

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 539.172.1

М-55

1-85-392

МЕХТИЕВ

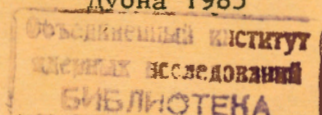
Рашид Рагим оглы

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОТОНОВ  
ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР P, D,  ${}^4\text{He}$   
И  ${}^{12}\text{C}$  С ЯДРАМИ ТАНТАЛА

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1985



Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований и в Институте физики АН АзССР

Научный руководитель

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник

Анатолий Павлович  
ГАСПАРЯН

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
профессор

Олиан Аремович  
БУДАГОВ

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник

Владимир Борисович  
ГАВРИЛОВ

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

Защита диссертации состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1985 г. в \_\_\_ час.  
на заседании Специализированного совета Д-047.01.02 при Лаборатории  
высоких энергий Объединенного института ядерных исследований,  
г. Дубна, Московской области, Лаборатория высоких энергий ОИЯИ,  
конференц-зал.

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1985 г. С диссертацией мож-  
но ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Ученый секретарь Специализированного совета

*М.Ф. Дихачев*

М.Ф. ДИХАЧЕВ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Исследования в области релятивистской ядерной физики в последние годы интенсивно развиваются. Это связано с попытками выяснения фундаментальных вопросов физики высоких энергий, строения атомного ядра и элементарных частиц. Столкновения ядер при высоких энергиях дают возможность проверить гипотезу о ядре как системе квазисвободных нуклонов. При передачах энергии-импульса значительно превышающих ферми-импульс - в первую очередь в процессах кумулятивного образования частиц и струй адронов с большими поперечными импульсами - в ядре начинают проявляться новые степени свободы - многокварковые конфигурации. Это создает предпосылки для наблюдения новых явлений коллективного типа, предсказываемых в ряде теоретических моделей. Для их проверки необходимы экспериментальные данные по различным корреляционным характеристикам вторичных частиц. Неплохим методом выявления новых, нетривиальных процессов является сравнение с расчетами, выполненными в рамках моделей, которые не учитывают коллективных явлений. Такое сравнение поможет указать границы применимости теоретических моделей и позволит выявить наличие коллективных эффектов.

В ядро-ядерных взаимодействиях при высоких энергиях реализуются многонуклонные столкновения. Изменяя атомные веса сталкивающихся ядер, можно в широком интервале варьировать число участвующих во взаимодействии нуклонов. Исследование характеристик процесса множественного образования частиц в зависимости от числа участвующих во взаимодействии нуклонов - нового параметра в ядерной физике высоких энергий - является одной из актуальных задач релятивистской ядерной физики.

Цель работы состояла в экспериментальном изучении кумулятивного образования протонов во взаимодействиях протонов и легких релятивистских ядер с тяжелым ядром тантала в пропановой пузырьковой камере, исследовании корреляций между образованием  $\Upsilon^-$ -мезонов и протонов, испущенных в заднюю полусферу, изучении образования адронов с большими поперечными импульсами, разработке критериев отбора многонуклонных столкновений ядерных систем и исследовании характеристик многонуклонных столкновений в зависимости от числа протонов, участвующих во взаимодействии.

**Новизна и научная ценность работы.** Впервые проведен анализ характеристик протонов, образованных в многонуклонных ядерных столкновениях в зависимости от кумулятивной переменной  $\beta^\circ$ , характеризующей порядок кумулятивности.

Также впервые исследованы корреляции между рождением  $\pi^-$ -мезонов и протонов, испущенных в заднюю полусферу во взаимодействиях протонов и легких релятивистских ядер с ядром тантала в интервале импульсов  $(2+10)$  ГэВ/с на нуклон.

Проведено систематическое исследование образования  $\pi^-$ -мезонов и протонов с большими поперечными импульсами в ядро-ядерных соударениях при 4,2 ГэВ/с на нуклон. Наблюдены новые, нетривиальные закономерности образования таких адронов.

