

X-203

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1 - 12371

ХАРЖЕЕВ
Юрий Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВОЙНОЙ ПЕРЕЗАРЯДКИ
И ИНКЛЮЗИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ЗАРЯЖЕННЫХ ПИОНОВ И ГАММА-КВАНТОВ
В $\pi^{-12}\text{C}$ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 5 ГэВ/с

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика
Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1979

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук Ю.А.Будагов

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук В.Г.Гришин

кандидат физико-математических наук А.К.Поносов

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Ленинградский институт ядерной физики им.Б.П.Константинова АН СССР

Защита диссертации состоится " " _____ 1979 года
в _____ часов на заседании Специализированного совета
при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института
ядерных исследований, г.Дубна, Моск. обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " _____ 1979 года

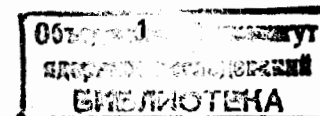
Ученый секретарь Специализированного совета
кандидат физико-математических наук Ю.А.Батусов

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Изучение адрон-ядерных взаимодействий при высоких энергиях в последние годы характеризуется бурным развитием. В проведенных экспериментальных и теоретических исследованиях получено много новых сведений о распределениях адронной материи внутри ядра, взаимодействиях вторичных частиц (включая резонансы) с внутриядерными нуклонами, а также о таком специфическом ядерном явлении, как кумулятивный эффект, в котором проявляется коллективный характер взаимодействия нуклонов ядер.

Важное место в исследованиях адрон-ядерных взаимодействий занимают процессы двойной перезарядки (ДП) пионов на ядрах, подробно изученные в области сравнительно низких энергий (ниже 0,5 ГэВ). В процессах ДП участвуют, как минимум, два нуклона ядра, в результате ДП в принципе могут образоваться ядра с избыточным числом нейтронов или протонов. Изучая процессы ДП, можно получить некоторые сведения о структуре ядра, распределении плотности ядерной материи, корреляциях внутри ядра двух одноименно заряженных нуклонов и т.д.

Создание новой теоретической концепции - инклюзивного описания процессов множественного рождения частиц - обеспечило существенный прогресс в исследованиях взаимодействия адронов с адронами и ядрами при высоких энергиях. Изучение множественной генерации частиц в адрон-ядерных соударениях при энергиях в несколько ГэВ представляет большой интерес с точки зрения проверки предсказаний гипотез предельной фрагментации и масштабной инвариантности в зависимости от типа мишени в области энергий, далекой от асимптотической.



Исследование процессов множественного образования частиц на ядре в зависимости от количества участвующих в них нуклонов позволяет получить сведения, необходимые для уточнения механизмов этих процессов.

Экспериментальный материал, вошедший в основу настоящей диссертации, получен автором в 1971 - 1978 г.г. 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 следующих процессов пион-углеродных взаимодействий: двойной перезарядки и инклюзивного образования заряженных пионов и гамма-квантов и множественной генерации заряженных частиц.

В задачи исследований входило получение сечения процессов двойной перезарядки Π^- мезонов на ядре углерода; изучение поведения инвариантных дифференциальных сечений образования Π^\pm мезонов и гамма-квантов в различных кинематических областях; определение множественностей заряженных частиц в пион-углеродных взаимодействиях в зависимости от числа участвующих в них нуклонов ядра.

Научная новизна заключается в том, что при энергии 5 ГэВ на большом статистическом материале (II тысяч ПС-взаимодействий) проведены исследования следующих процессов пион-углеродных взаимодействий:

1) двойной перезарядки отрицательных Π^- -мезонов на ядрах углерода (в области энергий свыше 0,5 ГэВ известна лишь одна экспериментальная работа);

2) инклюзивного образования заряженных пионов и гамма-квантов (преобладающее большинство экспериментальных данных в адрон-ядерных взаимодействиях получено в области более высоких энергий при $E > 10$ ГэВ);

3) множественной генерации заряженных частиц в зависимости от числа участвующих в процессах нуклонов (при энергиях ниже 40 ГэВ такие процессы не исследовались).

Анализ экспериментальных данных по двойной перезарядке проведен на основе представления о "двухступенчатом" механизме, по множественной генерации - с помощью каскадно-испарительной модели. Экспериментальные результаты изучения образования пионов и γ -квантов сравниваются с результатами, полученными при существенно более высоких энергиях.

Практическая ценность работы

Результаты исследования процессов двойной перезарядки Π^- мезонов и множественной генерации частиц во взаимодействиях с участием 2-х и более нуклонов показывают, что основной вклад в эти процессы вносят последовательные соударения с нуклонами ядра. Продолжение исследований позволяет уточнить вклады механизмов взаимодействий, связанных с групповыми (2 и более) корреляциями нуклонов в ядре. Результаты исследования пион-углеродных соударений с выделением числа участвующих в них нуклонов дополняют физическую картину процессов множественной генерации частиц в адрон-ядерных соударениях.

Установленная в эксперименте независимость инвариантных дифференциальных сечений образования заряженных пионов и гамма-квантов в области фрагментации налетающей частицы от типа мишени (P и C) согласуется с результатами, полученными при высоких энергиях. Это свидетельствует о глубоком подобии механизмов образования таких частиц в определенных кинематических областях адрон-адронных и адрон-ядерных соударений в широком интервале энергий (от 5 ГэВ до энергий в десятки и более ГэВ). Этот результат должен учитываться при уточнении и развитии современных представлений об адрон-ядерных взаимодействиях.

