. Первый из них является отражением кинематики распадов резонансов ( $\rho$ -мезонов) и проявляется в увеличении вероятности наблюдения пар частиц  $(\pi^+\pi^-)$ ,  $(\pi^+\gamma)$  при  $\phi \rightarrow \frac{\pi}{2}$ . Второй связан с эффектом интерференции тождественных частиц для пар  $(\pi^+\pi^+)$ ,  $(\pi^-\pi^-)$ ,  $(\gamma\gamma)$ . Для системы  $(\gamma\gamma)$  эффект увеличения вероятности наблюдения пары при  $\phi \rightarrow 0$  и  $|\Delta\phi| \rightarrow 0$  наблюдается впервые.

8. Проведено полное, систематическое сравнение экспериментальных данных для  $\pi^- p$ -соударений при 40 ГэВ/с с расчетами по фазовому объему и мультипериферической модели с образованием кластеров. В результате уточнены некоторые параметры модели.

9. Проведенное комплексное исследование множественного рождения пионов в  $\pi^- p$ ,  $\pi^- n$  и  $\pi^-^{12}C$ -взаимодействиях на большой статистике показало, что их образование происходит в две стадии: сначала образуется в основном резонансы, которые затем распадаются на долгоживущие частицы. Первая стадия неплохо описывается аддитивной кварковой моделью, вторая - мультипериферической моделью.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, В.А.Беляков и др. ОИЯИ, РИ-6277, Дубна, 1972; Phys.Lett., 39B, 571, 1972.
2. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, В.А.Беляков и др. ОИЯИ, РИ-6326, Дубна, 1972.
3. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, В.А.Беляков и др. ЯФ, т. 16, 989, 1972.
4. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, К.П.Вишневецкая и др. ЯФ, т. 17, 1235, 1973; Nucl.Phys., B63, 114, 1973.
5. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, В.А.Беляков и др. ОИЯИ, I-6967, Дубна, 1973.
6. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, К.П.Вишневецкая и др. ЯФ, т. 18, 545, 1973; Nucl.Phys., B72, 189, 1974.

7. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, К.П.Вишневская и др. ЯФ, т. 19, 1039, 1974; Phys.Lett., 48B, 277, 1974.
8. Н.С.Ангелов, В.Г.Гришин, Г.И.Копылов. ОИЯИ, Р1-7546, Дубна, 1973.
9. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, К.П.Вишневская и др. ЯФ, т. 20, 384, 1974; Nucl. Phys. B83, 365, 1974.
10. Н.Ангелов, В.Г.Гришин, П.Керачев. ЯФ, т. 21, 166, 1975.
11. Н.Ангелов, К.П.Вишневская, В.Г.Гришин и др. ЯФ, т. 21, 328, 1974.
12. Н.Ангелов, В.Г.Гришин, П.Керачев. ЯФ, т. 21, 1298, 1975.
13. Н.Ангелов, К.П.Вишневская, В.Г.Гришин и др. ЯФ, т. 22, 122, 1975.
14. Н.С.Ангелов, П.П.Керачев, Х.И.Семерджиев, Э.Т.Цивцивадзе. ОИЯИ, Р1-8845, Дубна, 1975.
15. Н.Ангелов, К.П.Вишневская, В.Г.Гришин и др. ЯФ, т. 24, 83, 1976.
16. Н.Ангелов, К.П.Вишневская, В.Г.Гришин и др. ЯФ, т. 25, 117, 1977.
17. Н.Ангелов, К.П.Вишневская, В.Г.Гришин и др. ЯФ, т. 25, 111, 1977.
18. Н.Ангелов, К.П.Вишневская, В.Г.Гришин и др. ЯФ, т. 25, 343, 1977.
19. Н.С.Ангелов, С.Бацкович, В.Г.Гришин, Ю.Надь. ЯФ, т. 25, 591, 1977.
20. Н.Ангелов, К.П.Вишневская, В.Г.Гришин и др. ОИЯИ, Р1-9810, Дубна, 1976.
21. Н.Ангелов, К.П.Вишневская, В.Г.Гришин и др. ЯФ, т. 25, 1201, 1977.
22. Н.Ангелов, С.Бацкович, В.Г.Гришин и др. ОИЯИ, Р1-10136, Дубна, 1976.
23. Н.Ангелов, С.Бацкович, Л.Грекова и др. ОИЯИ, Р1-10137, Дубна, 1976.
24. Н.Ангелов, Т.Я.Иногамова, Б.С.Юлдашев. ОИЯИ, Р1-10163, Дубна, 1976.
25. Н.Ангелов, С.Бацкович, В.Г.Гришин и др. ЯФ, т. 26, 554, 1977.
26. Н.Ангелов, С.Бацкович, В.Г.Гришин и др. ЯФ, т. 26, 1029, 1977.
27. Н.С.Ангелов, Л.Д.Грекова, Ю.И.Йорданова, В.Н.Пенев. ОИЯИ, Р1-10616, Дубна, 1977.
28. Н.Ангелов, В.Г.Гришин, Э.Т.Цивцивадзе. ЯФ, т. 27, 158, 1978.
29. Н.Ангелов, С.Бацкович, В.Г.Гришин и др. ОИЯИ, Р1-10768, Дубна, 1977.
30. Н.О.Ахабабян, Л.Д.Грекова, ... Н.Ангелов и др. Доклады Болгарской академии наук, т. 30, 355, 1977.
31. Н.Ангелов, С.Бацкович, Л.Грекова и др. ЯФ, т. 26, 131, 1977.
32. Н.С.Ангелов, Е.Кондор. ОИЯИ, 10-80-41, Дубна, 1980.
33. Н.С.Ангелов, В.Г.Гришин, Р.А.Кватадзе. ОИЯИ, Р1-80-377, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 марта 1981 года.