При помощи теоретических расчетов в рамках каскадно-испарительной модели, впервые проведено детальное сравнение критериев отбора центральных многонуклонных ядро-ядерных соударений. Показано, в частности, что критерий отбора по большому числу провзаимодействовавших протонов соответствует выделению столкновений ядер при малом прицельном параметре. Исследован процесс образования адронов в зависимости от числа протонов, принявших участие во взаимодействии.

Экспериментальные данные, полученные в диссертации, и сравнение с теоретическими расчетами важны как для проверки уже существующих теоретических подходов, так и для разработки новых моделей множественного образования частиц при высоких энергиях.

**Практическая значимость.** Полученные в диссертации экспериментальные данные могут быть использованы при планировании новых исследований взаимодействий адронов и ядер с ядрами при высоких энергиях.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации были представлены на международных конференциях по физике высоких энергий и структуре ядра в Беркли (1980 г.), Версале (1981 г.), Париже (1982 г.), Ист-Лэнсинге (1982 г.), в Балатонфюреде (1983 г.), Гейдельберге (1984 г.), а также докладывались на сессиях отделения ядерной физики АН СССР в 1981-83 г.г., на семинарах ЛВЭ и совещаниях международного сотрудничества по исследованиям на двухметровой пропановой камере ЛВЭ ОИЯИ.

**Публикации.** Основные результаты диссертационной работы опубликованы в журналах "Ядерная физика", "Zeitschrift für Physik", в препринтах, сообщениях ОИЯИ и в материалах вышеупомянутых международных конференций.

**Объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

#### **Автор защищает:**

1. Прделанную работу по обработке и анализу взаимодействий протонов, ядер дейтерия, гелия и углерода с ядрами тантала на статистике около 10 тыс. взаимодействий в интервале импульсов  $(2+10)$  ГэВ/с на нуклон первичного ядра, а также результаты детального сравнения данных Стэ-взаимодействий при 4,2 ГэВ/с с предсказаниями каскадно-испарительной модели.

2. Результаты исследования кумулятивного образования протонов, а также адронов, сопровождающих испускание протона в заднюю полусферу в  $(p, d, He, C)$ -Та столкновениях при импульсах в интервале  $(2+10)$  ГэВ/с на нуклон.

3. Данные, полученные при исследовании образования  $\pi^-$ -мезонов и протонов с большими поперечными импульсами в  $(p, d, He, C)$ -Та взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с на нуклон, а также корреляционных характеристик частиц, сопровождающих испускание протона с большим поперечным импульсом в Стэ-взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с на нуклон.

4. Результаты анализ критериев отбора центральных многонуклонных столкновений ядерных систем и исследования многонуклонных ядерных соударений в зависимости от числа протонов, принявших участие во взаимодействии.

#### **СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во введении диссертации обоснована актуальность исследования ядро-ядерных столкновений при высоких энергиях и больших передатках энергии-импульса, а также сформулирована основная цель работы и ее краткое содержание.

**Первая глава** диссертационной работы посвящена методическим вопросам получения и обработки экспериментальных данных. Кратко описана экспериментальная установка - двухметровая пропановая пузырьковая камера ТПК-500 ЛВЭ ОИЯИ с внутренней мишенью из трех танталовых пластин, помещенная в магнитное поле напряженностью  $H = 15$  кГс.

Камера экспонировалась в пучках протонов и легких релятивистских ядер  $d$ ,  $^4He$  и  $^{12}C$  на синхротроне ЛВЭ ОИЯИ при импульсах протонов  $(2+10)$  ГэВ/с и первичных импульсах ядер  $(2+5)$  ГэВ/с на нуклон. В диссертации приводятся также основные характеристики системы фотографирования и пучковых ядер.

