

B - 156

1-80-649

ВАЛКАР

Штефан

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
ЗАРЯЖЕННЫХ И НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ  
В  $\pi^{-12}$ C ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ПРИ 5 ГэВ/с

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований

## Научные руководители:

доктор физико-математических наук

БУДАГОВ

Олиан Арамович

кандидат физико-математических наук

ЛОМАКИН

Юрий Филиппович

## Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

СОЛОВЬЕВ

профессор

Михаил Иосифович

кандидат физико-математических наук

БОРОБЬЕВ

Леонид Сергеевич

## Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Московский инженерно-физический институт

Защита диссертации состоится " " 1980 г. в " " часов на заседании специализированного совета Д047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " 1980 года.

Ученый секретарь специализированного совета:

доктор физико-математических наук

Ю.А.БАТУСОВ

Актуальность проблемы. Изучение процессов множественного образования частиц в адрон-ядерных взаимодействиях при высоких энергиях приобретает в последние годы все возрастающее значение. В рамках этих исследований возникло новое направление - релятивистская ядерная физика, которая объединяет ядерную физику средних и низких энергий с физикой элементарных частиц. На стыке разных разделов науки, как правило, открываются возможности для получения новых сведений, в данном случае, о структуре ядер и о свойствах элементарных частиц, которые невозможно получить в рамках традиционных направлений.

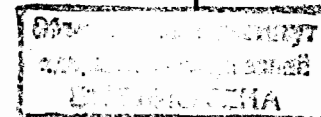
Исключительный интерес представляет получение новых экспериментальных данных о механизме образования кумулятивных частиц, и, в особенности, кумулятивных нуклонов, т.е. нуклонов, рождающихся (в адрон-ядерных взаимодействиях) за пределами кинематической области для взаимодействия со свободным покоящимся нуклоном ядра. Дело в том, что с изучением кумулятивного эффекта, который можно рассматривать как многокварковые взаимодействия, связаны надежды на выяснение природы сил, удерживающих кварки в адронах.

Для описания процессов образования кумулятивных частиц развиты многочисленные теоретические построения и модели, такие, как фейер-большая, каскадно-испарительная, каскадно-экситонная, модели многокварковых систем (напр., дибарьонов), кварк-пертонные модификации флуктонных представлений, представления о многокварковых (перных) корреляциях в ядре и т.д.

Поэтому на данном этапе наиболее актуальными являются исследования интерференционных эффектов для тождественных вторичных частиц ( $\pi$ -мезонов, нуклонов) и корреляций, связанных с образованием многокварковых резонансных систем, которые могут дать модельно независимую информацию о пространственно-временной картине взаимодействия.

Экспериментальные данные, вошедшие в основу диссертации, получены автором в 1971-1979 гг. совместно с коллективом сотрудников, работающих на 200-литровой пропан-фреоновой пузырьковой камере под общим руководством члена-корреспондента АН СССР профессора В.П.Джелепова.

Цели и задачи исследования. Целью исследований, составляющих основу диссертационной работы, является изучение инклюзивных характеристик и некоторых корреляционных свойств в образовании вторичных частиц в пион-углеродных взаимодействиях, сравнение полученных результатов с предсказаниями кварк-пертонной, каскадно-испарительной и других моделей.



В задачи исследований входило измерение сечения генерации и множественности протонов, вылетающих из ядра углерода в заднюю полу-сферу; изучение поведения структурной функции для кумулятивных протонов; исследование корреляций для заряженных вторичных частиц, характерных для флуктонного механизма; измерение пространственно-временных характеристик процесса множественной генерации  $\pi$ -мезонов и протонов (изучение интерференционных эффектов для близких пар тождественных частиц); сопоставление экспериментальных данных для инклюзивного рождения протонов и заряженных  $\pi$ -мезонов с предсказаниями каскадно-испарительной, фейербольной и других моделей.

Научная новизна и значимость работы. Экспериментальные данные, представленные в диссертации, характеризуются высокой статистической обеспеченностью и основаны на результатах анализа 15000 " $\pi^-I_2^0$ "-взаимодействий при 5 ГэВ/с.

Впервые была измерена анизотропия структурной функции кумулятивных протонов и успешно применен метод максимального правдоподобия для оценки ее параметров и вероятности описания экспериментальных данных разными модельными параметризациями.

Подтверждена справедливость гипотезы ядерного скейлинга для гладкой части инвариантного сечения в широком интервале углов вылета протонов.

Проведена первая экспериментальная оценка среднего значения ширины энергетических уровней резонансных состояний нуклонных систем, обуславливающих испускание протонов назад.

Исследованы корреляции по углу разлета заряженных частиц с вылетом одной из них в заднюю полусферу и впервые наблюдается характерная корреляция с преимущественным разлетом частиц в противоположные стороны для адрон-ядерных взаимодействий.

Оценены пространственно-временные размеры областей, ответственных за излучение "близких" пионных и протонных пар ( $R_{\pi\pi} > 1 \phi$ ,  $R_{pp} > 1 \phi$ ).

Проведено детальное сопоставление экспериментальных данных для одночастичных инклюзивных распределений и множественностей вторичных заряженных частиц с предсказаниями модели внутриядерных каскадов. Обсуждаются возможные причины систематического превышения множественностей вторичных частиц, предсказанных моделью, над экспериментальными данными.

