



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ц - 979

2 - 12867

ЦЭРЭН  
Чойдогийн

НЕУПРУГИЕ АДРОН-ЯДЕРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ  
В ТЕОРИИ МНОГОКРАТНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра  
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени доктора физико-математических наук

Дубна 1979

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук И.М.Дремин

доктор физико-математических наук,  
профессор М.П.Рекало

доктор физико-математических наук,  
профессор Ю.А.Щербаков

Ведущее предприятие:

Ереванский физический институт

Автореферат диссертации разослан " " .....1979 г.

Защита диссертации состоится " " .....1980 года  
в ..... часов на заседании Специализированного совета  
Д-047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного  
института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

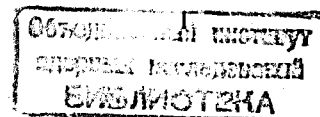
Ученый секретарь  
Специализированного совета  
кандидат физико-математических  
наук

Ю.А.Батусов

### Общая характеристика работы

Работа посвящена систематическому анализу процессов неупругих адрон-ядерных взаимодействий при высоких энергиях в рамках теории многократных столкновений. С единой точки зрения рассмотрены и проанализированы многие существенные характеристики неупругих соударений адронов с нуклонами и ядрами в широкой области энергий. На основе приближения многократного рассеяния налетающей частицы с внутриядерными нуклонами развит теоретический подход к описанию спектров быстрых частиц в разных областях кинематических переменных, а также основных характеристик процессов множественного рождения частиц в адрон-ядерных соударениях. В частности, проведены исследования по изучению средней множественности вторичных частиц в адрон-ядерных взаимодействиях, распределения их по быстротным переменным и энергиям налетающей частицы, скейлинговых свойств распределения по числу рожденных (вторичных) частиц, корреляций быстрых и медленных частиц и, наконец, инклюзивных спектров лидирующих и вторичных частиц в процессах с большими поперечными импульсами. Работа содержит сопоставление конкретных расчетов, проведенных на основе обобщения теории многократных столкновений с многочисленными экспериментальными данными различных групп.

Развита теория процессов двойной перезарядки мезонов на нуклонах и ядрах при высоких энергиях и предложен для описания этих реакций так называемый треугольный механизм.



Рассмотрены основные следствия развитого подхода и рекомендации к возможной постановке будущих экспериментов с целью проверки предположений, заложенных в основу теории двойной перезарядки мезонов на нуклонах и ядрах.

Актуальность проблемы. Исследование взаимодействия адронов высоких энергий с ядрами обусловлено надеждой на получение новых сведений как о структуре ядра и механизме ядерных реакций, так и о свойствах элементарных частиц и динамике сильных взаимодействий.

Возросший в последние годы интерес к этой проблеме стимулирован созданием мощных ускорителей. К настоящему времени накоплена обширная и разнообразная экспериментальная информация в этой области физики высоких энергий. Естественно, что по мере появления экспериментальных фактов предпринимаются многочисленные попытки дать теоретическую интерпретацию с целью извлечения содержащейся в них физической информации. Все эти попытки, в основном, носят полуфеноменологический модельный характер и, как правило, претендуют на описание вполне ограниченного круга данных.

В связи с этим представляет большой интерес теоретический анализ неупругих адрон-ядерных взаимодействий в едином подходе на основе современных данных о свойствах адрон-нуклонного рассеяния.

Наиболее развитым и широко используемым для интерпретации экспериментальных данных методом исследования является теория многократных столкновений. Существующие экспериментальные сведения указывают на то, что частица, сталкиваясь с ядром, испытывает кратные соударения с внутриядерными нуклонами. Об этом свидетельствует убедительное описание, в рамках теории многократных столкновений, экспериментальных данных об упругом и квазиупругом рассеянии, а также о полных сечениях адрон-ядерных взаимодействий.

Поэтому совершенно естественны усилия, которые направляются на развитие и обобщение этой теоретической схемы на более сложные процессы.

Для того чтобы получить более надежные сведения о механизме ядерных реакций при высоких энергиях, необходимо рассмотреть с единой точки зрения как спектры лидирующих (сохранившихся) адронов в инклюзивных реакциях, так и характеристики вторичных частиц, рожденных в адрон-ядерных столкновениях.

Особый интерес среди некогерентных реакций представляют глубоконеупругие адрон-ядерные процессы, существенное понимание которых может пролить свет на аномально сильную  $A$ -зависимость сечения реакций с большими поперечными импульсами  $P_{\perp}$  и на проявление роли последовательных столкновений высокой кратности.

Огромное значение имеют для анализа таких процессов появившиеся недавно экспериментальные данные, полученные на чистых ядерных мишенях, и данные о рождении в адрон-ядерных взаимодействиях частиц и струй.