Просмотр стереоснимков проводился на просмотрных столах БПС-1 и БПС-2. Обработанные при просмотре события измерялись на полуавтоматах типа ПУОС и САМЕТ, работающих на линии с ЭВМ БЭСМ-4. Математическая обработка событий проводилась с помощью программы геометрической ре-

реконструкции ГЕОФИТ<sup>х</sup>) на ЭВМ СДС-6500. После проверки качества измерения и восстановления треков события записывались на ленту суммарных результатов. Точность определения параметров вторичных частиц оказалась равной:

$$\begin{aligned} \langle \Delta P/P \rangle &= (11,5 \pm 0,3)\% \\ \langle \Delta \text{tg} \alpha \rangle &= (0,0103 \pm 0,0002), \\ \langle \Delta \beta \rangle &= (0,0063 \pm 0,0003) \text{ рад}, \end{aligned}$$

где  $P$  - импульс частицы,  $\text{tg} \alpha$  - тангенс глубинного угла,  $\beta$  - азимутальный угол.

Получена величина примеси событий в пропане к событиям, отнесенным по визуальным критериям к взаимодействиям в танталовой пластинке. Эта примесь для различных первичных ядер составила (9-13)%. Предложен способ уменьшения такой примеси. Определены значения некоторых методических поправок к кинематическим характеристикам и множественности вторичных протонов. Для проведения корректного сравнения экспериментальных характеристик с теоретическими предсказаниями, создана система программ на ЭВМ СДС-6500 для учета влияния реальных условий эксперимента на спектры вторичных частиц, полученные с помощью каскадно-испарительной модели<sup>xx</sup>).

Во взаимодействиях первичных ядер углерода с ядрами тантала оценена примесь неидентифицированных ядерных фрагментов ( $d, t, {}^3\text{He}, {}^4\text{He}$ ) среди вторичных протонов.

Вторая глава диссертации посвящена исследованию кумулятивного образования протонов во взаимодействиях протонов и легких релятивистских ядер  $d, {}^4\text{He}$  и  ${}^{12}\text{C}$  с ядрами тантала при импульсах (2+10) ГэВ/с на нуклон.

В Стэ-соударениях при  $P_0 = 4,2$  ГэВ/с изучено образование протонов с импульсами  $P > 0,7$  ГэВ/с в зависимости от кумулятивной переменной  $\beta^\circ$ , обычно определяемой как

$$\beta^\circ = \frac{E - P_{||}}{m_p}, \quad (I)$$

где  $E$  - энергия вторичной частицы,  $P_{||}$  - ее продольный импульс,  $m_p$  - масса протона.

Показано, что в области  $\beta^\circ > 1$  не удается достичь количественного согласия предсказаний ДКМ с экспериментальными характеристиками протонов в зависимости от значения переменной  $\beta^\circ$ . Это видно из рис. 1, где представлены значения средних импульсов (а) и средних поперечных импульсов (б) протонов в зависимости от величины  $\beta^\circ$ .

х) Нгуен Дин Ты и др., ОИЯИ, I-5942, Дубна, 1971.

xx) Гудиме К.К., Тонеев В.Д., ОИЯИ, P2-10431, Дубна, 1977; ЯФ, 1978, т. 27, с. 658.

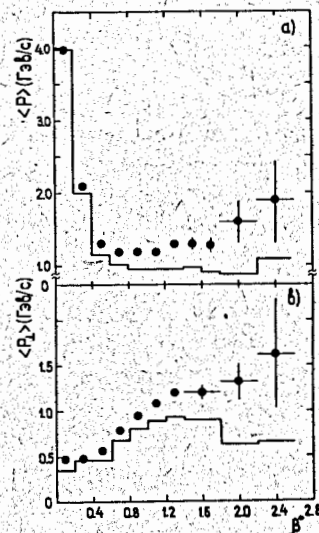


Рис. 1.

Характеристики протонов с  $P > 0,7$  ГэВ/с в зависимости от  $\beta^\circ$ : а) средние импульсы, б) средние поперечные импульсы. Гистограмма - расчет по каскадно-испарительной модели.

Предсказания ДКМ (гистограмма) удовлетворительно описывает область  $\beta^\circ < 0,8$ , но не согласуется с экспериментальными данными в кумулятивной области при  $\beta^\circ > 1$ .