Практическая ценность работы. Разработанные методы, имеющие целью определение оптических констант ПК-200, параметризацию магнит-

ного поля электромагнита ИК-3-4, а также созданные системы программ, могут быть использованы и в других экспериментах, проводимых с помощью камерной методики.

В результате проведенных в диссертации исследований показана возможность использования корреляций вторичных частиц (в том числе и тождественных, включая протоны) для изучения пространственно-временных характеристик процесса множественного образования частиц в адрон-ядерных взаимодействиях. Вся совокупность полученных сведений позволяет оценить необходимую статистическую точность и требуемое экспериментальное разрешение для последующих экспериментов по изучению глубоконеупругих адрон-ядерных взаимодействий и может быть использована при планировании новых экспериментов по изучению адронных взаимодействий.

Апробация работы и публикации. Основные результаты диссертационной работы представлялись на Международных конференциях по физике высоких энергий в Тбилиси (1976 г.), в Таворе (ЧССР, 1978 г.), опубликованы в журнале "Ядерная физика" и в виде препринтов и сообщений ОИЯИ.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 127 страниц машинописного текста, 45 рисунков, 16 таблиц. Список литературы насчитывает 134 наименования.

#### СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, отмечена плодотворность инклюзивного подхода к анализу процессов множественного образования частиц на ядрах; раскрывается его связь с методами, разработанными в статистической физике, и возможные аналогии с методами квантовой теории поля. Описаны основные положения известных теоретических моделей и гипотез - о масштабно-инвариантном поведении спектров кумулятивных мезонов (сформулировано в 1971 г. А.М.Балдиным) - и ядерном скейлинге для кумулятивных барионов (высказано Г.А.Лексиним в 1973 г).

Приведены результаты, полученные в рамках ряда наиболее разработанных моделей для неупругих ядерных взаимодействий в релятивистской области энергий, дальнейшая экспериментальная проверка которых представляет (наряду с уточнением современных теоретических представлений) основную цель исследования.

В первой главе диссертации описана экспериментальная установка - двухсотлитровая пузырьковая камера (ПК-200) ЛЯП ОИЯИ с пропановым и пропан-фреоновым наполнением, помещенная в электромагните ИК-3-4 с напряженностью магнитного поля  $H_z = 1,7$  Т. Приведены основные

характеристики использованных рабочих жидкостей; пропана  $\Pi = C_3H_8$ ) и пропан-фреоновой ( $\Pi+Ф$ ) смеси, содержащей 30% по весу фреона-13В1 ( $C_2F_3Br$ ); даны средние эффективности регистрации нейтральных частиц:  $\langle \epsilon_{\pi^0}^{(n)} \rangle = 20\%$ ,  $\langle \epsilon_{\pi^0}^{(n+\pi^0)} \rangle = 36\%$ ;  $\langle \epsilon_{\Lambda^0} \rangle = 98\%$ ,  $\langle \epsilon_{K^0} \rangle = 93\%$ .

Установка размещалась на пучке вторичных  $\pi^-$ -мезонов синхротрона ДВЭ ОИЯИ со средним значением импульса ( $5^{+0,2}$ ) ГэВ/с.

Подробно описаны оптическая система камеры и разработанный методика определения оптических констант ПК-200 с пропан-фреоновым наполнением.

Описан созданный автором комплекс программ, обеспечивающих накопление и обработку результатов измерения пространственных координат реперных камерных перекрестий (РКП), расположенных в разных горизонтальных плоскостях внутри ПК-200. При этом использовались изображения РКП на каждом из шести снимков, получаемых стереофотоаппаратом с шестью объективами "Гидроруссар-4" на две параллельные перфорированные аэрофотопленки шириной 80 мм.

В процессе обработки измерений программой *MT-TEST*:

- координаты изображений РКП преобразовались из системы координат измерительного прибора в систему координат, заданную эталонными реперными метками,

- для каждого изображения РКП определялся и запоминался вместе с координатами порядковый номер соответствующего камерного креста, - определялось число хорошо измеренных крестов на каждом снимке.

Преобразованные и пронумерованные координаты изображений РКП записывались на магнитную ленту и использовались как входные данные для созданных программ статистической обработки *MEAN, RECLXYZ* и для определения набора оптических констант, необходимых для работы программы геометрической реконструкции событий.

Приведены выражения для функционала, при минимизации которого определялись оптические константы, и вид корректирующих преобразований для каждого из шести объективов, позволяющих достигнуть высокой точности восстановления пространственных координат:

$$\sigma_{xy} \leq 250 \text{ мкм}; \quad \sigma_z \leq 900 \text{ мкм}; \quad \text{в объеме } 50 \times 105 \times 40 \text{ см}^3.$$

Быстрое и экономное вычисление компонент магнитного поля в рабочем объеме камеры  $\vec{H}(X, Y, Z)$  достигается путем его аппроксимации полем двух параллельных прямоугольных токовых витков с размерами  $(A \times B)_i$ , расположенных в двух горизонтальных плоскостях. Выражение для величины вертикальной компоненты магнитного поля имеет простой вид:

$$H_z(X, Y, Z) = \sum_{i=1}^2 \sum_{\text{sign } X, Y} \frac{X_A \cdot Y_B}{[X_A^2 + Y_B^2 + Z_i^2]^{3/2}} \cdot \left[ \frac{1}{X_A^2 + Z_i^2} + \frac{1}{Y_B^2 + Z_i^2} \right],$$

где  $Z_i = Z_{0i} - Z$ ,  $X_A = A_i + X \cdot \text{sign } X$ ,  $Y_B = B_i + Y \cdot \text{sign } Y$ .

