

M-901

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 539.172.12 : 539.172.5

1-85-477

МУЛАС

Эдвард

МНОЖЕСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ ПРОТОНОВ,
ЗАРЯЖЕННЫХ И НЕЙТРАЛЬНЫХ π -МЕЗОНОВ
ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ $p\text{He}$ ПРИ 2,3 ГЭВ/С
И πHe ПРИ 9 ГЭВ/С

Специальность: 01.04.01 – экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой
кандидата физико-математических наук

Дубна 1985

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник,
доцент ИФ ВПИ (Варшава)

СЛОВИНСКИЙ
Еронислав

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

ТОНЕЕВ
Вячеслав Дмитриевич

кандидат физико-математических наук

СЛАБРАТОВА
Галина Семёновна

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт теоретической и экспериментальной физики (Москва).

Автореферат разослан " _____ 1985 г.

Защита диссертации состоится " _____ 1985 г.
в " _____ часов на заседании Специализированного совета Д-047.01.02
при Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Специализированного
совета

кандидат физико-математических наук *М.Ф. Лихачев* М.Ф. Лихачев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Экспериментальное исследование адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействий в интервале энергий в несколько ГэВ (ГэВ/нуклон) является в настоящее время важным источником сведений о нетривиальных с точки зрения ядерной физики локальных свойствах ядерной материи в условиях значительной концентрации энергии. Хотя, по имеющимся оценкам, деконфаймент, или "размораживание" внутренних степеней свободы адронной материи ожидается при температуре $T \approx 200$ МэВ, соответствующей плотности энергии кварк-глюонной хромоплазмы $\epsilon \geq 2,5$ ГэВ/фм³, проявление кварковых структур можно, в принципе, наблюдать уже при энергии, соответствующей предельной фрагментации (ПФ) ядер, т.е. ~ 4 ГэВ/нуклон.

Впервые на возможность существования совместного, или кумулятивного действия нуклонов, находящихся в ядерной материи на расстоянии, совпадающем по порядку величины с размерами нуклонного кора (≤ 1 фм), указал в 1971 г. А.М.Балдин. Этот так называемый кумулятивный эффект считается первым обнаруженным коллективным явлением на малых расстояниях в области сильных взаимодействий.

Установлен ряд закономерностей кумулятивного рождения частиц в столкновениях с атомными ядрами. Наиболее существенны из них: асимптотическое поведение релятивистски-инвариантного эффективного сечения (РИЭС) инклюзивного выхода частиц в области ПФ, зависимость РИЭС от атомного номера ядра-мишени и от кумулятивного числа. Весьма важным продолжает оставаться вопрос о том, каковы характерные признаки, позволяющие достаточно надежно выделить частицы, испускание которых обусловлено преимущественно кумулятивным механизмом. Наиболее наглядной характерной чертой явления такого рода принято считать эмиссию частиц в области, запрещенной кинематикой свободных адрон-нуклонных столкновений. Однако, как было показано в рамках ряда модельных подходов, вклад в эту область могут давать и другие процессы, объяснение которых вполне уклады-



аается в пределах существующих представлений о свойствах ядерной материи и механизме адрон-(ядро)-ядерных взаимодействий. Это, в частности, вторичные внутриядерные взаимодействия типа перерассеяния, высокоимпульсная компонента ферми-движения нуклонов ядра-мишени, испускание частиц, образованных на промежуточной стадии взаимодействия: в результате распада резонансов (мезоны и нуклоны) или вследствие поглощения медленных пионов в ядерной мишени (нуклоны). Конкурирующие процессы важны особенно в так называемой промежуточной области, т.е. когда кумулятивное число не превышает 2, или в интервале значений масштабной переменной $x \leq 2$.