В зависимости от наибольшего значения кумулятивной переменной  $\beta^\circ = \beta^\circ_{\text{max}}$  протона в событии были исследованы характеристики сопровождающих  $\Lambda^-$ -мезонов и протонов. Показано, что средние характеристики протонов "сопровождения" не меняются в области  $\beta^\circ > 1$ . Свойства  $\Lambda^-$ -мезонов, сопровождающих образование кумулятивного ( $\beta^\circ > 1$ ) протона, слабо меняются с ростом  $\beta^\circ$ , т.е. процессы испускания кумулятивного протона и образования  $\Lambda^-$ -мезонов в событии связаны слабо. Предсказания ДКМ в кумулятивной области  $\beta^\circ > 1$  для всех протонов с импульсом  $P > 0,7$  ГэВ/с и протонов, имеющих наибольшее значение  $\beta^\circ$  в событии, не согласуются с экспериментальными данными. С другой стороны, ДКМ удовлетворительно описывает средние характеристики частиц, сопровождающих вылет кумулятивного протона. Это говорит о том, что испускание протонов с большими порядками кумулятивности в Стэ-соударениях при 4,2 ГэВ/с нельзя объяснить только процессами перерассеяния и поглощения  $\Lambda^-$ -мезона нуклонной парой, учитываемыми в теоретических расчетах по ДКМ.

В неупругих взаимодействиях протонов с ядром тантала в интервале импульсов (2+10) ГэВ/с впервые наблюдается приведенная на рис. 2 зависимость среднего числа отрицательных частиц  $\langle n^- \rangle$  в событии от числа наблюдаемых протонов-назад  $n_p^-$ .

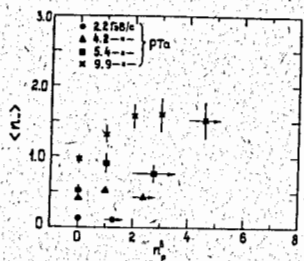


Рис. 2.

Зависимость средней множественности  $\pi^-$ -мезонов от числа протонов-назад во взаимодействиях рТа в интервале импульсов первичного протона  $(2+10)$  ГэВ/с.

Как видно, при импульсах первичных протонов  $P_0 > 5$  ГэВ/с в некоторой области значений  $n_p^b$  наблюдается корреляция между  $\langle n_{\pi^-} \rangle$  и  $n_p^b$ . Такое поведение корреляции можно качественно объяснить в рамках модели независимого взаимодействия нуклонов ядра-снаряда. При больших первичных импульсах пионы могут рождаться более чем в одном неупругом столкновении первичного протона с нуклонами ядра. В то же время увеличение кратности соударений приводит к росту выхода протонов-назад, что и обуславливает наличие корреляций.

Исследовано поведение средних множественностей отрицательных частиц и протонов, испущенных в заднюю полусферу во взаимодействиях р, d, He, C с ядром тантала при первичном импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон в зависимости от экспериментального значения провзаимодействовавших нуклонов ядра-снаряда,  $\langle \nu_i \rangle$ .

Наблюдена существенная зависимость средних множественностей  $\pi^-$ -мезонов и протонов-назад от атомного веса ядра-снаряда. Линейный рост средней множественности  $\pi^-$ -мезонов в зависимости от числа  $\langle \nu_i \rangle$  согласуется с моделью независимого взаимодействия нуклонов ядра-снаряда. Увеличение среднего числа протонов-назад, по всей видимости, связано с возрастанием числа провзаимодействовавших нуклонов ядра-мишени.

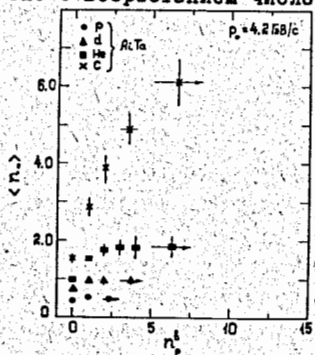


Рис. 3.