Следовательно, вычисление значений всех трех компонент магнитного поля в каждой пространственной точке трека, реализованное автором в рамках программы геометрической реконструкции *GEODST* для ПК-200, осуществляется достаточно быстро.

Анализ кинематических параметров медленных частиц ( $e, \pi, p$ ), обчисленных по программе *GEODST*, показал, что задание горизонтальных компонент магнитного поля  $|H_y| < |H_x| \sim 1$  кГс является превышением необходимой точности.

Определены эффективности регистрации для заряженных и нейтральных частиц с ограниченной вероятностью их наблюдения в камере; внесены геометрические поправки ( $W_{\varphi}$ ) в угловые распределения; поправки, учитывающие потери вторичных протонов в неупругих ядерных взаимодействиях ( $W_p$ ); введены "веса" для нейтральных частиц, регистрируемых по наблюдению их распадов или вторичных взаимодействий в выбранном эффективном объеме камеры.

Для вычисления эффективностей регистрации  $\lambda$ -квантов приведены сечения образования  $e^+e^-$  - пар конверсии и комптон-эффекта на атомах рабочей смеси.

Наконец, описана методика обработки filmовой информации, использованной для исследования неупругих ядерных взаимодействий, включающая:

- методику просмотра и отбора событий,
- вычисление ряда необходимых кинематических параметров треков и их экспериментальных неопределенностей,
- программы, необходимые для получения инклюзивных магнитных лент суммарных результатов (ДСР).

Для получения физических результатов, приведенных в главах II, III, IV диссертации, было использовано:

- 3300 событий, содержащих среди вторичных частиц протоны, вылетающие в заднюю полусферу (ДСР1),
- 15000 событий неупругих  $\pi^-C$  взаимодействий, накопленных на ДСРП.

Вторая глава посвящена исследованию неупругих взаимодействий  $\pi^-$ -мезонов с ядрами ( $^{12}C$ ) при 5 ГэВ/с с испусканием протонов в заднюю полусферу. Измерены:

- полное сечение этих процессов  $\sigma_{PI} = (25.5 \pm 1.7)$  мбн;
- множественности  $\langle m_{PI} \rangle = (0,33 \pm 0,01)$  протонов, вылетающих с импульсом  $P_{PI} > 200$  МэВ/с в заднюю полусферу в л.с.

Восстановлена структурная функция для протонов в интервалах импульсов  $P_p = 0,15 \pm 1,0$  ГэВ/с; полученные данные сопоставлены с предска-



заниями некоторых моделей барионного кумулятивного эффекта, претендующих на объяснение ядерного скейлинга.

Угловые и импульсные инклюзивные спектры "протонов назад" и характеристики этих спектров приведены на рис. 1 и в таблицах 1, 2, 3.

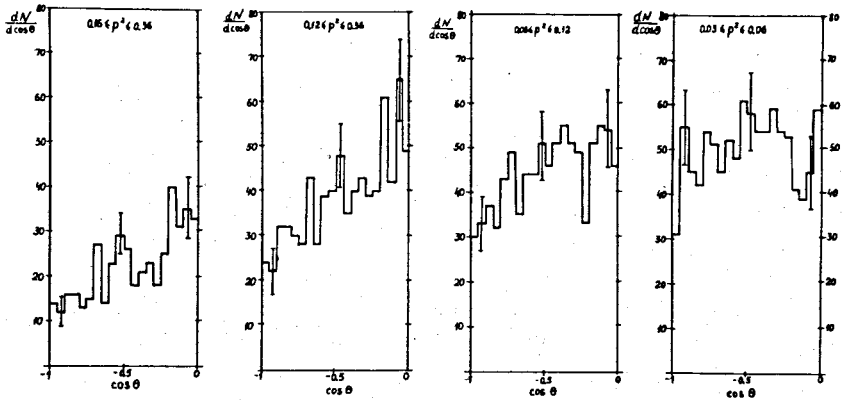


Рис. 1. Угловые распределения протонов, испущенных из ядра углерода в заднюю полусферу, для четырех интервалов импульсов.

В угловых распределениях (на рис. 1 они представлены для четырех интервалов импульсов "протонов назад") наблюдается возрастание угловой асимметрии вылета протонов с увеличением их импульсов.

В табл. 1 даны наклоны  $A_1$  угловых распределений, параметризованных выражением

$$dN/d\cos\theta = A_0 \cdot \exp(-A_1 \cdot \cos\theta). \quad (1)$$

В табл. 2 приведены наклоны  $B$  структурной функции, параметризованной в каждом интервале импульсов  $P$  и полярных углов вылета протонов  $\theta$  выражением

$$\ln f = \ln \frac{E}{P} \cdot \frac{d^2\sigma}{dP^2 d\cos\theta} \sim -B \cdot P^2 + C. \quad (2)$$

Установлено, что величины наклонов растут с увеличением  $\theta$  и заметно превышают значение  $\langle B \rangle = 10 \pm 0.5$ , полученное усреднением мировых данных из экспериментов, выполненных, в основном, электронной методикой.

Отклонения инвариантного сечения для "протонов назад" от простого экспоненциального вида (2) исследовались с помощью параметризации, полученной обобщением предсказаний фейрбольной модели кумулятивного эффекта на весь спектр протонов (включая испарительную часть).

Таблица 1.