Автор защищает результаты исследований следующих процессов, проведенных на основе данных о пион-углеродных взаимодействиях при 5 ГэВ/с:

- 1) двойной перезарядки Π^- мезонов;
- 2) множественной генерации заряженных частиц во взаимодействиях с участием более 1 нуклона;
- 3) инклюзивного образования заряженных пионов и гамма-квантов.

Апробация работы и публикации. Основные результаты работы представлялись на международных конференциях по физике высоких энергий в Тбилиси (1976), Будапеште (1977), Токио (1978) и опубликованы в журнале "Ядерная физика" и в виде препринтов и сообщений ОИЯИ.

Объем диссертации. Текст состоит из введения, четырех глав и заключения. Диссертация содержит 100 страниц, включая 14 таблиц и 24 рисунка.

Содержание диссертации

Во введении отмечаются важность проведения исследований адрон-ядерных взаимодействий и основные направления этих исследований. Сформулированы цели и задачи исследований, составляющих предмет диссертации. Подчеркнуты преимущества пропановой пузырьковой камеры, использованной для проведения эксперимента.

В первой главе диссертации описана методика обработки данных с I-метровой пропан-фреоновой пузырьковой камеры (ПК-200) Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Приведены краткое описание и основные параметры этой камеры.

На установке ПК-200, заполненной пропан-фреоновой смесью, было получено свыше 300 тысяч стереофотографий на пучке Π^- -мезонов с импульсом 5 ГэВ/с синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ.

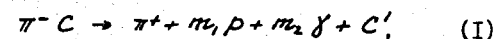
Подробно рассматривается методика, использованная для определения констант оптической системы установки ПК-200 при заполнении ее пропан-фреоновой смесью $1,2/1$ с целью проверки правильности нахождения этих констант проведен анализ точности восстановления пространственных координат реперных крестов на рабочих стеклах камеры; импульсов первичных частиц; эффективных масс нейтральных странных частиц и кинематических параметров этих частиц. Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии существенных отклонений восстановленных величин от ожидаемых, а также о корректном вычислении погрешностей. Например, средние значения масс однозначно фитированных частиц и их среднеквадратичные отклонения для Λ^0 и K^0 -гипотез равны соответственно: $\langle m_{\Lambda} \rangle = (1116,1 \pm 2,5) \text{ МэВ}$ и $\sigma_{\Lambda} = 15 \text{ МэВ}$; $\langle m_K \rangle = (501,4 \pm 4,2) \text{ МэВ}$ и $\sigma_K = 38 \text{ МэВ}$; средние значения $\langle \chi^2 \rangle$ для этих гипотез равны соответственно: $2,86 \pm 0,42$ и $3,38 \pm 0,26$ при теоретически ожидаемом значении, равном 3.

Для проведения исследований процессов пион-углеродных взаимодействий, составивших основу диссертации, было просмотрено свыше 45 тысяч стереофотографий, полученных на ПК-200, заполненной пропаном. Найденные при этом события были измерены на полуавтоматических измерительных устройствах ЛВТА ОИЯИ и затем обчислены по программе геометрической реконструкции I - 6. После анализа результатов обсчета на ленту суммарных результатов было записано II тысяч случаев с признаками пион-углеродного взаимодействия.

Описаны критерии отбора и классификации событий в ПК-200; изложены основные этапы обработки данных на ЭВМ: анализ данных просмотра пленок и результатов обсчета по программе геометрической реконструкции; составление ленты суммарных результатов. Подробно излагается методика обработки событий с гамма-квантами в ПК-200; отбор гамма-квантов и определение их кинематических параметров; оценка примеси фоновых гамма-квантов и т.д. ^{3,4/}

Вторая глава посвящается исследованию двойной перезарядки (ДП) Π^- мезонов на ядрах углерода при 5 ГэВ/с ^{5/}. Приводится краткий обзор результатов исследований процессов ДП пионов на ядрах. Отмечено, что большая часть экспериментальных данных имеется в области энергий ниже 0,5 ГэВ и что механизм процессов ДП даже в этой области энергий окончательно не установлен.

Для исследования процессов ДП отрицательных пионов на ядрах углерода отбирались события, в которых среди вторичных частиц нет отрицательных:



где m_1 и m_2 - соответственно числа идентифицированных протонов и зарегистрированных гамма квантов ($m_1, m_2 \geq 0$); C' - неидентифицированное ядро-остаток и нейтроны; π^+ - идентифицированные Π^+ мезоны и высокоэнергетические положительно заряженные частицы с импульсами $P \geq 700 + 800 \text{ МэВ/с}$. В результате просмотра 45 тысяч стереоснимков было отобрано 538 событий типа (I). Распределение этих событий по числу гамма-квантов приведено в таблице I. После измерения, обсчета и последующего отбора их на ленту суммарных результатов было записано 358 событий.

Таблица I
Распределение событий ДП по числу гамма-квантов

n_{γ}	0	1	2	3
N соб.	380	123	31	4

В событиях (I) среди высокоэнергетических положительных частиц с $P \geq 700 + 800 \text{ МэВ/с}$ наряду с Π^+ мезонами имеются релятивистские протоны. События с такими протонами являются фоновыми по отношению к процессам ДП. Разделение высокоэнергетических положительных частиц проводилось путем сопоставления экспериментальных

и расчетных величин плотностей δ -электронов, создаваемых на треках этих частиц. Оказалось, что в спектре положительно заряженных частиц с импульсами более 1 ГэВ/с основную долю ($74 \pm 20\%$) составляют Π^+ мезоны.