В настоящее время А.М.Балдиным был предложен критерий, основанный на передаче четырехскорости, $-b^2 = (p_1/m_1 - p_2/m_2)^2$, где p_1 и p_2 - четырехимпульсы первичной и вторичной частиц соответственно, m_1 и m_2 - их массы покоя. Согласно этому критерию, адроны утрачивают роль квазичастиц, когда $b^2 \geq 5$. Интервал значений b^2 , в котором нуклоны можно считать бесструктурными объектами, определяется неравенством $b^2 \leq 0,01$. Интервал промежуточных значений, $0,01 \leq b^2 \leq 5$, характеризуется наличием гетерофазного состояния. Но, если в отношении вторичных π -мезонов, испускаемых в адрон-(ядро)-ядерных взаимодействиях, ныне достигнута область значений $b^2 \gg 5$ (несколько сот и более), то для протонов величина передаваемой четырехскорости находится пока что в промежуточной области. Поэтому достаточно полное, почти эксклюзивное исследование свойств протонной компоненты, образованной в адрон-ядерных взаимодействиях при энергиях в несколько ГэВ (ниже значения энергии Пф и выше этого значения), следует считать весьма актуальной задачей. При этом целесообразно изучить равным образом кумулятивную область, как и кинематическую область испускания протонов, в которой заведомо доминируют другие процессы.

Как уже отмечалось, в переходной области существенную роль играют процессы и явления, которые хотя и обсуждаются давно, но тем не менее до сих пор экспериментально недостаточно изучены. В частности, испускание назад протонов и других легких частиц, образованных в протон-ядерных соударениях, наблюдалось уже в интервале значений энергии первичных протонов $600 \div 800$ МэВ. Для объяснения наличия высокоэнергетической части спектра протонов, запрещенной кинематикой свободных нуклон-нуклонных столкновений, используются различные по своей природе и взаимно противоречивые представления: концепция квазидвухчастичного скейлинга, флуктонная модель, модель скоррелированных кластеров, статистическая модель, в которой предполагается, что высокоэнергетические нуклоны испускаются статисти-

чески равновесной, в среднем, четырехнуклонной ядерной подсистемой. Надежда на прояснение создавшейся ситуации связана с измерением поляризации и двухчастичных корреляций. Поэтому актуальным является вопрос об исследовании корреляции испускаемых протонов и π -мезонов (нейтральных и заряженных). Такие корреляции могут быть к тому же ценным источником сведений о структуре атомных ядер на уровне нуклонов как квазичастиц ядерной материи. Актуальной является также задача об экспериментальной оценке импульсного распределения внутриядерных нуклонов, в особенности тяжелых ядер, для которых соответствующая информация очень скудна. Следует подчеркнуть, что проблема ферми-движения как одна из фундаментальных проблем "классической" ядерной физики, представляет и вполне самостоятельный интерес.

Целью данной работы является систематическое изучение характеристик протонов промежуточных энергий ($30 \div 150$) МэВ и π -мезонов (заряженных и нейтральных), испускаемых во взаимодействиях протонов и π -мезонов с ядрами ксенона при импульсах 2,3 ГэВ/с и 9 ГэВ/с соответственно. В случае протонной компоненты исследованы: распределение по множественности, энергетические и угловые спектры, зависимость энергетических распределений от множественности и углов эмиссии протонов в полном угловом интервале. Отдельно проанализированы квазидвухчастичные взаимодействия с целью извлечения информации о фермиевском движении периферических нуклонов ядра мишени. Изучены характеристики π^0 -мезонов: множественность и коэффициент неупругости, а также корреляции между множественностью π^0 -мезонов, π^\pm -мезонов и протонов.

Научная новизна состоит в том, что:

1. Подробно изучены энергетические распределения протонов, испускаемых в pXe - и πXe - взаимодействиях при всех значениях множественности, в полном интервале углов эмиссии этих протонов. Эксклюзивное исследование протонной компоненты проведено для реакции pXe при энергии налетающих протонов 1,6 ГэВ, которая ниже значения энергии Пф ядер, и для реакции πXe при энергии 9 ГэВ, которая заметно выше этого значения.

2. В рамках статистического подхода выполнен анализ квазидвухчастичных взаимодействий π^- -мезонов с ядрами ксенона и получена оценка импульсного распределения периферических нуклонов ядра мишени.

3. Впервые изучены корреляции между множественностями π^0 -мезонов, π^\pm -мезонов и протонов. Проведен анализ явления поглощения π^0 -мезонов в ядре ксенона и дана оценка максимальной доли поглощенных π^0 -мезонов.

4. Получены распределения по множественности заряженных частиц в столкновениях протонов и π^- -мезонов с ядром ксенона и проведен анализ этих распределений в рамках различных модельных представлений.