Тесно связанный с приближением многократных столкновений обобщенный подход в состоянии описывать основные черты множественного образования частиц в адрон-ядерных соударениях, наблюдаемые экспериментально. На его основе можно получить важную информацию о динамике сильных взаимодействий и свойствах элементарных частиц.

Существующие экспериментальные данные о полных сечениях двойной перезарядки мезонов на ядрах при средних и высоких энергиях получили качественное описание в рамках приближения многократных последовательных соударений. Ввиду важности этого явления для понимания природы изменения электрического заряда или странного квантового числа пионов и каонов на противоположный знак при их взаимодействии с ядерным веществом возникает необходимость более детального изучения данного процесса.

Задача осмысления и количественного описания многочисленных экспериментальных фактов в области неупругих адрон-ядерных столкновений является важной и актуальной для понимания механизма ядерных реакций при высоких энергиях.

Цели и задачи исследования. Целью работы является изучение процессов неупругих адрон-ядерных взаимодействий в рамках теории многократных столкновений. Основными задачами исследования являются:

- построение теоретической схемы, которая способна описывать в едином подходе широкий круг экспериментальных данных;
- обобщение теории многократных столкновений на процессы неупругих взаимодействий адронов с ядрами при высоких энергиях;
- интерпретация с единой точки зрения экспериментальных данных как о спектре лидирующей частицы в неупругих адрон-ядерных соударениях, так и о характеристиках вторичных частиц, рожденных в адрон-ядерных взаимодействиях;

- выявление эффекта многократного перерасеяния адронов на внутриядерных нуклонах в широкой области энергий, угла регистрации, при различных значениях потери импульса налетающей частицы в актах последовательных столкновений и в зависимости от атомного номера ядра-мишени;

- определение, при достигнутой точности экспериментальных данных, относительных вкладов разных кратностей, а также выяснение роли упругих и неупругих некогерентных перерасеяний в различных кинематических областях;

- анализ спектров как лидирующих, так и вторичных частиц в инклюзивных процессах с большими поперечными импульсами;

- описание корреляций ливневых и медленных частиц, рожденных в адрон-ядерных взаимодействиях;

- развитие теории двойной перезарядки мезонов на нуклонах и ядрах при высоких энергиях.

#### Научная новизна и значимость проведенной работы

1. На основе обобщения теории многократных столкновений разработана теоретическая схема описания неупругих адрон-ядерных взаимодействий в едином подходе.
2. Впервые в рамках теории многократных перерасеяний рассмотрены спектры лидирующих и вторичных частиц в инклюзивных реакциях при больших передачах импульсов.
3. Определены относительные вклады столкновений разных кратностей и выяснена роль упругих и неупругих некогерентных перерасеяний в различных областях кинематических переменных в зависимости от атомного номера ядра-мишени.
4. Указана необходимость учета конкретных условий постановки экспериментов и специфики обработки измерений средних значений поперечных импульсов и коэффициентов неупругости в адрон-ядерных взаимодействиях при сравнении теоретических расчетов с экспериментальными данными.
5. Как слабая  $A$ -зависимость одних величин, так и сильная  $A$ -зависимость других характеристик в адрон-ядерных взаимодействиях получили удовлетворительное описание в рамках теории многократных столкновений.
6. Впервые описан " $\sqrt{s}$ -скейлинг" в адрон-ядерных соударениях, обнаруженный экспериментально.

7. Отмечено, что величина смещения центра быстрой распределений в адрон-ядерных взаимодействиях проявляет  $\sqrt{s}$ -скейлинговую зависимость.
8. Проведен феноменологический анализ процессов двойной перезарядки  $\bar{U}$  и  $K$  мезонов на нуклонах и ядрах при высоких энергиях, и предложен механизм описания этих реакций.
9. Основные результаты получены в аналитическом виде и приводят к самосогласованной картине кратных взаимодействий налетающей частицы с нуклонами ядра, а согласно численных расчетов с экспериментальными данными достигнуто без введения дополнительных параметров.

Практическая ценность. Обобщение теории многократных столкновений на процессы неупругих некогерентных взаимодействий адронов с ядрами является новым и интересным направлением в физике высоких энергий.

Полученные результаты могут быть использованы для описания экспериментальных данных о неупругих адрон-ядерных столкновениях в широкой области энергий. На основе этого подхода можно извлекать из экспериментальных данных некоторые важные сведения о механизме ядерных реакций и об адрон-нуклонном рассеянии при высоких энергиях.

Эта модель может также применяться при планировании и анализе новых экспериментов по изучению неупругих адрон-ядерных соударений.

Сопоставление результатов расчетов с новыми экспериментальными данными при более высоких энергиях позволит установить границы применимости теории многократных столкновений.

Предлагаемая модель двойной перезарядки мезонов на нуклонах и ядрах может дать существенную информацию о механизме протекания таких экзотических процессов и о величинах различных вкладов в сечение этих реакций.