Наклоны угловых распределений

$P^2(\text{ГэВ}/c)^2$	0.03-0.06	0.06-0.12	0.12-0.36	0.16-0.36
0-1	$+0.13 \pm 0.16$	$0.43 \pm 0.11$	$0.80 \pm 0.12$	$0.98 \pm 0.16$
0.3-1	$+0.50 \pm 0.25$	$0.80 \pm 0.20$	$0.82 \pm 0.20$	$1.0 \pm 0.3$

Таблица 2.

Наклоны структурной функции.

$P^2(\text{ГэВ}/c)^2$	0-0.25	0.25-0.5	0.5-0.75	0.75-1
0.12-0.36	$11.5 \pm 1.2$	$14.4 \pm 1.4$	$12.8 \pm 1.2$	$16.4 \pm 1.1$
0.10-0.36	$11.3 \pm 1.0$	$14.3 \pm 1.1$	$13.2 \pm 1.1$	$16.1 \pm 1.4$
0.08-0.36	$11.3 \pm 0.8$	$14.4 \pm 1.0$	$14.0 \pm 1.0$	$15.4 \pm 1.1$
0.06-0.36	$12.9 \pm 0.8$	$15.5 \pm 0.9$	$15.1 \pm 0.9$	$16.5 \pm 1.0$
0.03-0.08	$25.5 \pm 2.5$	$27.0 \pm 2.3$	$31.0 \pm 2.4$	$32.5 \pm 2.7$

Таблица 3.

Две параметризации структурной функции.

$P^2(\text{ГэВ}/c)^2$	$\ln F$	$L$	$A_1$	$A_2$
0.08-0.36	$-A_1 P^2$	0	$14.3 \pm 0.5$	
	$-(A_1 A_2 \cos\theta) P^2$	2.2	$13.20 \pm 0.75$	$3.9 \pm 0.8$
0.03-0.09	$-A_1 P^2$	0	$29.0 \pm 1.6$	
	$-(A_1 A_2 \cos\theta) P^2$	7	$27.7 \pm 2.0$	$5 \pm 2$

Для определения параметров структурной функции протонов и вероятности описания экспериментальных данных разными модельными параметризациями успешно применен метод максимального правдоподобия, позволяющий использовать всю имеющуюся экспериментальную информацию. Для этой методики характерно отсутствие существенной потери информации, присущей стандартному  $\chi^2$ -методу.

В результате сопоставления параметров измеренной нами структурной функции с результатами других работ:

1. а) Впервые достоверно показано, что в параметризацию структурной функции необходимо ввести угловую зависимость; это обеспечивает описание экспериментальных данных одновременно во всем интервале углов вылета протонов (см. табл. 3).

б) Установлено, что лучшими из известных параметризаций угловой зависимости выхода кумулятивных протонов с  $P_{P_1} < 1$  ГэВ/с являются параметризации, полученные на основе фейрбольной модели барионного кумулятивного эффекта (3). Значения параметров  $\eta$ ,  $\eta_1$ , описывающих анизотропию кумулятивного и испарительного спектров протонов, близки друг к другу и хорошо согласуются с величинами, полученными в

результате подгонки спектров, рассчитанных на основе каскадно-испарительной модели (КИМ). Соответствующие значения скоростей барионного фейербола  $v = \frac{1}{2} / \rho$  близки к известным мировым данным  $v_c \approx 0,2$ .

в) Найдено, что вероятность описания спектров "протонов назад" гладкой зависимостью для наших экспериментальных данных меньше 1%.

Характер отклонений наших экспериментальных данных для инклюзивных спектров протонов от гладкой параметризации, полученной в рамках фейербольной модели Горенштейна-Зиновьева, в достаточно узких интервалах углов вылета протонов ( $|\Delta\cos\theta| \leq 0,2$ ) иллюстрирует рис. 2.

Весьма существенно отметить наблюдение отклонений, которые напоминают осциллирующее поведение сечений по импульсам и углам в адрон-ядерных соударениях при низких энергиях, так называемые "Эриксоновские флуктуации".

2. Среднее значение ширины энергетических уровней резонансных состояний нуклонных систем  $\langle \Gamma_3 \rangle$ , обуславливающих испускание "протонов назад" (см. рис. 2)

$$\langle \Gamma_3 \rangle \approx 0,5 K_N \leq 10 \text{ МэВ}, \quad (3)$$

где  $K_N$  - число максимумов на единичный интервал энергий испущенных протонов.

Наша оценка гораздо ближе к ожидаемым значениям ширины высоколежащих возбуждений ядерной материи со скрытым цветом, предсказанным В.А.Матвеевым ( $\Gamma_{cc} \leq 10 \text{ МэВ}$ ), чем к ширинам, предсказанным Т.Уэде для большого числа дибарионных резонансов в системах  $\pi NN, \pi\pi NN, \dots$  ( $\Gamma_t > 100 \text{ МэВ}$ ).

3. Существование ядерного скейлинга для  $\pi^-C$  взаимодействий с вылетом "протонов назад" подтверждено в широком интервале углов вылета протонов только для гладкой части инвариантного сечения.

4. Основной причиной систематического расхождения экспериментальных данных для наклонов спектров кумулятивных протонов в экспериментах, выполненных камерной методикой, с соответствующими результатами электронных экспериментов является использование метода минимизации  $\chi^2$ -функционала. Этот метод - при невысокой статистике камерных данных - мелочувствителен к форме жесткой части спектра протонов.