Практическая и научная ценность диссертации состоит в следующем:

1. Полученная информация об энергетической и угловой зависимости спектров протонов, испускаемых в $p\text{Xe}$ и $\pi^-\text{Xe}$ взаимодействиях в полном угловом интервале, и, в частности, в области углов, запрещенных кинематикой свободных адрон-нуклонных столкновений, может быть использована для выделения нуклонов, испускаемых в адрон-(ядро)-ядерных взаимодействиях в кумулятивной области, а также для проверки ряда моделей.

2. Статистическое описание характеристик протонов, испускаемых в $p\text{Xe}$ и $\pi^-\text{Xe}$ -взаимодействиях, согласуется на уровне достоверности $\sim 0,7$ с аналогичными данными, оцениваемыми по каскадно-испарительной модели (КИМ). Это обстоятельство дает возможность существенно упростить подход к изучению протонной компоненты, особенно в прикладном и методическом аспектах, а также использовать в некоторых вариантах КИМ простую параметризацию зависимости дважды дифференциального топологического сечения образования протонов, $d^2b(k)/dT \cdot d\cos\theta$, от множественности k , кинетической энергии T и угла θ испускания протонов.

3. Полученная на основе анализа квазидвухчастичных $\pi^+p(\text{Xe})$ взаимодействий информация об импульсном распределении периферических нуклонов тяжелого ядра ($A = 131$, $Z = 54$) весьма существенна при изучении адрон-(ядро)-ядерных взаимодействий при релятивистских энергиях. Вид функции распределения вероятности квазидвухчастичных взаимодействий от параметра соударения τ качественно согласуется с зависимостью от τ квадрата модуля радиальной волновой функции ядра $R_{ijn}(r)$ при $n = 1$.

4. Разработан простой метод определения энергии и углов эмиссии заряженных частиц, испускаемых в адрон-ядерных взаимодействиях, регистрируемых в ксеноновых пузырьковых камерах. Этот метод дает возможность быстро и практически без потери точности получить статистически значимую экспериментальную информацию, не прибегая к сложным полуавтоматическим измерительным устройствам. Кроме этого, разработанный метод приводит к значительному выигрышу во времени измерений (примерно в 3 + 4 раза).

5. В результате исследования характеристик продольного развития электронно-фотонных ливней (ЭЛ) получено распределение средних ионизационных потерь ливневых электронов вдоль оси лавины. Экспериментальное распределение аппроксимировано простой аналитической функцией, которая была использована при определении энергии гамма-квантов (ГК) в 26-литровой ксеноновой пузырьковой камере (КПК) в чаще всего встречающихся на практике условиях, когда ливни неполностью развиваются внутри регистрирующего объема детектора. Полученная формула может найти применение и в ряде других детекторов гамма-излучения в области высоких энергий.

На защиту выносятся:

1. Единый подход к описанию энергетических спектров протонов с энергией (30 ÷ 150) МэВ, испускаемых в $p\text{Xe}$ - и $\pi^-\text{Xe}$ -взаимодействиях при 2,3 ГэВ/с и 9 ГэВ/с соответственно, и, в частности, зависимость этих спектров от множественности и угла эмиссии протонов, в пределах полного телесного угла.

2. Описание угловых распределений протонов из реакций $p\text{Xe}$ при 2,3 ГэВ/с и $\pi^-\text{Xe}$ при 9 ГэВ/с и зависимость этих спектров от множественности протонов.

3. Исследование корреляций частоты эмиссии протонов и π^- -мезонов (заряженных и нейтральных).

4. Параметризация дважды дифференциального топологического сечения образования протонов в реакциях $p\text{Xe}$ при 2,3 ГэВ/с и $\pi^-\text{Xe}$ при 9 ГэВ/с как функции частоты, угла эмиссии протонов и их энергии.

5. Статистическая оценка импульсного распределения периферических нуклонов ядра ксенона.

6. Параметризация распределений по множественности заряженных частиц и оценка доли квазисвободных взаимодействий в реакциях $p\text{Xe}$ при 2,3 ГэВ/с и $\pi^-\text{Xe}$ при 9 ГэВ/с.

7. Распределения по множественности и коэффициенту неупругости π^0 -мезонов, рожденных в $p\text{Xe}$ - и $\pi^-\text{Xe}$ -взаимодействиях при 2,3 ГэВ/с и 9 ГэВ/с соответственно, а также зависимость среднего значения коэффициента неупругости от множественности заряженных частиц.