Апробация работы. Результаты, полученные в работе, опубликованы в журнале "Ядерная физика", в препринтах и сообщениях ОИЯИ, а также в материалах УП Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра (Цюрих, 1977), УШ Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра (Ванкувер, 1979). Работы, вошедшие в диссертацию, докладывались на семинарах Лаборатории ядерных проблем и Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, приложения и библиографии. Диссертация содержит 50 рисунков и 10 таблиц.

### Краткое содержание диссертации

Во введении дается краткий обзор современного теоретического и экспериментального положения в исследовании адрон-ядерных взаимодействий при высоких энергиях, а также излагается краткое содержание диссертации.

Первая глава посвящена изложению общего формализма теории многократных столкновений для описания спектров лидирующих частиц в адрон-ядерных взаимодействиях. На основе этого подхода интерпретируются экспериментальные данные о характеристиках лидирующих частиц в неупругих адрон-ядерных соударениях при высоких энергиях. До недавнего времени считалось, что налетающий адрон в результате его неупругого взаимодействия с нуклонами ядра исчезает, и одновременно появляются другие новые частицы. Однако экспериментальная информация говорит в пользу того, что адрон, испытавший многократные столкновения с внутриядерными нуклонами, сохраняет свою природу, т.е. указывает на существование эффекта лидирования. Только в последние годы появились некоторые данные о свойствах и роли лидирующих частиц в адрон-ядерных взаимодействиях. Надежного теоретического анализа этих данных пока нет.

В разделе 1.1 сформулированы основные приближения модели многократных столкновений и рассмотрены некоторые важные особенности энергетических спектров частиц, испытавших многократные соударения.

В разделе 1.2 в рамках теории многократных столкновений получены формулы для описания спектров лидирующих частиц в адрон-ядерных взаимодействиях. Подробно описано применение этих формул для анализа спектров протонов в инклюзивных реакциях на ядрах при импульсе налетающих протонов 19 и 24 ГэВ/с.

В разделе 1.3 обобщена теория многократных перерасеяний на процессы неупругих некогерентных взаимодействий налетающих адронов с ядрами при высоких энергиях. Показано, что в предельных случаях малых и больших потерь энергии налетающей частицы в актах последовательных соударений ее с внутриядерными нуклонами можно просуммировать ряд по степеням кратных некогерентных столк-

новений для дифференциального сечения, и получить замкнутые выражения, связывающие инвариантные сечения реакций  $hA \rightarrow hX$  и  $hN \rightarrow hX$ .

В приложении даны некоторые свойства эффективных чисел  $N_n(6,A)$ .

Во второй главе проведен анализ экспериментальных данных, относящихся к лидирующим частицам в неупругих адрон-ядерных взаимодействиях.

В разделе 2.1 рассматриваются простейшие характеристики — коэффициенты неупругости и средние поперечные импульсы лидирующих частиц в адрон-ядерных соударениях.

Характерной особенностью этих двух величин является их слабая зависимость от атомного номера ядра-мишени. На основе проведенных расчетов показано, что существующие экспериментальные данные о коэффициентах неупругости и средних значениях поперечных импульсов, а также о зависимости их от атомного номера ядра удовлетворительно описываются в рамках теории многократных столкновений. Указано на то, что сравнение результатов вычислений с экспериментальными данными надо проводить с учетом конкретных условий постановки экспериментов и специфики процедуры обработки данных. Например, при определении величины коэффициента неупругости и среднего значения поперечного импульса лидирующих частиц необходимо учитывать распределения по доле энергии  $x$ , уносимой быстрой частицей, особенно вблизи  $x \sim 0$  и  $x \sim 1$ .

В разделе 2.2 проведен детальный анализ экспериментальных данных о спектрах протонов в реакциях  $pA \rightarrow pX$  для случая взаимодействия протонов с ядрами  $Al$ ,  $Si$ ,  $Pb$  при импульсе 19,2 ГэВ/с.

В отличие от экспериментальных данных, рассмотренных в разделе 1.2, в этом эксперименте спектры протонов измерены в более широком интервале  $0,5 < x < 0,8$  под углами  $\theta = 12,5; 20; 30; 40; 50; 60; 70$  мрад в лабораторной системе координат, т.е. в пределах передач импульсов  $0,1 < q < 1,2$  ГэВ/с.

Развитое в первой главе обобщение теории многократных столкновений используется для описания этих данных. В качестве входных величин взяты дифференциальное сечение упругого рассеяния протонов на нуклонах и данные о спектрах протонов в реакции  $pN \rightarrow pX$ . Учтено возможное нарушение фейнмановского скейлинга, поскольку в рассматриваемом случае энергии не являются асимптотически большими.

В пределах экспериментальных ошибок, которые составляют 15%, получено удовлетворительное согласие численных расчетов с данными в широком интервале потерь энергии налетающей частицы.