В третьей главе рассмотрены (двухчастичные) корреляции вторичных заряженных частиц в  $\pi^-C$  взаимодействиях при 5 ГэВ/с, анализируются полученные пространственно-временные характеристики излучаемой области.

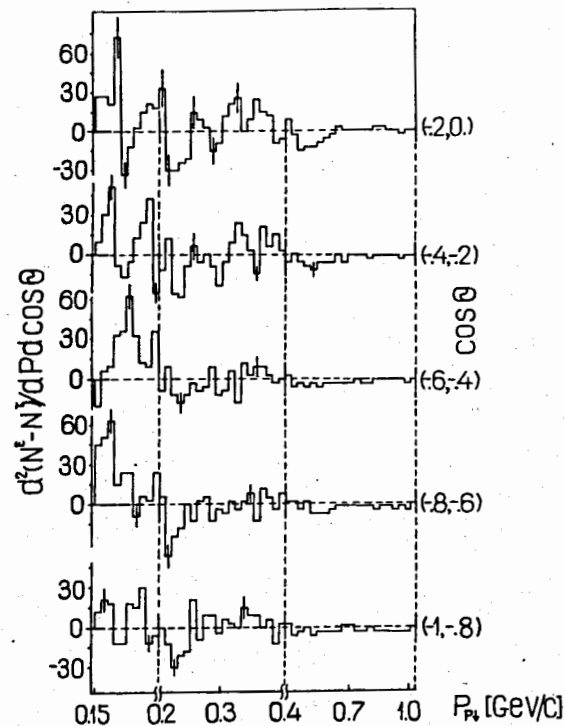


Рис. 2. "флуктуирующая часть" выходы протонов в разных интервалах углов их вылета назад (в л.с.) из ядра углерода.

Показано, что для выяснения относительного вклада разных механизмов образования кумулятивных частиц и возможного наличия флуктуаций в ядре особенно информативно сопоставление и анализ корреляционных измерений в процессах образования кумулятивных частиц не ядрах и корреляций в адрон-адронных процессах с большими  $P_{\perp}$ .

Известно, что кварк-партоновая формулировка гипотезы ядерных флуктуаций (высказанной Д.И.Блохинцевым еще в 1957 г.), позволила объяснить ряд закономерностей кумулятивного рождения частиц не ядрах и предсказать наличие характерных корреляций по углу разлета двух частиц.

Результаты проведенного экспериментального исследования таких корреляций (по углу разлета заряженных частиц  $P, \pi^{\pm}$  с вылетом одной из частиц в заднюю полусферу) иллюстрируют рис. 3,4.

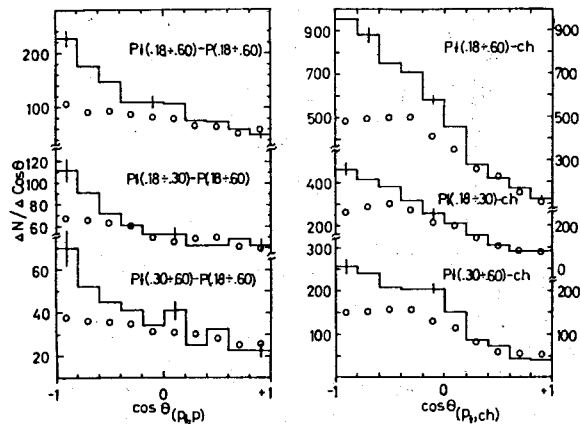


Рис. 3. Экспериментальные распределения по косинусу угла разлета  $\cos \theta_{(1,2)}$  для пар частиц "протон назад" - протон ( $P_{\uparrow}, P$ ) и "протон назад" - заряженная частица ( $P_{\uparrow}, ch$ ), в скобках указаны интервалы импульсов соответствующих частиц. Кружками обозначены "фоновые" распределения.

На рис. 4 приведено отношение экспериментального распределения по косинусу угла разлета частиц  $x = \cos \theta_{(1,2)}$  к "фоновому"  $C(x) = V_{\Delta}(x) / V_{\Phi}(x)$ , рассчитанному с помощью одночастичных инклюзивных распределений в предположении независимого испускания частиц. Наблюдается характерная корреляция с преимущественным разлетом

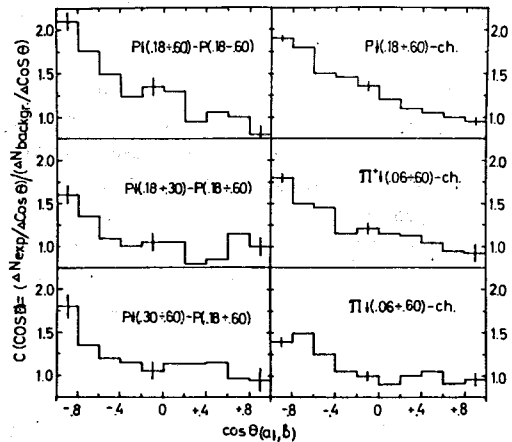


Рис. 4. Распределение по величине  $C(x) = V_{\Delta}(x) / V_{\Phi}(x)$ ,  $x = \cos \theta_{(1,2)}$  здесь:  $V_{\Delta}$  - экспериментальное распределение,  $V_{\Phi}$  - фоновое (расчетное) распределение по  $x$ .

частиц в противоположные стороны. Корреляционная функция имеет значение  $C(-1) \approx 2$ .

Аналогичные результаты получены для адронов, вылетающих с большими поперечными импульсами ( $2 < p_{\perp} < 5$ ) ГэВ/с в  $PP$ -взаимодействиях на встречных пучках ЦЕРНа.