Зависимость средней множественности  $\pi^-$ -мезонов от числа протонов-назад при взаимодействии ядер р, d, He и C с импульсом на нуклон 4,2 ГэВ/с с ядром тантала.

На рис. 3 показано поведение средней множественности  $\pi^-$ -мезонов  $\langle n_{\pi^-} \rangle$  в событиях с разным числом  $n_p^b$  протонов-назад при взаимодействии ядер р, d, He и C с ядром тантала. Видно, что с увеличением размера ядра-снаряда появляется сначала слабая (в ата-взаимодействиях), затем усиливающаяся (в HeTa и Cта-взаимодействиях) корреляция между  $n_p^b$  и  $\langle n_{\pi^-} \rangle$ . Для отдельного налетающего ядра  $A_i$  количество провзаимодействовавших нуклонов  $\nu_i$  является случайной величиной, меняющейся от 1 до  $A_i$ . С увеличением  $\nu_i$  одновременно возрастает число рожденных  $\pi^-$ -мезонов и число выбитых назад нуклонов, т.е. имеет место корреляция между  $n_p^b$  и  $\langle n_{\pi^-} \rangle$ . При значениях  $\nu_i$ , близких к  $A_i$ , дальнейший рост  $n_p^b$  обеспечивается только увеличением кратности столкновений отдельных налетающих нуклонов снаряда, что не приводит, как было видно из данных по рТа-взаимодействиям при 4,2 ГэВ/с, к заметному росту  $\langle n_{\pi^-} \rangle$ . Поэтому при больших значениях  $n_p^b$  корреляция между  $n_p^b$  и  $\langle n_{\pi^-} \rangle$  ослабевает.

Во взаимодействиях релятивистских ядер дейтерия и углерода с танталом определена температура спектров по кинетической энергии вторичных протонов с углом вылета в лабораторной системе координат  $\vartheta \geq 100^\circ$  в разных угловых интервалах. В пределах экспериментальных ошибок температуры спектров (30-40) МэВ не сильно отличаются от значений, полученных ранее в адрон-ядерных взаимодействиях.

Было исследовано поведение инвариантной структурной функции

$$f(\vec{p}) = E \frac{d\sigma}{d\vec{p}} = \frac{E}{p^2} \frac{d\sigma}{dp d\Omega} = \frac{p - E \cos \vartheta}{p^2 m_p} \frac{d\sigma}{d\vartheta^2 d\Omega} \quad (2)$$

для протонов-назад в зависимости от кумулятивной переменной  $\beta^\circ$  в ата и ста столкновениях. Здесь  $E$  и  $p$  - энергия и импульс вторичной частицы,  $m_p$  - масса протона. Показано, что наклоны структурных функций протонов-назад в ата и ста-взаимодействиях и адрон-ядерных соударениях также примерно одинаковы.

Предсказания ДКМ без учета взаимодействия нуклонов в конечном состоянии не согласуются с экспериментальными данными. Учет слипания нуклонов улучшает согласие расчетов с экспериментом.

Третья глава диссертации посвящена изучению испускания частиц с большими поперечными импульсами во взаимодействиях ядер р, d, He и C с ядром тантала при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. Наблюдено образование  $\pi^-$ -мезонов и протонов с большими поперечными импульсами, превышающими кинематический предел для нуклон-нуклонных столкновений.

На рис. 4 приведено двумерное распределение протонов с импульсом  $P \geq 0,7$  ГэВ/с по поперечному импульсу и быстрой в Cта-взаимодействиях. Видно, что наблюдается значительное число протонов за границей кинематического предела.