Подробно обсуждается вопрос о соотношениях между вкладами в спектр в результате столкновений различных типов и разных кратностей в зависимости от поперечного импульса и атомного номера ядра-мишени ( $A$ ). Показано, что основной вклад в спектр дают однократные неупругие столкновения, которые составляют от 30% до 80% в зависимости от  $x$ ,  $\theta$  и  $A$ .

На основе детального анализа отмечено, что вклады кратных столкновений, содержащие упругие перерасеяния, убывают с ростом поперечного импульса  $P_{\perp}$  быстрее, чем вклады от столкновений той же кратности, но содержащие только неупругие перерасеяния. Приведены количественные расчеты, указывающие на то, что при достаточно малых значениях  $x$  в области больших значений поперечного импульса вклады упругих некогерентных перерасеяний становятся пренебрежимо малыми. На рис. 1а в качестве иллюстрации представлены результаты теоретических расчетов для случая взаимодействия протонов с ядром алюминия при различных углах регистрации в сравнении с экспериментальными данными. Численные результаты парциальных сечений  $d\sigma^{(\ell, K)}/d\Omega dp$ , соответствующих разным кратностям упругих ( $K$ ) и неупругих ( $\ell$ ) столкновений и их вклад в суммарное сечение в сравнении с данными изображены на рис. 1б.

В разделе 2.3 проведен анализ экспериментальных данных о спектрах протонов в реакции  $pA \rightarrow pX$ , где  $A = Be, Ti, W$  при энергии налетающих протонов 300 ГэВ под углом 77 мрад. в лабораторной системе координат в интервале поперечных импульсов вторичных протонов  $P_{\perp} = (0,7 + 7,0)$  ГэВ/с, что соответствует значениям  $x = 0,03 + 0,3$ .

Подробно рассмотрена зависимость вкладов столкновений различной кратности от поперечного импульса и атомного номера. Показано, что относительный вклад в спектр вследствие  $n$ -кратного столкновения определяется величинами эффективных чисел  $N_n(\beta, A)$ , и с ростом  $P_{\perp}$  начинают доминировать вклады членов, соответствующих столкновениям высокой кратности. В рамках теории многократных перерасеяний дана интерпретация сильной  $A$ -зависимости инвариантных сечений лидирующей частицы в процессах типа  $pA \rightarrow pX$  (см. рис. 2).

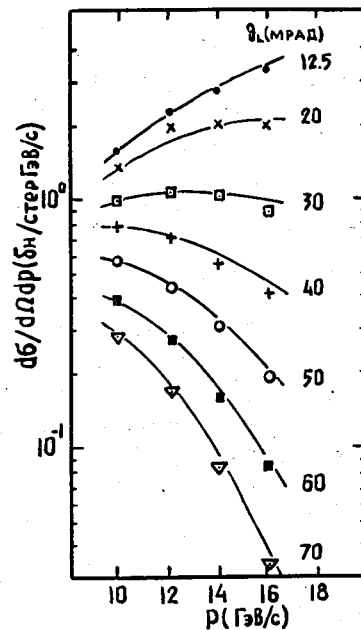


Рис. 1а. Импульсное распределение протонов во взаимодействии протонов с импульсом 19,2 ГэВ/с с ядром алюминия. Экспериментальные данные Дж. Аллаби и др.

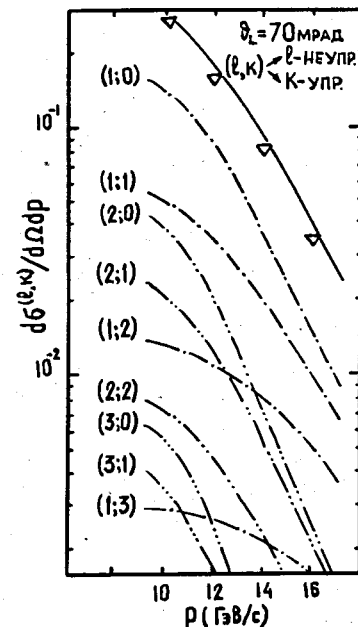


Рис. 1б. Вклады столкновений разных кратностей в спектр протонов при столкновении протонов с импульсом 19,2 ГэВ/с с ядром алюминия.