Наблюдаемое подобие корреляций в рождении кумулятивных частиц с азимутальными корреляциями в процессах образования частиц с большими  $p_{\perp}$  может рассматриваться как свидетельство в пользу подобия механизмов (жесткого соударения кварков) этих двух процессов.

Изучение интерференционных эффектов и парных корреляций для протонов, образованных в неупругих  $\pi^-C$  взаимодействиях, проведено на статистике 15000 дважды измеренных событий.

С экспериментальным изучением структуры двухчастичной корреляционной функции  $R(\vec{p}_1, \vec{p}_2) = R(|\vec{p}_1 - \vec{p}_2|)$ , обусловленной эффектами тождественности, а также ядерным и кулоновским взаимодействием протонов, связаны надежды на модельно независимое определение размеров, времени жизни и скорости движения области взаимодействия.

Для вычисления корреляционной функции

$$f(\vec{p}_1, \vec{p}_2) = R(\vec{p}_1, \vec{p}_2) + 1 = E(\vec{p}_1, \vec{p}_2) / M_{\Phi}(\vec{p}_1, \vec{p}_2) \quad (4)$$

в качестве фоновых распределений  $M_{\Phi}$  (т.е. распределений без учета влияния кулоновских и ядерных сил и эффектов тождественности) использованы результаты расчета по каскадно-испарительной модели.

Результирующие значения корреляционных функций  $f$  в разных импульсных интервалах для "близких" протонных пар приведены на рис. 5а-г.

Ограниченная статистическая обеспеченность данных в области, где ожидается проявление эффектов тождественности протонов, не позволяет подробно исследовать параметры системы, излучающей "близкие" протонные пары. Тем не менее, сопоставляя имеющиеся данные для жесткой и испарительной частей спектра (см. рис. 5 в-г), можно заключить: излучение жестких пар протонов происходит из области с размером  $R \approx 2 \phi$ , которая существенно меньше области излучения испарительных протонных пар  $R_{исп} \approx 4 \phi$ .

Данные о пространственно-временных характеристиках процесса генерации заряженных  $\pi^-$ -мезонов, полученные в наших исследованиях, приведены в таблице 4, где они сопоставляются с аналогичными данными экспериментов при 3,7 и 40,0 ГэВ/с.

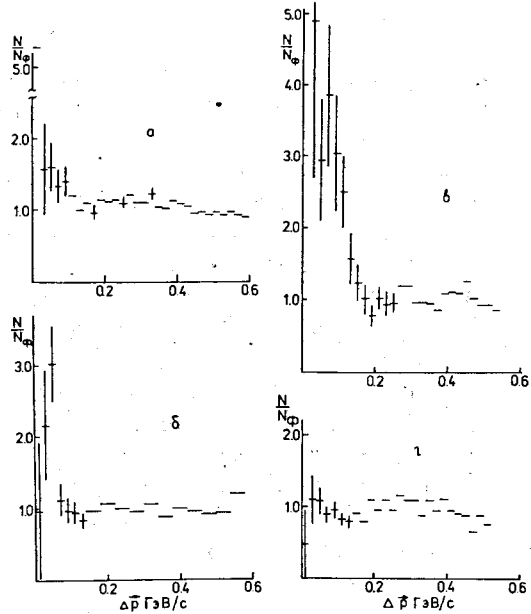


Рис. 5 а-г. Отношение экспериментального ( $N$ ) и фонового ( $N_{\phi}$ ) распределений по  $\Delta \vec{p} = |\vec{p}_1 - \vec{p}_2|$  для пар протонов с близкими значениями импульсов, лежащих в интервалах (в ГэВ/с): а)  $0,15 < p_{1,2} < 1,2$  б)  $0,209 < p_{1,2} < 0,364$  в)  $0,364 < p_{1,2} < 1,2$  г)  $0,15 < p_{1,2} < 0,32$

Таблица 4

Импульс $\pi^-$ -мезона, ГэВ/с	$R, \phi$	Область изменения по $q_0$ $q_0 =  E_1 - E_2 $	$\tau$ , сек	Область изменения по $q_1^2$ $q_1^2 = (\vec{p}_1 - \vec{p}_2)_1^2$
3,7	$2,6 \pm 1,2$	0	$0,1$	$(2,5 \pm 1,6) \cdot 10^{-24}$
40	$4,5 \pm 1,0$	0	$0,25$	$(1,7 \pm 0,7) \cdot 10^{-23}$
5	$2,9 \pm 0,8$	0	$0,15$	$(7,4 \pm 3,5) \cdot 10^{-24}$

Оценки размеров "файрболов", излучающих "близкие"  $\pi^-$ -мезонные и протонные пары, существенно больше одного ферми - в согласии с результатами исследований как адрон-ядерных, так и адрон-адронных взаимодействий. Для излучения характеристик излучающих систем с размером  $R_q \lesssim 1 \phi$  необходимы данные о процессах излучения частиц, вылетающих в противоположные стороны.