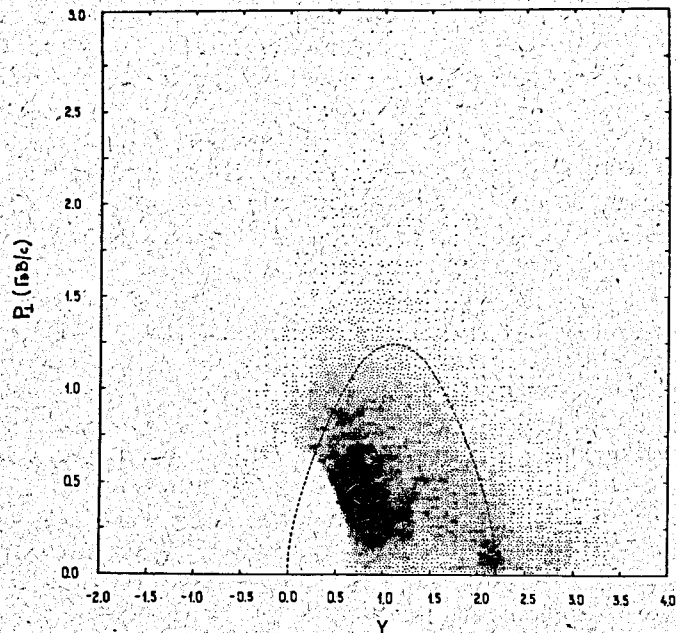


Рис. 4. Двумерное распределение протонов с импульсом  $P > 0,7$  ГэВ/с в зависимости от их поперечного импульса и быстроты в  $\alpha$ -взаимодействиях. Пунктир соответствует кинематическому пределу для NN-столкновений.

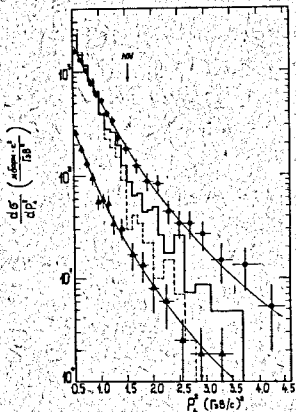


Рис. 5. Сечения выхода протонов в  $\alpha$ Та ( $\blacktriangle$ ) и  $\alpha$ Та ( $\bullet$ ) столкновениях в зависимости от квадрата поперечного импульса. Сплошной линией показана аппроксимация экспериментальных данных суммой двух экспонент. Гистограмма - предсказания каскадной модели для  $\alpha$ Та-взаимодействий.

На рис. 5 представлены сечения выхода протонов в зависимости от квадрата поперечного импульса протона. Стрелкой указан кинематический предел для нуклон-нуклонных столкновений. Экспериментальные данные для  $(\alpha, \text{He}, \text{C})$ -Та взаимодействий аппроксимировались зависимостью вида  $A \exp(-a P_T^2) + B \exp(-b P_T^2)$ . Для  $\alpha$ Та-столкновений экспериментальные точки аппроксимировались одной экспонентой.

Величины наклона первой экспоненты  $a \sim 3$  (ГэВ/с) $^{-2}$  для всех названных ядер в пределах ошибок совпадают. Такой наклон можно интерпретировать как проявление неупругих NN-взаимодействий.

На рис. 5 сплошной линией показан результат аппроксимации спектров в  $(\alpha, \text{C})$ -Та взаимодействиях.

Гистограммой показан расчет спектра протонов по квадрату поперечного импульса в  $\alpha$ Та-взаимодействиях в рамках ДКМ. Пунктирная гистограмма соответствует расчету без учета взаимодействия нуклонов в конечном состоянии, сплошная гистограмма - с учетом слипания нуклонов. Видно, что учет слипания позволяет лучше описать экспериментальные данные.

Показано, что протоны с большими поперечными импульсами преимущественно образуются в центральной области быстрот, вне области фрагментации ядер-снаряда и мишени. С ростом атомного веса ядра-снаряда увеличиваются средние значения быстроты вторичных протонов.