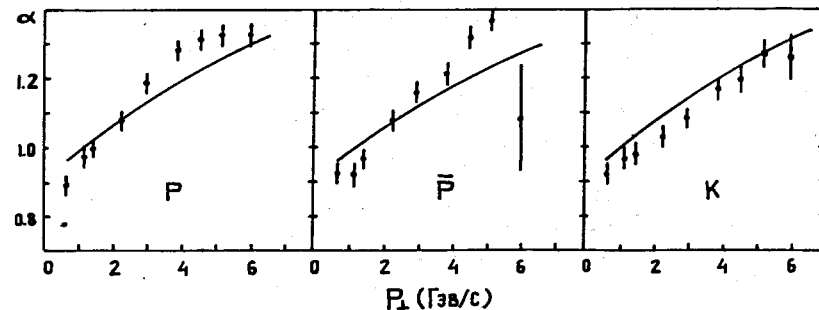


Рис. 2. Эффективный показатель  $A$ -зависимости инклюзивных сечений протонов, антипротонов и каонов, рожденных в реакциях протонов с импульсом 300 ГэВ/с с ядрами  $Ti$  и  $W$ .

В третьей главе рассмотрены процессы множественного рождения частиц во взаимодействиях частиц с ядрами как результат кратных неупругих столкновений налетающего адрона с внутриядерными нуклонами.

Предложен метод расчета флуктуаций потери энергий налетающей частицы в актах последовательных соударений с нуклонами ядра. Указано на чувствительность характеристик множественного рождения частиц к модели ядерной плотности.

В кратком введении в разделе 3.1 обсуждаются приближения, которые используются в дальнейших расчетах.

В разделе 3.2 вычислена средняя множественность вторичных релятивистских частиц в адрон-ядерных взаимодействиях и подробно обсуждены ее зависимости от энергии, атомного номера ядра-мишени и от типа налетающих частиц. Известно, что коэффициент мультипликации  $R_A$  в пределах экспериментальных ошибок зависит только от среднего числа столкновений  $\bar{N}$ , т.е. имеет место "N-скейлинг". Теория многократных перерассеяний не предсказывает строгого "N-скейлинга", однако численные значения  $R_A$  для различных типов налетающих частиц близки между собой (см. рис. 3).

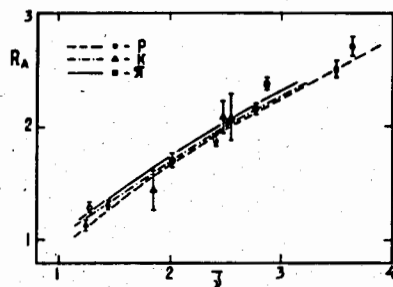


Рис. 3. Коэффициент мультипликации для разных налетающих частиц в зависимости от среднего числа столкновений  $\bar{N}$ .

Отмечено, что величина  $R_A$  существенно уменьшается при сравнительно слабом изменении с энергией средней множественности вторичных частиц в адрон-нуклонных взаимодействиях.

В разделе 3.3 исследуется влияние различных параметризаций на среднюю множественность рожденных в адрон-ядерных соударениях

частиц. При этом учитываются флуктуации потерь энергии лидирующей частицы в последовательных столкновениях. Показано, что как степенная, так и логарифмическая зависимости от энергии хорошо описывают экспериментальные данные в широкой области энергий, и эти предсказания мало отличаются в области достигнутых ускорительных энергий.

Распределения вторичных релятивистских частиц по быстротным переменным рассматриваются в разделе 3.4. Показано, что характерные особенности быстротных распределений вторичных частиц в адрон-ядерных взаимодействиях, установленные экспериментально, хорошо воспроизводятся в рамках теории многократных столкновений лидирующей частицы с внутриядерными нуклонами.

Получена количественная оценка смещения центра быстротного распределения в адрон-ядерных соударениях  $(dn/dy)_{hA}$  относительно центра соответствующего распределения в адрон-нуклонных взаимодействиях  $(dn/dy)_{hN}$ . Указано, что величина этого сдвига зависит только от переменной  $\bar{N}$ .

Показано, что из полученных результатов в этой главе независимо от параметризации  $(dn/dy)_{hN}$  следует, что:

- а)  $R_y = (dn/dy)_{hA} / (dn/dy)_{hN} \rightarrow 1$  в области фрагментации пучка, т.е. при  $y \rightarrow y_{max}$ .
- б)  $R_y \rightarrow \bar{N}$  в области фрагментации мишени, т.е. при  $y \rightarrow y_{min}$ .

При этом отмечена необходимость учета вкладов, соответствующих лидирующим частицам, поскольку наблюдаемые распределения вторичных частиц по быстротам включают, помимо рожденных, также и сохранившиеся частицы.

В разделе 3.5 обсуждаются спектры вторичных частиц с большими поперечными импульсами в реакциях типа, рассмотренного в разделе 2.3. Вычислены эффективные показатели  $A$ -зависимости инклюзивных сечений антипротонов и  $K$ -мезонов в зависимости от поперечных импульсов. Показано, что модель кратных столкновений передает основной характер аномально сильной  $A$ -зависимости инвариантных сечений (см. рис. 2).

Четвертая глава посвящена обсуждению скейлинговых свойств множественных распределений адрон-ядерных взаимодействий. В разделе 4.1 изложено краткое введение, где указано на важность учета энергетической зависимости множественных характеристик адрон-нуклонных столкновений. Это утверждение демонстрируется на примере вычисления квадрата дисперсии в соударениях адронов с ядрами.