Кроме отмеченных выше процессов с образованием высокоэнергетических протонов фоновой по отношению к процессам ДП является реакция с рождением Π^- мезонов с импульсом менее 70 МэВ/с, которые из-за их короткого пробега в пропановой камере ошибочно могут быть приняты за протоны. Специальный анализ показал, что примесь таких фоновых процессов не превышает 4%.

Определенное нами топологическое сечение процессов (I) оказалось равным $\sigma_{\text{top}} = 3.4 \pm 0.4$ мбн, причем сечение процессов (I), идущих без образования Π^0 мезонов, составляет $\sigma_0 = 1.25 \pm 0.45$ мбн.

С помощью экспериментального распределения событий (I) по числу гамма-квантов и с учетом эффективности их регистрации получена средняя множественность Π^0 мезонов $\langle n_0 \rangle$. В процессах (I), когда образуется I и более Π^0 мезонов $\langle n_0 \rangle = 2.2 \pm 0.2$, что в пределах ошибок согласуется с определенной нами средней множественностью Π^0 мезонов $\langle n_0 \rangle = 1.8 \pm 0.2$ в ПР соударениях при 5 ГэВ с образованием не менее I Π^0 -мезона.

На рис. I приведено импульсное распределение Π^+ мезонов, образующихся в процессах (I). Среднее значение импульсов Π^+ мезонов в событиях (I), в которых не наблюдаются гамма-кванты, $\langle P_+ \rangle = 1.125 \pm 0.070$ ГэВ/с, что заметно превышает значение $\langle P_+ \rangle = 0.858 \pm 0.005$ ГэВ/с, измеренное нами в пион-углеродных взаимодействиях (см. таблицу 2). Следовательно, в процессах (I), происходящих без образования гамма-квантов, Π^+ мезоны уносят в среднем 22% энергии первичных частиц. При исследованиях ДП пионов в области энергий ниже 0,5 ГэВ было показано, что дважды перезарядившиеся частицы уносят в среднем 30 - 40% энергии первичной частицы. Такая разница в энергиях, уносимых пионами, образующимися в процессах ДП, объясняется тем, что при высоких энергиях в результате ДП больше энергии первичной частицы отдается ядру на его возбуждение, которое снимается испусканием испарительных протонов.

Отметим, что большинство гамма-квантов наблюдается в событиях, в которых Π^+ мезоны имеют небольшие импульсы (рис. I). В событиях (I), в которых $P > 3.7$ ГэВ/с, гамма-кванты не наблюдались. Проведенные нами оценки показывают, что примесь Π^0 мезонов в событиях (I), в которых $P > 3$ ГэВ/с, не превышает 20%.

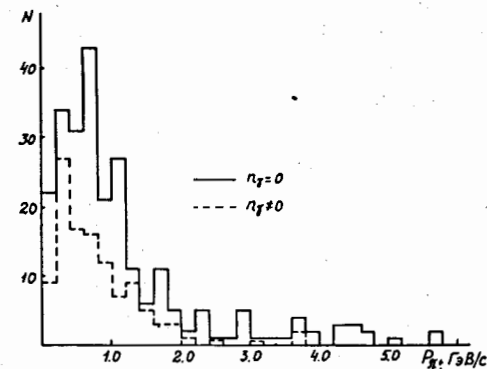


Рис. I. Распределение по импульсам Π^+ мезонов, образующихся в процессах (I).

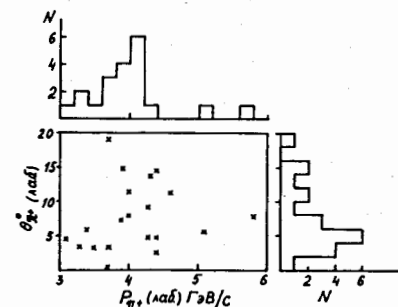


Рис. 2. Зависимость углов вылета ($\theta_{\pi^+}^*$) высокоэнергетических Π^+ мезонов от их импульсов в лабораторной системе координат в жесткой части импульсного спектра

Угловое распределение Π^+ мезонов характеризуется резкой направленностью вперед. Например, в событиях, когда импульс Π^+ мезона $P_+ \geq 3$ ГэВ/с, 94 % Π^+ мезонов вылетают под углами меньше 18° , а 64 % — под углами меньше 11° (см. рис. 2). Отмеченные особенности углового распределения Π^+ мезонов существенно отличаются от изотропного углового распределения пионов, образующихся при ДП пионов на ядрах ${}^4\text{He}$ при $P = 1,5 + 2,0$ ГэВ/с. Это свидетельствует о сильной зависимости механизмов ДП от ядра.

Большинство протонов в процессах ДП образуется в результате распада возбужденного ядра-остатка ("испарительные протоны"). Среднее значение импульсов протонов $\langle P_p \rangle = 302 \pm 8$ МэВ/с.