На рис. 6а,б приведены распределения по кинетической энергии относительного движения двух протонов  $Q_{pp} = M_{pp} \phi(2p) - 2m_p$ . Стрелка-

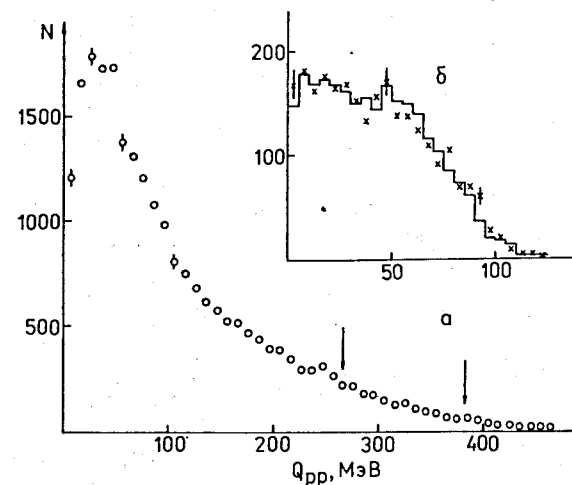


Рис. 6а,б. Распределения по кинетической энергии относительного движения двух протонов  $Q_{pp} = M_{pp} \phi - 2m_p$  в интервалах импульсов (в ГэВ/с): а)  $0,15 < p_p < 1,2$  б)  $0,209 < p_p < 0,364$ .

ми отмечены положения уровней кварковых резонансов дибарионных систем, предсказанных В.А.Матвеевым, Де-Свартом и др. в рамках модели большого кваркового мешка (*MIT-bag*). Как и в других экспериментах, наши данные не обнаруживают значимых особенностей.

В четвертой главе анализируются одночастичные инклюзивные распределения для заряженных пионов и гамма-квантов из  $\pi^- C$  взаимодействий при 5 ГэВ/с, а также их двухчастичные корреляции по быстрой; полученные результаты сопоставляются с данными других исследований в широком интервале энергий налетающих частиц ( $5 \pm 100$  ГэВ).

Исследовались нормированные инклюзивные распределения по быстрой в системе центра масс ( $\pi N$ )

$$f(y^*) = \frac{1}{\sigma_{in}} \cdot \frac{d\sigma}{dy^*} \quad (5)$$

для  $\gamma$ -квантов из реакции  $\pi^- C \rightarrow \gamma + \dots$  в сопоставлении с данными для реакции  $\pi^- p \rightarrow \gamma + \dots$  при 5,40,100 ГэВ/с. Как было нами показано,  $f^{\gamma}(y^*)$  в центральной области  $|y^*| < 0,3$  в пределах погрешностей измерений не зависит от сорта мишени и от энергии налетающей частицы. В области фрагментации налетающей частицы (для



$P_{\pi}^{\pi}$  (антилаб)  $> 2$  ГэВ/с) и в области фрагментации мишени ( $P_{\pi}^{\pi}$  (лаб)  $< 0,5$  ГэВ/с) экспериментальные данные для  $f^{\pi}(p_{\pi})$  заметно отклоняются от скейлингового поведения. Инклюзивные распределения заряженных пионов из реакции  $\pi^{-}C \rightarrow \pi^{-}(\pi^{+}) + \dots$  (в сравнении с аналогичными данными для  $\pi^{+}p, \pi^{+}d$  взаимодействий) также свидетельствуют о том, что предельное поведение при 5 ГэВ/с не достигается ни в области фрагментации мишени, ни в области фрагментации пучка.

Наблюдаемые отклонения от скейлингового поведения в диссертации анализировались при помощи каскадно-испарительной модели.

Таблица 5

Тип частицы	$\pi^{-}$ $p > 0,06$ ГэВ/с	$\pi^{+}, p$ $p \geq 1$ ГэВ/с	$p$ $0,2 < p < 0,6$ ГэВ/с	$ch$
$\langle n \rangle_{\text{экс.}}$	$1,50 \pm 0,02$ $1,57 \pm 0,02^{*}$	$0,51 \pm 0,01$	$0,97 \pm 0,01$ $1,06 \pm 0,01^{*}$	$4,18 \pm 0,05$ $4,49 \pm 0,05^{*}$
$\langle n \rangle_{\text{КИМ}}$	$1,69 \pm 0,04$ $1,77 \pm 0,02^{*}$	$0,57 \pm 0,02$ из них про- тонов $0,38 \pm 0,02$	$1,30 \pm 0,03$ $1,49 \pm 0,03^{*}$	$4,34 \pm 0,08$ $5,19 \pm 0,07^{*}$

В таблице 5 приведены множественности вторичных  $\pi$ -мезонов и протонов. Звездочкой отмечены значения множественностей без исключения треков с большим ( $\alpha > 60^{\circ}$ ) углом наклона к горизонтальной плоскости. Расчетные данные для множественностей вторичных заряженных частиц систематически превышают соответствующие экспериментальные значения.

Из сопоставления экспериментальных данных для инклюзивных спектров вторичных заряженных частиц ( $\pi^{\pm}, p$ ) с результатами расчетов, выполненных на основе КИМ, следует, что расчетные спектры находятся в согласии с экспериментальными данными в интервалах импульсов (в ГэВ/с):  $(0,4 < P_{\pi^{-}} < 2,0)$ ,  $(0,4 < P_{\pi^{+}} < 1,0)$ ,  $(0,15 < P_p < 0,8)$ .