В разделе 4.2 рассмотрено соотношение между КНО функциями в адрон-нуклонных и адрон-ядерных взаимодействиях. Получена формула, связывающая КНО-функции в адрон-ядерных столкновениях с результирующим распределением по числу частиц вследствие взаимодействия налетающего адрона с  $\nu$ - нуклонами ядра. Показано, что вид КНО-функций в столкновениях адронов с ядрами слабо зависит от атомного номера ядра-мишени. С помощью этой формулы, используя КНО-функций адрон-нуклонных взаимодействий в параметризации Слэттери, можно, в принципе, вычислить КНО-функции адрон-ядерных соударений при любом конечном значении  $\nu$  в явном виде.

В разделе 4.3 исследуются нормированные моменты в адрон-ядерных взаимодействиях  $C_p^{hA}$  и отношение их к аналогичным величинам для адрон-нуклонных столкновений  $C_p^{hN}$ . Получены аналитические выражения для нормированных моментов порядка  $p = 2, 3, 4, 5$  и показано, что они не зависят от энергии налетающих частиц. Вычислены отношения  $C_p^{hA}/C_p^{hN}$  в зависимости от атомного номера ядра-мишени для трех типов налетающих адронов ( $\pi, K, p$ ) и при различных значениях коэффициентов неупругости во взаимодействиях адронов с нуклонами. Численные расчеты показали, что отклонение от единицы этих отношений растет с ростом порядка момента, однако остается либо небольшим, либо слабо зависящим от  $A$ .

Полученные в разделах 4.2 и 4.3 результаты подтверждают, что КНО функции в адрон-нуклонных и адрон-ядерных столкновениях различаются незначительно.

В разделе 4.4 подробно рассматривается влияние флуктуаций потерь энергий лидирующей частицы в актах последовательных перераспределений на скейлинговые свойства множественных распределений в адрон-ядерных соударениях. Пояснение дается на примере двухкратного взаимодействия налетающей частицы с нуклонами ядра. Для более детальной проверки предсказаний модели многократных столкновений (или модели каскада лидирующей частицы, как обычно называют в литературе) интересно было бы экспериментально измерить величины  $C_p^{(2)}$ , отвечающие определенной кратности столкновений лидирующей частицы с нуклонами ядра. Эта мысль подробно обсуждается в разделе 4.5, где рассмотрен вопрос о выполнении "частного" КНО-скейлинга. На основе проведенного анализа сделан вывод об определенных преимуществах изучения адрон-ядерных взаимодействий, где нарушение "частного" КНО-скейлинга ожидается на уровне 10% во втором и третьем нормированных моментах распределений.

В пятой главе теория многократных столкновений применяется для описания корреляций ливневых и медленных частиц в адрон-ядерных взаимодействиях.

В разделе 5.1 изложена основная экспериментальная ситуация по исследованию медленных вторичных частиц, рожденных в адрон-ядерных соударениях.

В разделе 5.2 обсуждается корреляция  $S$  и  $g$ -частиц для процессов взаимодействия адронов с легкой компонентой фотоэмульсии. Рассмотрено распределение по числу  $g$ -частиц и рассчитаны величины  $R_A$  и нормированных моментов  $C_p^{hA}$  ( $p = 2, 3, 4, 5$ ) в зависимости от числа  $g$ -частиц ( $N_g$ ). С помощью полученных аналитических выражений исследуются, при фиксированном значении  $N_g$ , смещение центра быстрой распределений, величина  $R_y(N_g)$  и отношение  $R_y(N_g)/R_y$  в области фрагментации мишени.

В разделе 5.3 обсуждаются все перечисленные в предыдущем разделе характеристики для процессов взаимодействия налетающих протонов с тяжелой компонентой фотоэмульсии. Сравнение теоретических расчетов в рамках теории многократных столкновений всех упомянутых в разделах 5.2 и 5.3 величин с экспериментальными значениями дает удовлетворительное согласие.

В разделе 5.4 рассматриваются процессы с большими поперечными импульсами и обсуждается возможная постановка экспериментов, в которых можно было бы изучать события, отвечающие только большим кратностям неупругого взаимодействия адронов с нуклонами ядра-мишени, не прибегая к идентификации нуклонов отдачи.

Шестая глава посвящена развитию теории двойной перезарядки мезонов на нуклонах и ядрах при высоких энергиях.

В разделе 6.1 изложено современное состояние экспериментальных и теоретических исследований по двойной перезарядке  $\pi$  и  $K$ -мезонов на нуклонах и ядрах при высоких энергиях.