Для объяснения процессов ДП пионов на ядрах используется несколько механизмов. Однако ни один из них не претендует на полное описание имеющихся экспериментальных данных. Тем не менее, рассмотрение этих механизмов важно для оценки масштаба величин сечений процессов ДП и выбора схемы взаимодействий, приводящих к ДП пионов на ядрах. Проведенные нами расчеты показывают, что основной вклад (около 70 %) в топологическое сечение процессов ДП вносит "двухступенчатый" механизм с поглощением или перезарядкой Π^- мезонов, образующихся на первой ступени, в ядерном веществе. На рис. 3 приведены измеренные и рассчитанные дифференциальные сечения $d\sigma/dp_+$ Π^+ мезонов в зависимости от их импульсов. Как видно из рисунка, согласие обоих распределений в целом удовлетворительное.

Как показывают проведенные оценки, вклад изобарного механизма ДП незначителен и составляет лишь 90 ± 34 мкбн. Сечение процессов "упругой" ДП, когда образующиеся Π^+ мезоны уносят более 90 % энергии первичных Π^- мезонов, $\sigma_{\text{упр}} = 70 \pm 28$ мкбн.

Третья глава диссертации посвящена исследованию инклюзивного образования заряженных Π мезонов и гамма-квантов в пион-углеродных соударениях при 5 ГэВ/с.

В § I этой главы подчеркивается плодотворность инклюзивного метода исследования, используемого для изучения процессов множественной генерации частиц при высоких энергиях; описываются основные гипотезы, широко используемые при анализе данных; приводится краткий обзор экспериментальных работ по исследованию инклюзивного образования Π^+ и Π^- мезонов и гамма-квантов в адрон-ядерных взаимодействиях.

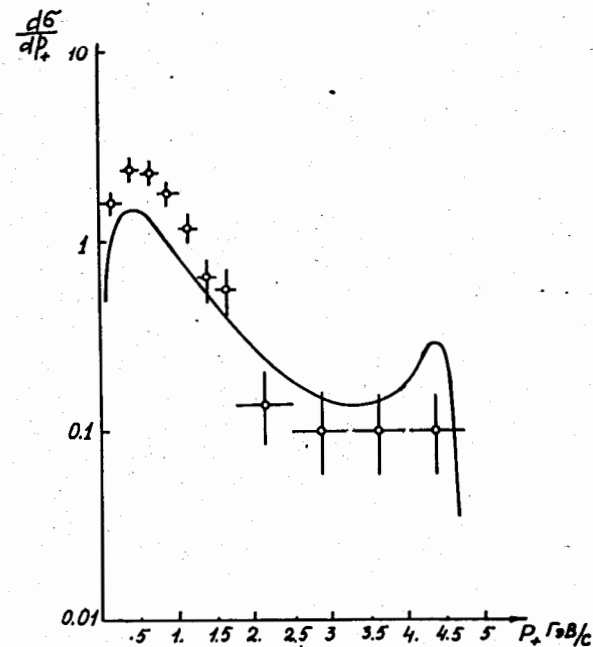


Рис. 3. Дифференциальное сечение $\frac{d\sigma}{dp_+}$ процессов (I). Сплошная кривая — результат расчета по "двухступенчатому" механизму. Точки — эксперимент.

При исследовании одночастичных инклюзивных распределений γ -квантов, образующихся в пион-протонных соударениях, нами было показано, что дифференциальные сечения $d\sigma/dy^*$ в центральной области ($y^* \approx 0$) в пределах экспериментальных ошибок совпадают с данными πp -взаимодействий при энергиях 40 и 100 ГэВ. Инвариантная структурная функция в областях фрагментации налетающей частицы и мишени в области энергий 5–40 ГэВ проявляет в пределах 5% погрешностей независимость от энергии [6,7].

В § 2 данные, полученные при изучении реакции $\pi^+ C \rightarrow \gamma + \dots$ [8] при 5 ГэВ, сопоставляются с результатами исследования реакций $\pi^+ P \rightarrow \gamma + \dots$ при той же энергии. Как видно из рис. 4а, нормированные структурные функции $\frac{1}{\sigma_{in}} \frac{d\sigma}{dy^*}$, проинтегрированные по P_T^2 , для γ -квантов из обеих реакций совпадают в центральной области ($|y^*| < 0,3$) в пределах экспериментальных ошибок, т.е. не зависят от типа мишени. Нормированные структурные функции для γ -квантов в области фрагментации мишени зависят от типа мишени (см. рис. 4б), тогда как в области фрагментации налетающей частицы проявляют независимость от типа мишени (см. рис. 4в) и от энергии, как было показано для γ -квантов из реакции $\pi^+ P \rightarrow \gamma + \dots$

Таким образом, одночастичные инклюзивные распределения гамма-квантов, образующихся в пион-углеродных взаимодействиях, не зависят от типа мишени (P и C) в центральной области при энергиях 5–100 ГэВ и в области фрагментации налетающей частицы при энергиях 5–40 ГэВ. Это свидетельствует о том, что образование гамма-квантов в этих кинематических областях проявляет предельное поведение уже при энергии 5 ГэВ.

Как видно из таблицы 2, средние значения импульсов гамма-квантов в пион-углеродных взаимодействиях несколько ниже, чем в пион-протонных взаимодействиях. При этом средние поперечные импульсы $\langle P_T \rangle$ гамма-квантов, образующихся в обоих типах взаимодействий в пределах экспериментальных ошибок, совпадают, т.е. проявляют независимость от типа мишени. Сравнение их с данными, полученными при 40 ГэВ, показывает также независимость $\langle P_T \rangle$ и от энергии.