В результате анализа корреляционных функций по быстротам для различных комбинаций заряженных пионов и  $\gamma$ -квантов, в зависимости от модуля разности скоростей двух частиц  $\lambda = |y_1^{\pi} - y_2^{\pi}|$ , установлено, что для  $\pi$ -мезонных пар (независимо от знака заряда) и пар  $\gamma$ -квантов наблюдается положительная корреляция при малых  $\lambda < 0,5$  и отрицательная корреляция в области  $(0,5 < \lambda < 3,0)$  в согласии с аналогичными данными для реакции  $\pi^{+}d \rightarrow \pi^{-}\pi^{-}$  при энергии 6 ГэВ, тог-

да как для  $(\gamma, \pi^{+})$  и  $(\gamma, \pi^{-})$  - пар наблюдается положительная корреляция при  $\lambda \leq 2$ .

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы:

1. При облучении 200-литровой пузырьковой камеры с пропан-фреоновым заполнением на пучке  $\pi^{-}$ -мезонов с импульсом 5 ГэВ/с получено 150000 стереофотографий.

2. Создано программное обеспечение экспериментов по исследованию неупругих пион-ядерных взаимодействий, включая:

определение оптических констант и констант для программ геометрической реконструкции событий;

параметризацию напряженности магнитного поля  $\vec{H}(x, y, z)$  в рабочем объеме камеры;

программы для формирования инклюзивных ЛСР-И.

3. Измерены сечение генерации ( $\sigma_{P_t > 200} = 25,5 \pm 1,7$  мбн) и множественности протонов, вылетающих из ядра углерода в заднюю полусферу в л.с.

4. Исследовано поведение структурной функции для протонов из взаимодействий при 5 ГэВ/с; основные результаты исследований таковы:

а) в параметризацию структурной функции необходимо ввести зависимость от угла вылета протона; лучшими из известных параметризаций угловой зависимости выхода кумулятивных протонов с  $P_{P_t} < 1$  ГэВ/с, являются параметризации, полученные на основе фэйрбольной модели барионного кумулятивного эффекта.

б) установлена близость величин параметров анизотропии  $\zeta, \zeta_1$  испарительного и кумулятивного спектров протонов.

в) вероятность описания спектров "протонов назад" гладкой зависимостью для наших экспериментальных данных меньше 1%. Характер отклонения данных от гладкой зависимости напоминает собой осциллирующую функцию импульса или угла вылета ("Эриксоновские флуктуации");

Для среднего значения ширины энергетических уровней резонансных состояний нуклонных систем, обуславливающих испускание "протонов назад", получено значение  $\langle \Gamma_2 \rangle \leq 10$  МэВ.

5. Впервые в адрон-ядерных взаимодействиях наблюдаются корреляции по углу разлета заряженных частиц с преимущественным разлетом в противоположные стороны.

6. Определены пространственно-временные характеристики области генерации заряженных  $\pi^{\pm}$  мезонов:  $R_{\pi\pi} = (2,9 \pm 0,8) \phi$ ,  $(c \cdot \tau)_{\pi\pi} = (2,2 \pm 1) \phi$ .

7. Обнаружены, в соответствии с предсказаниями С.Е.Кунина, интерференционные эффекты и парные корреляции для протонов; оценены размеры области эмиссии "близких" ( $\Delta \vec{\beta} \leq 100$  МэВ/с) протонных пар порядке нескольких ферми, как и в случае измерения "близких"  $\pi$ -мезонных пар.

8. Измерены инвариантные дифференциальные сечения  $f$  и двухчастичные корреляционные функции для  $\gamma$ -квантов и заряженных  $\pi$ -мезонов, и в сопоставлении с данными на разных мишенях при более высоких энергиях установлено:

а) Значения  $f^H(\gamma^*)$  совпадают в пределах экспериментальных погрешностей в центральной области независимо от природы мишени уже при 5 ГэВ.

б) Функция  $f^H(\rho_{11})$  в области фрагментации нелетающей частицы не зависит от энергии и сорта сталкивающихся частиц для  $E \geq 5$  ГэВ.

в) Неблюдается положительная корреляция между быстротами  $\pi^+, \pi^-, \delta$  при малых  $\lambda = |y_1^* - y_2^*|$ , причем для  $\delta \pi$  - пар отсутствует падение  $\phi(\lambda)$  в область отрицательных значений.

9. Импульсные и угловые инклюзивные распределения вторичных заряженных частиц в основном удовлетворительно согласуются с расчетами по каскадно-испарительной модели, между тем как расчетные данные для множественностей вторичных заряженных частиц систематически превышают соответствующие экспериментальные значения.

Опубликованные работы по теме диссертации:

1. Велкер Ш., Яцук В.Г. ОИЯИ IO-9387, Дубна, 1975.
2. Велкер Ш., Виноградов В.Б.,..., ОИЯИ, I3-6140, Дубна, 1971.
3. Будагов Ю.А., Велкер Ш.,... ЯФ, 1976, т. 23, с. 982.
4. Абдинов О.Б.,..., Велкер Ш.,... ЯФ, 1979, 30, С. 396.
5. Бейрамов А.А.,..., Велкер Ш.,... ЯФ, 1978, т. 28, с. 120.
6. Абдинов О.Б.,..., Велкер Ш.,... ЯФ, 1979, т. 30, с. 1043.
7. Будагов Ю.А., Велкер Ш.,... ОИЯИ, Д1,2-1040, Дубна, 1977, т. I, А2-813.
8. Абдинов О.Б., ..., Велкер Ш., ОИЯИ, P1-II820, Дубна, 1978.
9. Budagov Yu.A.,..., Valkár Š.,... JINR, E1-9878, Dubna, 1976.
10. Valkár Š., Šándor L., Czechoslovak Journal of Phys., Sec. A, 1976, v.26, p.619.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 октября 1980 года.