8. Корреляция между множественностью нейтральных и заряженных пионов, образованных в $\pi^-\text{Xe}$ -взаимодействиях при 9 ГэВ/с.

9. Планиметрический метод определения длин пробегов и углов эмиссии заряженных частиц, а также длин конверсии, потенциальных длин развития и углов испускания ГК в КПК.

10. Метод восстановления суммарных ионизационных потерь ливневых электронов в ЭЛ, инициированных ГК больших энергий в КПК небольших размеров.

Апробация. В основу диссертации положено 13 работ, опубликованных в 1977-1984 г.г. в журналах Ядерная физика, Изв. АН СССР (сер. физ.) и в виде препринтов ОИЯИ. Полученные автором и при его участии результаты, включенные в диссертацию, неоднократно докладывались на семинарах ЛВЭ и ЛВТА ОИЯИ, в Варшавском техническом университете. Были также представлены на XXII Международной конференции по физике высоких энергий в Лейпциге (1984 г.).

Объем работ. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Содержит 143 страницы машинописного текста, 21 рисунок, 17 таблиц и библиографии из 123 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В первой главе описана 26-литровая ксенонная пузырьковая камера ЛВЭ ОИЯИ, стереофотографии которой были использованы в настоящей диссертации. Камера облучалась на синхрофазотроне ОИЯИ в пучках π^- -мезонов с импульсом 9 ГэВ/с и протонов с импульсом 2,3 ГэВ/с. Приведены основные технические и термодинамические характеристики этого прибора. Более подробно обсуждены те свойства камеры, которые имели существенное значение при решении поставленной в данной работе задачи. КПК является уникальным 4π -детектором ПК с энергией выше нескольких МэВ. Энергию этих ПК можно определить с точностью $\sim 20\%$. Эффективность их регистрации, в среднем, не ниже 85%. 26 л. КПК - детектор типа 4π для протонов промежуточных энергий (30 - 150) МэВ. Точность измерения энергии протонов $\sim 3 + 5\%$. Описана процедура восстановления пространственной картины случаев ядерных взаимодействий, регистрируемых на стереоснимках камеры. Приведены критерии отбора событий и основные методы идентификации частиц (протонов и π^- -мезонов) в 26 л. КПК. Особое внимание уделено разработанному автором планиметрическому методу измерения углов эмиссии протонов и ПК, длины пробега протонов и длин конверсии ПК^{1,2/}. Кратко изложена методика восстановления суммарных ионизационных потерь в ЭМЛ, создаваемых ПК в жидком ксеноне^{3,4/}.

Во второй главе приведена общая информация об экспериментальном материале. В результате просмотра ~ 22000 стереоснимков КПК отобрано 608 случаев p Хе взаимодействий при 2,3 ГэВ/с и 2066 случаев π^- Хе взаимодействий при 9 ГэВ/с. Выполнены измерения кинетической энергии и углов эмиссии 1308 протонов и 306 ПК в реакциях, вызванных протонами. Аналогичные данные для реакции π^- Хе составляют 5675 протонов и 1251 ПК. Описана структура численного

анализа экспериментальной информации, выполненного с помощью ЭВМ ODRA- 1305 (ВТУ Варшава), СКС-6500 и ЕС-1060 (ОИЯИ).

В третьей главе изложены результаты исследования множественного образования протонов промежуточных энергий (30 - 150 МэВ) в столкновениях p Хе при 2,3 ГэВ/с и π^- Хе при 9 ГэВ/с. Проведен анализ распределений по множественности^{5,6/}, а также угловых^{6,7/} и энергетических спектров протонов^{6,8,9/}, испускаемых в пределах полного телесного угла. Подобраны простые параметризации этих распределений. В случае энергетических и угловых спектров они совпадают на уровне достоверности $\geq 0,7$ с аналогичными формулами других авторов. Отдельно проанализирована область испускания нуклонов назад (далее: кумулятивная область - КО). На рис. 1 продемонстрированы энергетические спектры протонов, испускаемых в КО в реакции π^- Хе при 9 ГэВ/с. Показано, что в изучаемых реакциях характер распределений протонов по множественности k , кинетической энергии T и углу θ эмиссии протонов, испускаемых в КО, такой же, как и при $\cos \theta \geq 0$. Исследуется зависимость "температуры" T_0^* энергетических спектров от множественности и углов эмиссии. На рис. 2 показана зависимость "температуры" T_0^* от угла испускания протонов в полном угловом интервале. Там же приведены значения параметра T_0^* для реакции π^- Хе при 2,3 ГэВ/с и π^- Хе при 3,5 ГэВ/с. Установлено, что в КО, в области ПЭ (π^- Хе при 9 ГэВ), $T_0 \approx 40$ МэВ с точностью $\sim 10\%$ и не зависит ни от k , ни от θ , в то время как при $\cos \theta > 0$ зависимость $T_0^* = T_0^*(\cos \theta)$ существенна. При энергии иницирующих взаимодействие адронов ниже области ПЭ (p Хе при 1,6 ГэВ) "температура" T_0 проявляет зависимость от k и θ также и в КО. Получено единое статистическое описание дважды дифференциального эффективного сечения эмиссии протонов, испускаемых во взаимодействиях p Хе при 2,3 ГэВ/с и π^- Хе при 9 ГэВ/с:

$$\begin{aligned} \frac{1}{6} \cdot \frac{d^2 \delta(k)}{dT \cdot d \cos \theta} &= D \cdot f_1(k) \cdot f_2(T/k) \cdot f_3(\cos \theta / T, k) \\ &= D \cdot k^\alpha \cdot \exp(-k^2 / 2\lambda^2) \cdot \exp(-T / T_0) \cdot \exp\{[ak + (c + bk) \cdot T] \cdot \cos \theta\} \end{aligned}$$

Установлено, что эта формула справедлива с точностью $\sim 12\%$ для первичных пионов и нуклонов, сталкивающихся с достаточно тяжелыми ядрами ($A \geq 12$) в области ПЭ ядра-мишени.

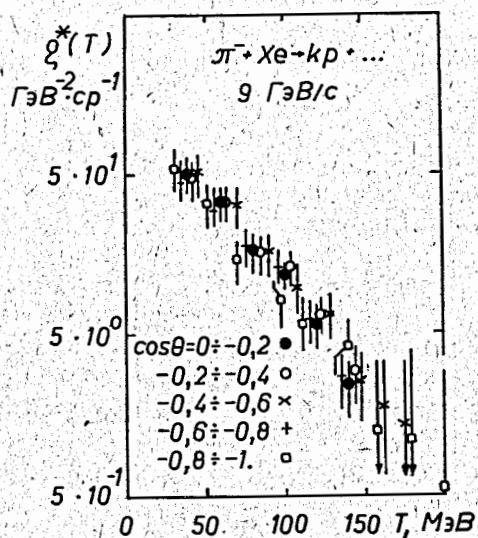
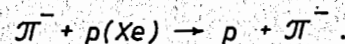


Рис. 1.
Энергетический спектр протонов, испускаемых в угловом интервале $\cos\theta < 0$ в реакции $\pi^- + \text{Xe} \rightarrow kp + \dots$ при 9 ГэВ/с.

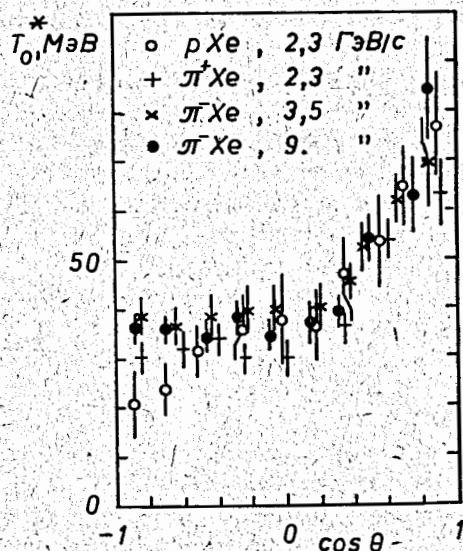
В четвертой главе исследуются квазидвухчастичные процессы в реакциях $\pi^- \text{Xe}$ при 9 ГэВ/с, в которых наблюдается в конечном состоянии релятивистский π^- -мезон и протон с импульсом 240 ± 700 МэВ/с. Такие взаимодействия можно интерпретировать с большой вероятностью как происходящие на квазисвободном протоне ядра-мишени, без существенного вклада вторичных процессов, т.е.