С помощью кинематических параметров гамма-квантов вычислены соответствующие характеристики π^0 -мезонов. Показано, что средние значения импульсов π^0 -мезонов, образующихся в пион-углеродных взаимодействиях при 5 ГэВ/с, близки к соответствующим значениям импульсов заряженных пионов.

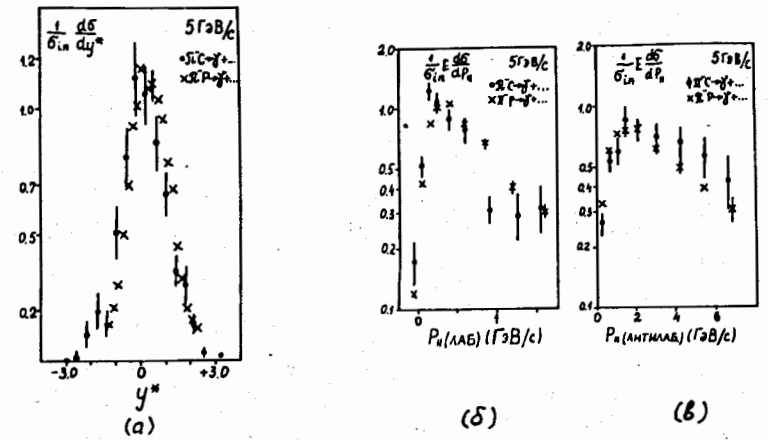


Рис. 4 (а, б, в) Инвариантные дифференциальные сечения образования гамма-квантов в реакциях $\pi^+ C \rightarrow \gamma + \dots$ (точки) и $\pi^+ P \rightarrow \gamma + \dots$ (косые кресты) при 5 ГэВ/с в зависимости от быстроты в системе центра масс (а), продольного импульса в лабораторной (б) и антилабораторной (в) системах координат.

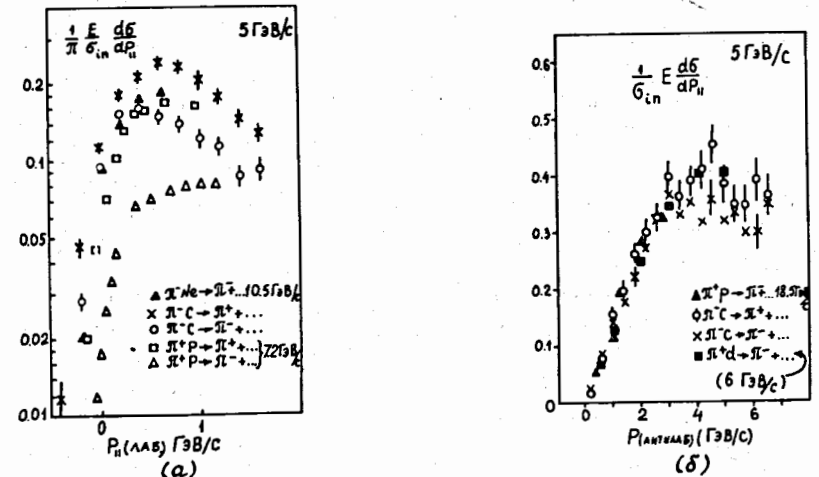


Рис. 5. (а, б) Инвариантные дифференциальные сечения образования π^+ и π^- мезонов в зависимости от продольных импульсов в лабораторной (а) и антилабораторной (б) системах координат

В §3 приводятся результаты исследования инклюзивного образования Π^+ и Π^- мезонов из реакций $\Pi^+C - \Pi^+ + \dots$ и $\Pi^-C - \Pi^- + \dots$ и проводится сравнение их с данными при более высоких энергиях [9]. В таблице 2 показаны средние значения кинематических параметров этих частиц.

Таблица 2.

Средние значения импульсов $\langle P_x \rangle$ продольного $\langle P_{||} \rangle$ и поперечного $\langle P_{\perp} \rangle$ составляющих импульсов Π^+ и Π^- мезонов, образующихся в Π^+C взаимодействиях, и гамма-квантов, образующихся в Π^+C и Π^-C взаимодействиях при 5 ГэВ/с.

Импульсы	Π^+	Π^-	γ	$\gamma_{пр}$
$\langle P \rangle$ МэВ/с	858 ± 5	887 ± 7	430 ± 4	531 ± 9
$\langle P_{ } \rangle$ МэВ/с	692 ± 6	704 ± 6	340 ± 3	476 ± 3
$\langle P_{\perp} \rangle$ МэВ/с	382 ± 2	322 ± 2	176 ± 2	172 ± 2
$\langle P^* \rangle$ МэВ/с	526 ± 3	474 ± 2	236 ± 2	242 ± 3
$\langle P_{\perp}^2 \rangle$ ГэВ/с ²	0.201 ± 0.002	0.151 ± 0.002	0.059 ± 0.001	0.050 ± 0.001

Средние значения поперечных импульсов пионов из пион-углеродных взаимодействий близки к соответствующим значениям из пион-нуклонных взаимодействий. В угловом распределении Π^- -мезонов обнаруживается проявление эффекта лидирования Π^- -мезонов, наблюдавшегося ранее при более высоких энергиях, как в адрон-адронных, так и адрон-ядерных взаимодействиях.