В разделе 6.2 рассмотрена реакция двойной перезарядки пионов на нуклонах, для описания которой предложен так называемый треугольный механизм. Подробно рассчитаны различные вклады в инвариантное сечение этого процесса (как зависящие, так и не зависящие от энергии). Полученные теоретические расчеты при импульсах 2,69; 3,25; 8 и 16 ГэВ/с дают удовлетворительное согласие с экспериментальными значениями.

На основании проведенных расчетов и сравнения их с экспериментальными данными сделан вывод о том, что доминирует вклад в



инвариантное сечение от рождения резонансов  $\rho$ ,  $\omega$ ,  $\eta$ , а вклады от точек ветвления в плоскости комплексного момента незначительны.

Реакции с двойным изменением странности рассеиваемых частиц пока еще слабо изучены экспериментально, что, по-видимому, объясняется малостью их сечения. Тем не менее, существующие данные поставили ряд вопросов, на которые пока нет определенного ответа.

Процессы с двойной передачей странности  $K$ -мезонов подробно рассмотрены в разделе 6.3. Для вычисления сечения этой реакции предложена модель, аналогичная треугольному механизму, использованному в предыдущем разделе. С помощью этой модели проведены вычисления различных вкладов в сечение двойной перезарядки  $K$ -мезонов при высоких энергиях. Реакция двойной перезарядки пионов не дает точной информации о величине вклада ветвлений из-за большого фона от рождения мезонных резонансов. Однако для более детального исследования ветвлений процессы двойной перезарядки  $K$ -мезонов являются более подходящими, так как из-за большой массы  $K$ -мезонов резонансы  $S^*$ ,  $\varphi$ , ... не могут дать вклада в область  $x \sim 1$ , т.е. вклад ветвлений там должен наблюдаться в чистом виде.

В разделе 6.4 изучалась двойная перезарядка пионов на ядрах в инклюзивных реакциях при высоких энергиях. Для этого процесса обсуждаются два возможных механизма: двойная перезарядка на одном из нуклонов ядра и двухступенчатая однократная перезарядка на различных нуклонах ядра. Расчеты показали, что доминирует первый механизм. Даны предсказания для формы импульсных спектров, энергетической и  $t$ -зависимости инвариантных сечений.

В конце каждой главы изложены основные выводы, вытекающие из результатов, полученных в данной главе.

#### Основные результаты работы

I. Теория многократных столкновений обобщена на неупругие взаимодействия адронов с ядрами при высоких энергиях.

2. Разработана теоретическая схема, позволяющая описывать процессы неупругих адрон-ядерных соударений в едином подходе.

3. В рамках этого подхода рассмотрены спектры лидирующих и вторичных частиц в инклюзивных реакциях с большими поперечными импульсами.

4. На основе теории многократных столкновений проанализированы с единой точки зрения экспериментальные данные о спектрах налетающей частицы в неупругих адрон-ядерных соударениях и о характеристиках множественного образования частиц в адрон-ядерных взаимодействиях.

5. Дана интерпретация эффектам многократных перерассеяний адронов на нуклонах ядер в широкой области энергий и угла рассеяния при различных значениях  $x$  и в зависимости от атомного номера ядра.

6. Определены относительные вклады столкновений разных кратностей и роли упругих и неупругих некогерентных перерассеяний в различных кинематических областях и в зависимости от атомного номера ядра-мишени.

7. Показано, что в рамках теории многократных столкновений удается описать как слабую  $A$ -зависимость одних величин (коэффициенты неупругости и средние поперечные импульсы) адрон-ядерных взаимодействий, так и аномально сильную  $A$ -зависимость других характеристик, таких, как инклюзивные спектры лидирующих и вторичных частиц при больших значениях поперечных импульсов.

8. Показано, что экспериментальный результат, указывающий на полную независимость коэффициентов неупругости от атомного номера, обусловлен отбрасыванием событий с  $x < 0,3$ , что соответствует подавлению вклада от столкновений высокой кратности.

9. Предложена модификация модели каскада лидирующей частицы с учетом флуктуаций энергетических потерь лидирующей частицы в актах последовательных соударений ее с внутриядерными нуклонами. Указано на чувствительность характеристик множественного образования частиц в адрон-ядерных взаимодействиях к форме ядерной плотности.

10. Отмечено, что коэффициент мультипликации  $R_A$  слабо зависит как от энергии налетающей частицы, так и от вида параметризации средней множественности в адрон-нуклонных соударениях. Однако значения  $R_A$  сильно зависят от значений коэффициента неупругости во взаимодействиях адронов с нуклонами.

11. Из модели многократных перерассеяний в случае степенной зависимости средней множественности адрон-нуклонных столкновений следует, что численные величины  $R_A$  для разных сортов налетающих частиц при одном и том же  $\bar{v}$ , т.е. для разных значений  $A$ , соответствующих различным налетающим частицам с одинаковым значением  $\bar{v}$ , совпадают.