Эти взаимодействия локализованы по параметру соударения, главным образом в периферической области ядерной мишени. Следовательно, в рамках импульсного приближения с плоскими волнами наблюдаемые протоны содержат информацию о ферми-движении внутриядерных нуклонов. Используя двумерное распределение вторичных протонов по импульсу и углу их эмиссии, при помощи безмодельного статистического подхода получена оценка распределения по импульсам периферических нуклонов ядра ксенона. Проанализированы также и ранее имеющиеся экспериментальные данные, относящиеся к реакциям $\pi^+ \text{Xe}$ при 2,3 ГэВ/с и $\pi^- \text{Xe}$ при 3,5 ГэВ/с^{10/}. Приведены оценки среднего значения и дисперсии импульсного спектра внутриядерных нуклонов для ксенона.

В пятой главе приведены результаты исследования множественного образования заряженных и нейтральных π -мезонов в реакциях $p \text{Xe}$ при 2,3 ГэВ/с и $\pi^- \text{Xe}$ при 9 ГэВ/с. Распределения по множественности m всех заряженных частиц (это, в основном, π^\pm -мезоны и протоны) удовлетворительно аппроксимируются суммой двух пуассоновских распределений^{11/}: $p_1(m)$ и $p_2(m)$, где $p_1(m)$ описывает частоту эмиссии частиц, образованных в столкновениях налетающего адрона с квазисвободным нуклоном ядра-мишени, $p_2(m)$ — распределение по числу вторичных заряженных частиц в тех столкновениях, где существенную роль играют многократные внутриядерные взаимодействия. Вклад квазисвободных взаимодействий оценивается на $\sim 30\%$ и $\sim 50\%$ для реакций $p \text{Xe}$ при 2,3 ГэВ/с и $\pi^- \text{Xe}$ при 9 ГэВ/с, соответственно. Распределение по числу быстрых заряженных частиц (т.е. преимущественно π^\pm -мезонов со скоростью $\beta \geq 0,4$) можно описать распределением КНО в модифицированных переменных. Для обеих реакций приведены распределения по множественности π^0 -мезонов. Эти распределения нельзя описать ни функцией Пуассона, ни КНО. Однако в классе квазисвободных взаимодействий распределение Пуассона удовлетворительно отображает экспериментальные данные.

Рис. 2.
Зависимость наклона T_0^* экспоненты, аппроксимирующей энергетические спектры протонов от угла эмиссии. Приведены также аналогичные данные, относящиеся к реакциям $\pi^+ \text{Xe}$ при 2,3 ГэВ/с и $\pi^- \text{Xe}$ при 3,5 ГэВ/с.



Выполнен анализ корреляций частоты испускания нейтральных и быстрых заряженных пионов (далее: $(\pi^0 - \pi^\pm)$), и π^0 -мезонов и протонов: $(\pi^0 - p) / I_2$. В качестве критерия применен корреляционный параметр Мюллера f_2 . Показано, что для систем $(\pi^0 - \pi^\pm)$ f_2 не отличается от нуля. Для оценки $(\pi^0 - p)$ -корреляций изучена зависимость средней множественности $\langle n_0 \rangle$ эмиссии π^0 -мезонов от числа вторичных протонов, испускаемых вперед (kt) и назад (kt). Обнаружено, что величина $\langle n_0 \rangle$ практически не зависит от kt , в то время как при $kt \geq 5$, в случае π^-Xe взаимодействий при 9 ГэВ/с, она заметно уменьшается. Для выяснения причины такого поведения $\langle n_0 \rangle$ были исследованы энергетические спектры протонов при различных по числу n вторичных заряженных π -мезонах. Оказалось, что при $n \geq 6$ четко выделяются нерегулярности, соответствующие значениям кинетической энергии протонов $T = m_{\pi^0} c^2 / 2$ и $T = m_{\pi^0} c^2 / 3$. Сделан вывод о поглощении медленных π^0 -мезонов двух- и трехнуклонными кластерами внутри ядра. Получена оценка доли протонов, испускаемых в результате поглощения нейтральных пионов. В конце главы исследуются свойства парциального коэффициента неупругости K . Этот коэффициент K определен как доля энергии первичной частицы, затрачиваемой на образование π^0 -мезонов. Установлено, в полном согласии с результатами других авторов, что величина $K \leq 0,5$ в реакции, инициируемой протонами, и $K \leq 1$ в π^-Xe взаимодействиях при 9 ГэВ/с, в которых возможны процессы множественного образования π^0 -мезонов с перезарядкой первичного пиона, т.е. $\pi^- \rightarrow n_0 \pi^0$.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Основные результаты настоящей диссертации можно суммировать следующим образом:

1. Проведено детальное исследование множественности, угловых и энергетических спектров протонов промежуточных энергий (30 + 150) МэВ, испускаемых в пределах полного телесного угла во взаимодействиях π^-Xe при 9 ГэВ/с (т.е. в области ПФ ядра-мишени) и pXe при 2,3 ГэВ/с (т.е. ниже области ПФ). Установлено, что:

- распределение по числу k протонов удовлетворительно описывается функцией Гаусса, причем для протонов, испускаемых в КО, эти распределения не зависят, с точностью $\sim 10\%$, ни от энергии первичного адрона, инициирующего взаимодействие (pXe при 1,6 ГэВ и π^-Xe при 9 ГэВ), ни от природы этого адрона (протон и π^- -мезон);

- угловые распределения протонов описываются в пределах полного телесного угла зависимостью вида:

$$d\delta(k)/d\cos\theta \sim \exp[B(k)\cos\theta],$$

где параметр $B(k)$ уменьшается с увеличением числа k вторичных протонов;

- энергетические спектры протонов параметризуются экспоненциальной функцией

$$E d\delta/d^3p \sim \exp(-T/T_0)$$

независимо от числа k и углов θ эмиссии протонов. В области ПФ параметр T_0 не зависит с точностью $\sim 10\%$ ни от k , ни от θ в КО (реакция π^-Xe при 9 ГэВ), в то время как ниже энергии ПФ (реакция pXe при 1,6 ГэВ) эта зависимость существенна;

- можно параметризовать дважды дифференциальное топологическое сечение $\frac{1}{\delta} \frac{d\delta(k)}{dT d\cos\theta}$ образования протонов, испускаемых в столкновениях адронов с достаточно тяжелыми ядрами ($A \geq 12$), в области ПФ, простой зависимостью от множественности k , углов эмиссии θ и кинетической энергии T .

2. Проведен анализ квазидвухчастичных взаимодействий в столкновениях π^- -мезонов с ядрами ксенона и получена оценка функции распределения плотности вероятности импульсов периферических нуклонов ядра $^{131}_{54}Xe$. Это распределение удовлетворительно описывается функцией Гаусса.

3. Исследовано множественное образование заряженных и нейтральных π -мезонов в реакциях pXe при 2,3 ГэВ/с и π^-Xe при 9 ГэВ/с. Основные результаты таковы:

- распределение по множественности быстрых ($\beta \geq 0,4$) заряженных пионов можно описать функцией КНО с модифицированными переменными;
- распределение по множественности вторичных заряженных частиц (т.е. протонов и π^\pm -мезонов) удовлетворительно объясняет модель простой суперпозиции квазисвободных взаимодействий и многочастичных внутриядерных столкновений;
- распределение по множественности π^0 -мезонов, рожденных в квазисвободных взаимодействиях, отображает функция Пуассона;
- частоты испускания нейтральных и быстрых заряженных пионов не скоррелированы;
- зависимость среднего числа быстрых заряженных частиц от числа протонов указывает на то, что ниже энергии ПФ быстрые частицы

образуются, в основном, в первом акте столкновения первичного адрона в ядре-мишени. В области ПФ вклад от вторичных процессов существен;

- получено указание на то, что часть протонов, образованных в π^- -Хе взаимодействиях при 9 ГэВ/с, испускается вследствие поглощения медленных π^0 -мезонов двух- и трехнуклонными внутриядерными кластерами.

4. Разработан простой планиметрический метод определения углов эмиссии и длин пробегов заряженных частиц, а также углов эмиссии и длин конверсии ТК, регистрируемых на снимках с ксеноновых пузырьковых камер. Этот метод позволяет ускорить в 3 + 4 раза процедуру измерений, практически без потерь в точности.

5. Разработан метод восстановления суммарных ионизационных потерь ливневых электронов в ЭФЛ инициированных ТК высоких энергий в ксеноновых пузырьковых камерах небольших размеров.