Распределение нормированных дифференциальных сечений Π^+ и Π^- мезонов в разных кинематических областях проявляет следующие свойства (см. рис. 5а, б):

а) Фрагментация Π^- в Π^+ более вероятна, чем Π^+ в Π^- мезоны, что может быть связано с поглощением медленных Π^- мезонов в ядерном веществе. Этот эффект в области фрагментации мишени проявляется сильнее, чем в области фрагментации налетающей частицы. Подобное различие в образовании заряженных пионов наблюдалось также при более высоких энергиях во взаимодействиях Π^- -мезонов с ядрами неона при 10,5 ГэВ, углерода при 40 ГэВ и эмульсии при 50 ГэВ.

б) В области фрагментации мишени сечение образования Π^+ -мезонов в пион-углеродных соударениях значительно выше, чем в элементарных актах пион-нуклонных соударений. Подобный эффект наблюдался также в упомянутых выше исследованиях пион-ядерных взаимодействий при энергиях 10 - 50 ГэВ. Таким образом, имеющиеся данные свидетельствуют о значительном влиянии ядра-мишени на образование относительно медленных пионов и противоречат некоторым моделям адрон-ядерных взаимодействий, в которых механизм образования частиц в адрон-ядерных взаимодействиях идентичен образованию частиц в элементарных актах адрон-нуклонных взаимодействий.

в) В области фрагментации налетающей частицы сечение образования заряженных пионов в пион-углеродных взаимодействиях в пределах экспериментальных погрешностей согласуется с данными, полученными во взаимодействиях пионов с нуклонами, ядрами дейтона и неона при более высоких энергиях.

Четвертая глава диссертации посвящена исследованию процессов множественной генерации заряженных частиц в пион-углеродных соударениях в зависимости от числа участвующих нуклонов [10, 11].

Во введении дан краткий обзор основных экспериментальных закономерностей, установленных при исследовании процессов множественной генерации частиц при столкновении адронов с ядрами при высоких энергиях, а также некоторых теоретических моделей, используемых для их интерпретации. Подчеркнута целесообразность изучения процессов адрон-ядерных взаимодействий с выделением числа участвующих в них нуклонов ядра. Отмечается, что количество экспериментальных работ в этой области очень мало.

В § 2 этой главы подробно описывается процедура выделения подобных процессов с помощью величины электрического заряда q , переносимого от нуклонов ядра в систему вторичных частиц, равной разности числа положительных и отрицательных пионов, т.е. $q = n_+ - n_-$. В число положительных пионов включаются также высокоэнергетичные протоны с импульсом $P \geq 800$ МэВ/с, которые по ионизации невозможно отличить от Π^+ мезонов. Показано, что вклад протонов в n_+ составляет 20 %.

В § 3 приводятся основные результаты исследования пион-углеродных взаимодействий с выделением числа участвующих в них нуклонов. Подробно описывается процедура нахождения полного числа соударений в ядре углерода $N(\Pi C^{12})$, которое определяется как сумма числа событий на квазисвободных протонах $N(\Pi P)$ и нейтронах $N(\Pi n)$

и событий с характерными признаками ядерного взаимодействия N (ПС).

Полученное распределение числа N (ПС¹²) соударений в зависимости от величины q приведено на рис. 6. Видно, что полное число соударений с участием двух и более нуклонов составляет не менее 17% от полного числа соударений в ядре углерода (с учетом взаимодействий с квазисвободными нуклонами). Минимальное значение сечения пион-углеродных взаимодействий с участием 2-х и более нуклонов составляет $45,3 \pm 3,4$ мбн. Определено минимальное число внутриядерных соударений в ядре углерода: $1,24 \pm 0,09$.

На рис. 7 приведены средние множественности заряженных пионов $\langle n_+ \rangle$ и Π^- мезонов $\langle n_- \rangle$ в зависимости от величины q , полученные по данным просмотра пленок. Как видно, средняя множественность Π^- мезонов с ростом q слегка уменьшается, тогда как средняя множественность Π^+ мезонов существенно возрастает. Такое поведение можно объяснить процессами поглощения Π^- мезонов в ядерном веществе, а рост числа Π^+ мезонов связан с увеличением количества протонов, участвующих в процессе.

По материалам настоящего эксперимента были вычислены средние множественности вторичных заряженных частиц $\langle n \rangle$ в пион-нуклонных и пион-углеродных соударениях, причем в последнем случае как с учетом вклада взаимодействий на квазисвободных нуклонах ядра углерода, так и без учета их. Показано, что $\langle n \rangle$ в пределах экспериментальных ошибок совпадают с более ранними результатами, полученными в других экспериментах. Следовательно, множественности вторичных частиц в зависимости от числа участвующих в процессах нуклонов ядра не содержат каких-либо систематических ошибок.

Измеренные величины сравнивались с результатами расчетов по каскадно-испарительной модели. Для проведения более корректного сравнения были выбраны следующие интервалы по импульсам частиц, в которых проводится их надежная идентификация: для Π^- мезонов $P_{\Pi^-} \geq 60$ МэВ/с (менее энергичные Π^- мезоны могут быть ошибочно приняты за протоны), для протонов $180 \text{ МэВ/с} \leq P_p \leq 600 \text{ МэВ/с}$. Результаты сравнения приведены в таблицах 3 а и б. Здесь под n_+ подразумевается средняя множественность идентифицированных Π^+ мезонов и всех высокоэнергетических ($P_+ > 600 \text{ МэВ/с}$) положительно заряженных частиц. В последнем столбце каждой таблицы приведены распределения пион-углеродных событий (без взаимодействий на квазисвободных нуклонах) в зависимости от величины q .