12. Учет флуктуаций энергетических потерь налетающей частицы и выбор для расчетов реалистических плотностей для ядерной материи приводит к уменьшению значений величин  $R_A$  и  $\bar{V}$ .

13. Теория многократных перерассеяний хорошо воспроизводит как энергетическую, так и  $A$ -зависимости быстрое распределений адрон-ядерных взаимодействий.

14. Получена формула для смещения центра быстрого распределения в адрон-ядерных соударениях относительно соответствующего распределения в адрон-нуклонных взаимодействиях. Результаты расчетов показывают, что с ростом  $A$  центр распределения смещается в сторону малых быстрых, а величина сдвига имеет "скейлинговое" поведение.

15. Из теории многократных столкновений независимо от параметризации  $(dn/dy)_{hN}$  следует, что а)  $R_y \rightarrow 1$  в области фрагментации пучка, б)  $R_y \rightarrow \bar{V}$  в области фрагментации мишени.

16. Получено соотношение, связывающее КНО-функции адрон-ядерных и адрон-нуклонных взаимодействий. Вид КНО-функций слабо зависит от атомного номера ядра-мишени.

17. Показано, что из условия выполнения КНО-скейлинга в адрон-нуклонных столкновениях и в предположении степенной зависимости от энергии средней множественности в адрон-нуклонных соударениях следует выполнение КНО-скейлинга в адрон-ядерных взаимодействиях.

18. Получены аналитические выражения для нормированных моментов  $C_p^{hA}$  ( $p = 2, 3, 4, 5$ ). Численные расчеты с помощью этих выражений показали, что величины  $C_p^{hA}$  мало отличаются от аналогичных величин  $C_p^{hN}$ .

19. В рамках теории многократных соударений описаны корреляции ливневых и медленных частиц, родившихся в адрон-ядерных взаимодействиях.

20. Проведен анализ реакций двойной перезарядки  $\pi$ - и  $K$ -мезонов на нуклонах и ядрах при высоких энергиях и предложен механизм описания таких процессов.

21. С помощью развитого подхода построена теория двойной перезарядки в инклюзивных реакциях. Предсказан ряд эффектов, которые можно наблюдать экспериментально.

## Публикации

1. С.Р.Геворкян, А.В.Тарасов, Ч.Цэрэн. Ядерная физика 15, 55 (1972)
2. Б.З.Копелиович, Ч.Цэрэн. Ядерная физика 26, 643 (1977)
3. Ч.Цэрэн. Ядерная физика 27, 231 (1978)
4. Ch. Tseren. Proceedings of 7th International Conference on High Energy Physics and Nuclear Structure, Zurich abstracts p.313 (1977)
5. G.B.Alaverdyan, A.S.Pak, A.V.Tarasov, Ch.Tseren. Preprint JINR E2-12535, Dubna (1979)
6. G.B.Alaverdyan, A.S.Pak, A.V.Tarasov, Ch.Tseren, V.V.Uzinsky Preprint JINR E2-12799, Dubna (1979)
7. G.B.Alaverdyan, A.V.Tarasov, Ch.Tseren, V.V.Uzinsky, A.S.Pak Proceedings of 8th International Conference on High Energy Physics and Nuclear Structure. Vancouver, Canada, p.176, (1979)
8. G.B.Alaverdyan, A.V.Tarasov, Ch.Tseren, V.V.Uzinsky, A.S.Pak Proceedings of 8th International Conference on High Energy Physics and Nuclear Structure, Vancouver, Canada, p.177, (1979)
9. Г.Б.Алавердян, З.Омбоо, А.С.Пак, В.В.Ужинский, Ч.Цэрэн. Сообщение ОИЯИ P2-12536, Дубна (1979)
10. Г.Б.Алавердян, З.Омбоо, А.С.Пак, В.В.Ужинский, Ч.Цэрэн. Сообщение ОИЯИ P2-12537, Дубна (1979)
11. Г.Б.Алавердян, З.Омбоо, В.В.Ужинский, Ч.Цэрэн. Сообщение ОИЯИ P2-12697, Дубна (1979)
12. З.Омбоо, В.В.Ужинский, Ч.Цэрэн. Сообщение ОИЯИ P2-12821, Дубна (1979)
13. G.B.Alaverdyan, A.S.Pak, A.V.Tarasov, Ch.Tseren, V.V.Uzinsky Preprint JINR E2-12822, Dubna (1979)
14. G.B.Alaverdyan, A.S.Pak, A.V.Tarasov, Ch.Tseren, V.V.Uzinsky Preprint JINR E2-12823, Dubna (1979)
15. G.B.Alaverdyan, A.S.Pak, A.V.Tarasov, Ch.Tseren, V.V.Uzinsky Preprint JINR E2-12825, Dubna (1979)

Рукопись поступила в издательский отдел  
16 октября 1979 года.