В эксперименте при различных ядро-ядерных взаимодействиях наблюдаются  $\chi^-$ -мезоны за кинематическим пределом NN-столкновений. Для увеличения статистики распределения  $\chi^-$ -мезонов по  $P_T^2$  во взаимодействиях  $\alpha, \text{He}$  и  $\text{C}$  с ядрами углерода и тантала были сложены вместе. На рис. 6 показан суммарный спектр  $\chi^-$ -мезонов с  $P_T^2 \geq 0,3$  (ГэВ/с) $^2$ . Гистограммой представлена сумма теоретических расчетов по модели ДКМ для  $\alpha$ Та-неупругих и  $\text{CC}$ -центральных взаимодействий. Гистограмма отнормирована на число  $\chi^-$ -мезонов в интервале  $0,3 \leq P_T^2 \leq 0,5$  (ГэВ/с) $^2$ . Стрелкой показан кинематический предел для NN-взаимодействий. Сплошной линией представлен результат аппроксимации в виде суммы двух экспонент. Параметры наклонов оказались равными:  $a = (7,14 \pm 1,53)$ (ГэВ/с) $^{-2}$ ,  $b = (2,45 \pm 0,56)$ (ГэВ/с) $^{-2}$ .

Из рис. 6 видно, что модель ДКМ не описывает поведения распределения по  $P_T^2$  в области  $P_T^2 \geq 0,5$  (ГэВ/с) $^2$ .

Распределение по  $P_T^2$  для протонов, находящихся за кинематическим пределом NN-столкновений аппроксимировалось функцией  $d\sigma/dP_T^2 = A \exp(-a P_T^2)$ .

Получены величины наклонов спектров:  
 $a = (1,40 \pm 0,10)$ (ГэВ/с) $^{-2}$  с  $\chi^2/\text{ст.св.} = 0,81$  для  $\alpha$ Та и  
 $a = (1,19 \pm 0,04)$ (ГэВ/с) $^{-2}$  с  $\chi^2/\text{ст.св.} = 1,4$  для  $\alpha$ Та-взаимодействий.

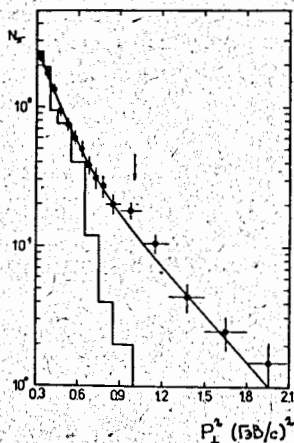


Рис. 6.

Инклюзивный суммарный спектр  $K^-$ -мезонов по квадрату поперечного импульса  $K^-$ -мезонов для взаимодействий  $d, He$  и  $C$  с ядрами углерода и тантала. Гистограммой показан результат расчета по модели ДКМ.

Такие малые значения параметра наклона можно интерпретировать как следствие образования протонов в процессах жестких соударений на малых расстояниях. Результаты расчета по ДКМ с учетом взаимодействия в конечном состоянии не согласуются с данными.

Как известно, для мягких процессов, которые преобладают в ядерном сечении,  $A$ -зависимость выхода вторичных частиц определяется размерами сталкивающихся объектов и может быть параметризована как  $A^\alpha$ , где  $\alpha < 1$ . В случае жестких столкновений, значения  $\alpha$  стремятся к единице, что свидетельствует о локальном характере взаимодействия.

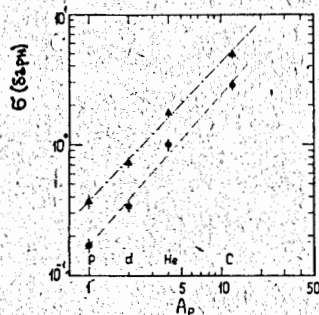


Рис. 7.

$A$ -зависимость сечения выхода протонов с  $P_1^2 = (0,5+1,0)(\text{ГэВ/с})^2$  -  $\blacktriangle$  и с  $P_1^2 \geq 1,0 (\text{ГэВ/с})^2$  -  $\bullet$ . Прямые линии - аппроксимация степенной зависимостью  $d\sigma/dP_1^2 \propto A^\alpha$ .

На рис. 7 приведена  $A$ -зависимость сечения выхода протонов с поперечными импульсами в интервалах  $P_1^2 = (0,5+1,0)(\text{ГэВ/с})^2$  и  $P_1^2 \geq 1,0 (\text{ГэВ/с})^2$ .