Как видно, измеренные и рассчитанные средние множественности

Π^- и Π^+ мезонов в зависимости от величины q в пределах экспериментальных погрешностей совпадают друг с другом, а для протонов модель дает несколько завышенные значения. Число взаимодействий с участием 2^x и более нуклонов, получаемых по модели, составляет $36,4 \pm 0,4$ %, тогда как экспериментальное значение — $40,4 \pm 0,5$ % от полного числа пион-углеродных взаимодействий (без учета взаимодействий на квазисвободных нуклонах).

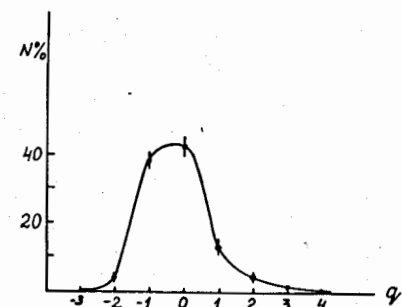


Рис. 6. Распределение событий Пс¹² в зависимости от величины q .

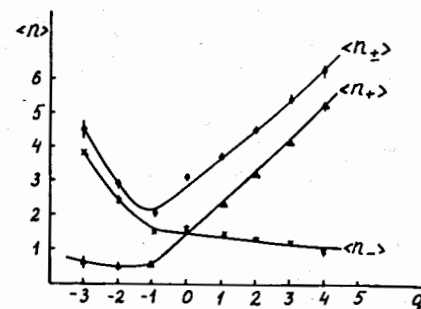


Рис. 7. Зависимость средней множественности заряженных пионов $\langle n \rangle$ от величины q .

Таблица 3 А и Б.

Распределение ПС событий (без учета взаимодействий на квазисвободных нуклонах) N в зависимости от величины q и средние множественности заряженных частиц в этих событиях.

А. Эксперимент

q	$\langle n_{-} \rangle$	$\langle n_{+} \rangle$	$\langle n_{\pm} \rangle$	$\langle n_p \rangle$	$N, \%$
- 3	3.53 ± 0.12	0.53 ± 0.10	4.15 ± 0.16	2.00 ± 0.17	0.4 ± 0.1
- 2	2.49 ± 0.03	0.49 ± 0.03	2.98 ± 0.04	1.54 ± 0.06	4.2 ± 0.6
- I	1.94 ± 0.01	0.86 ± 0.02	2.80 ± 0.02	1.33 ± 0.02	17.6 ± 0.8
0	1.50 ± 0.01	1.53 ± 0.01	3.03 ± 0.01	1.01 ± 0.01	37.8 ± 0.5
I	1.30 ± 0.01	2.18 ± 0.02	3.48 ± 0.02	0.74 ± 0.02	27.6 ± 0.3
2	1.08 ± 0.03	3.08 ± 0.02	4.16 ± 0.04	0.86 ± 0.03	9.2 ± 0.2
3	0.95 ± 0.04	3.95 ± 0.05	4.90 ± 0.06	0.76 ± 0.04	2.7 ± 0.1
4	0.70 ± 0.10	4.57 ± 0.18	5.27 ± 0.21	0.79 ± 0.13	0.50 ± 0.04
$\pi^+ n, m_2$	1.24 ± 0.01	2.61 ± 0.01	3.85 ± 0.01	0.78 ± 0.01	40.4 ± 0.5
$\pi^- C$	1.50 ± 0.01	1.79 ± 0.01	3.29 ± 0.01	1.00 ± 0.01	100.

Б. Модель

q	$\langle n_{-} \rangle$	$\langle n_{+} \rangle$	$\langle n_{\pm} \rangle$	$\langle n_p \rangle$	$N, \%$
- 3	3.49 ± 0.12	0.48 ± 0.10	3.97 ± 0.16	3.23 ± 0.17	0.3 ± 0.1
- 2	2.64 ± 0.03	0.64 ± 0.03	3.28 ± 0.04	2.43 ± 0.06	5.7 ± 0.6
- I	1.96 ± 0.01	1.08 ± 0.01	3.04 ± 0.02	1.86 ± 0.02	22.5 ± 0.6
0	1.57 ± 0.01	1.69 ± 0.01	3.26 ± 0.01	1.48 ± 0.01	35.4 ± 0.4
I	1.37 ± 0.01	2.34 ± 0.02	3.71 ± 0.02	0.96 ± 0.02	27.6 ± 0.3
2	1.11 ± 0.03	3.11 ± 0.03	4.22 ± 0.04	0.71 ± 0.03	7.3 ± 0.2
3	0.82 ± 0.04	3.82 ± 0.05	4.64 ± 0.06	0.45 ± 0.04	1.1 ± 0.1
4	0.68 ± 0.10	4.65 ± 0.18	5.33 ± 0.21	0.50 ± 0.13	0.10 ± 0.03
$\pi^+ n, m_2$	1.30 ± 0.01	2.54 ± 0.01	3.84 ± 0.01	0.91 ± 0.04	36.4 ± 0.45
ПС	1.69 ± 0.01	1.79 ± 0.01	3.45 ± 0.01	1.41 ± 0.01	100.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

1) Для проведения систематических исследований пион-ядерных взаимодействий с помощью 200-литровой пропан-фреоновой пузырьковой камеры (ПК-200) ЛЯП ОИЯИ было получено свыше 300 тысяч стереофотографий на пучке П мезонов с импульсом 5 ГэВ/с синхрофазотрона ЛВЗ ОИЯИ.