6. Полученные экспериментальные данные дают возможность более всесторонне и глубже увидеть картину адрон-ядерных взаимодействий, особенно в аспекте анализа более сложных ядро-ядерных реакций в аналогичном энергетическом интервале, а также при поиске нетривиальных ядерных эффектов в гетерофазной области.

Работы, положенные в основу диссертации:

1. Мулас Э., Охрименко Л.С., Словинский Б. Простой метод определения кинетической энергии протонов в ксеноновой пузырьковой камере. - ОИЯИ, IO-80-612, Дубна, 1980, с. 5.
2. Мулас Э., Охрименко Л.С., Словинский Б. Простой метод определения энергии и углов эмиссии протонов, регистрируемых в пузырьковых камерах, наполненных тяжелыми жидкостями. - ОИЯИ, P10-82-690, Дубна, 1982, с. 6.
3. Охрименко Л.С., Словинский Б., Стругальский Э., Абросимов А.Т., Илина А.Н., Мулас Э., Чай В. Продольное развитие электронно-фотонных ливней, вызванных гамма-квантами с энергией $E_\gamma = 875-2625$ МэВ в жидком ксеноне. - ОИЯИ, P1-11980, Дубна, 1978, с. II.
4. Słowiński B., Czaj W., Okhrimenko L.S., Bańcarek A., Mulas E., Redlicki B., Wiśniewski R. Phenomenological Description of the Spatial Distribution of Ionization Losses in Electromagnetic Showers Produced by Gamma-quanta with the Energy $E=60-3000$ MeV. - JINR, E1-84-418, Dubna, 1984, p.10.

5. Мулас Э., Словинский Б. Распределения по множественности протонов промежуточных энергий и быстрых заряженных частиц, испускаемых в столкновениях π^- -мезонов и протонов с атомными ядрами в интервале энергий 1,6 - 10,5 ГэВ. - ОИЯИ, P1-83-201, Дубна, 1983, с. 8.
6. Мулас Э., Словинский Б. Множественность, энергетические и угловые распределения протонов, испускаемых во взаимодействиях протонов и π^- -мезонов с атомными ядрами в интервале энергии 2-9 ГэВ. - ОИЯИ, P1-84-801, Дубна, 1984, с. 8.
7. Словинский Б., Мулас Э., Вокал С. Свойства угловых распределений протонов, испускаемых во взаимодействиях π^- -мезонов и протонов с атомными ядрами в интервале энергий 1,6-9 ГэВ. - ОИЯИ, P1-83-202, Дубна, 1983, с. 7.
8. Словинский Б., Мулас Э. Энергетические спектры протонов, испускаемых во взаимодействиях $p + Xe \rightarrow p + \dots$ при 2,34 ГэВ/с и $\pi^- + Xe \rightarrow p + \dots$ при 9 ГэВ/с. - ЯФ, 1981, 34, с. 777-784.
9. Словинский Б., Мулас Э. Свойства энергетических распределений протонов, испускаемых во взаимодействиях $\pi^- + Xe \rightarrow kp + \dots$ при 9 ГэВ/с. - ОИЯИ, P1-81-616, Дубна, 1981, с. 8.
10. Словинский Б., Мулас Э., Охрименко Л.С. Экспериментальная оценка распределения по импульсам нуклонов в ядре ксенона. - ОИЯИ, P1-81-617, Дубна, 1981, с. 8.
11. Словинский Б., Томашевич А., Мулас Э., Чай В. Множественное образование частиц в столкновениях π^- -мезонов с ядрами ксенона и вопрос о времени формирования адронов. - ЯФ, 1979, 30, с. 173-177.
12. Мулас Э., Словинский Б. Корреляции частоты эмиссии π^0 -мезонов и протонов, испускаемых в столкновениях протонов и π^- -мезонов с ядрами ксенона в области энергии 2-9 ГэВ и вопрос о поглощении медленных π^0 -мезонов в ядре мишени. - ОИЯИ, P1-84-800, Дубна, 1984, с. 10.
13. Варданян И.Н., Демьянов А.И., Лютов С.И., Мулас Э., Мурзин В.С., Плюта Я., Пернт В., Сарнчева Л.И., Словинский Б., Смирнова Л.Н., Чай В. Коэффициенты неупругости в адронных взаимодействиях. - Изв. АН СССР сер. физ., 1980, 44, с. 486-490; ЯФ, 1980, 31, с. 1240-1245.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 июня 1985 года