2) Выполнен значительный объем методических исследований и разработок, включая:

а) определение констант оптической системы установки ПК-200 при заполнении ее пропан-фреоновой смесью;

б) получение большого экспериментального материала: II тысяч случаев пион-углеродных взаимодействий в результате просмотра 45 тысяч стереофотографий;

в) создание комплекса программ на ЭВМ CDC I604 для обработки отобранных случаев пион-углеродных взаимодействий;

г) методику обработки событий с гамма-квантами с учетом специфических особенностей эксперимента.

3) Исследованы процессы двойной перезарядки (ДП) отрицательных пионов на ядрах углерода; полученные при этом результаты являются одними из двух известных в настоящее время в области энергий свыше 0,5 ГэВ;

а) определено топологическое сечение процессов ДП

$\sigma_{\text{тол}} = 3.4 \pm 0.4$ мбн; измерено сечение процессов ДП без образования П⁰ мезонов $\sigma_0 = 1,25 \pm 0.45$ мбн, а также "упругой" ДП, когда П⁺ мезон уносит более 90 % энергии первичного П мезона, $\sigma_{\text{"упр."}} = 70 \pm 28$ мкбн;

б) проведено сравнение полученных данных с расчетами по "двухступенчатому" механизму; установлено, что вклад этого механизма составляет основную долю (2,2 мбн) экспериментальной величины $\sigma_{\text{тол}}$;

в) измерено угловое распределение П⁺ мезонов, образующихся в процессах ДП, и показано, что П⁺ мезоны вылетают преимущественно вперед.

4) Измерены инвариантные дифференциальные сечения образования заряженных пионов $f_{\pi}(p_1, p_2^2)$ и гамма-квантов $f_{\gamma}(y^*, p_2^2)$ в ПС взаимодействиях при 5 ГэВ и установлено, что:

а) в центральной области величины $f_{\gamma}(y^*, p_2^2)$, измеренные на углеродной и протонной мишенях, в пределах экспериментальных погрешностей совпадают, что согласуется с результатами, полученными при существенно более высокой энергии 40 ГэВ;

б) в области фрагментации мишени значения $f_{\pi} (P_{\pi}, P_{\pi}^2)$ и $f_{\pi} (P_{\pi}, P_{\pi}^2)$ заметно превосходят значения этих величин для PN взаимодействий, тогда как в области фрагментации налетающей частицы подобной зависимости не наблюдается. Это согласуется с результатами исследования взаимодействий пионов с ядрами неона, углерода и эмульсии при энергиях соответственно 10; 40; 50 ГэВ.

5) Проведено исследование процессов множественной генерации заряженных частиц в PN взаимодействиях в зависимости от числа участвующих внутриядерных нуклонов " ν ":

а) получены распределения этих взаимодействий по величине ν и измерены средние множественности заряженных частиц в зависимости от ν ;

б) измерено сечение пион-углеродных взаимодействий с участием не менее двух нуклонов $45,3 \pm 3,4$ мбн и оценено минимальное число внутриядерных соударений $1,24 \pm 0,09$;

в) проведено сравнение экспериментальных результатов с расчетами по каскадно-испарительной модели; показано, что модель в целом удовлетворительно описывает экспериментальные данные по множественности заряженных пионов.

Опубликованные работы по теме диссертации:

1. Одинцов В.Г., Харжеев Ю.Н. ОИЯИ, 10-7677, Дубна, 1974
2. Харжеев Ю.Н., ОИЯИ, Б1-10-8598, Дубна, 1974
3. Харжеев Ю.Н., ОИЯИ, 13-4673, Дубна, 1969
4. Валкар Ш., Харжеев Ю.Н., ОИЯИ, 13-6140, Дубна, 1971
5. Агабабян Н.М., Будагов Ю.А., Джелепов В.П., Харжеев Ю.Н. ОИЯИ, Р1-11158, Дубна, 1977
6. Будагов Ю.А., Харжеев Ю.Н., ЯФ, т. 15, вып. 6, с. 1165, 1972
7. Амаглобели Н.С., Будагов Ю.А., Харжеев Ю.Н., ЯФ, т. 22, в. 6, 1269, 1975
8. Будагов Ю.А., Валкар Ш., Виноградов В.Б., Володько А.Г., Гавашели А.Ш., Джелепов В.П., Харжеев Ю.Н., ОИЯИ, Р1-9506, Дубна, 1976.

9. Будагов Ю.А., Валкар Ш., Виноградов В.Б., Володько А.Г., Гавашели А.Ш., Дворник А.М., Джелепов В.П., Харжеев Ю.Н., ОИЯИ Р1-9720, Дубна, 1976
10. Абдинов О.А., Будагов Ю.А., Джелепов В.П., Харжеев Ю.Н., ОИЯИ Р1-11034, Дубна, 1977.
11. Абдинов О.А., Байрамов А.А., Будагов Ю.А., Харжеев Ю.Н., ОИЯИ, Р1-11820, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 апреля 1979 года.