Линии соответствуют аппроксимации экспериментальных точек степенной зависимостью  $d\sigma/dP_1^2 \propto A^\alpha$ . Величины параметра  $\alpha$  оказались равными  $1,07 \pm 0,02$  и  $1,17 \pm 0,03$ , соответственно. Как видно, значения параметра  $\alpha$  близки к единице; с увеличением поперечного импульса протона  $A$ -зависимость становится круче.

В таблице I представлены значения средних множественностей протонов с  $P_1 \geq 1$  ГэВ/с и  $K^-$ -мезонов с  $P \geq 0,5$  ГэВ/с. Там же приводятся экспериментальные значения средних поперечных импульсов вторичных протонов с  $P_1 \geq 0,7$  ГэВ/с и  $K^-$ -мезонов, а также значения средних величин поперечных импульсов, рассчитанные в рамках ДКМ для  $STa$ -неупругих и  $STa$ -центральных взаимодействий.

Таблица I

Средние множественности протонов с  $P_1 \geq 1$  ГэВ/с и  $K^-$ -мезонов с  $P_1 \geq 0,5$  ГэВ/с, средние поперечные импульсы протонов с  $P_1 \geq 0,7$  ГэВ/с и  $K^-$ -мезонов в  $pTa$ ,  $dTa$ ,  $HeTa$ ,  $STa$  -неупругих и  $STa$  -центральных взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с на нуклон

$\langle n \rangle$ $\langle P_1 \rangle$	Тип взаимодействия	$pTa$	$dTa$	$HeTa$	$STa$	$STa$
						центральные
$\langle n_p \rangle$		$0,06 \pm$	$0,17 \pm$	$0,40 \pm$	$0,88 \pm$	$1,94 \pm$
$P_1 \geq 1$ ГэВ/с		0,02	0,01	0,01	0,04	0,08
$\langle n_{K^-} \rangle$		$0,05 \pm$	$0,08 \pm$	$0,13 \pm$	$0,26 \pm$	$0,54 \pm$
$P_1 \geq 0,5$ ГэВ/с		0,02	0,01	0,01	0,02	0,04
$\langle P_{1p} \rangle$ (ГэВ/с)	эксп.	$0,97 \pm$	$0,97 \pm$	$1,01 \pm$	$1,01 \pm$	$1,01 \pm$
	расч.	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>
$\langle P_{1K^-} \rangle$ (ГэВ/с)	эксп.	$0,240 \pm$	$0,239 \pm$	$0,244 \pm$	0,240	$0,237 \pm$
	расч.	<u>0,006</u>	<u>0,007</u>	<u>0,006</u>	<u>0,003</u>	<u>0,003</u>
					0,228	0,226

Как видно из таблицы I, средняя множественность адронов с большими поперечными импульсами растет с увеличением атомного номера ядра-снаряда, в то время как значения средних поперечных импульсов остаются примерно одинаковыми. Предсказания ДКМ для  $STa$  неупругих и  $STa$ -центральных взаимодействий дают значительно меньшие значения средних поперечных импульсов протонов с  $P_1 \geq 0,7$  ГэВ/с и  $K^-$ -мезонов.

В  $STa$  столкновениях исследовано поведение средних множественностей положительно заряженных частиц,  $K^-$ -мезонов и протонов с  $P_1^2 \geq$

$\geq 0,5$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> в зависимости от величины максимального квадрата поперечного импульса протона в событии.

Показано, что события с образованием протона с большим поперечным импульсом характеризуются большой множественностью заряженных частиц.

Были изучены азимутальные корреляции вторичных частиц в событиях с образованием протонов с большими поперечными импульсами. На рис. 8 приведено отношение (R) распределения по разности азимутальных углов  $\Delta\psi$  между выбранной частицей (триггер) и частицами сопровождения, полученного в эксперименте, к соответствующему распределению, рассчитанному по ДКМ. За триггерную частицу принималась любая частица в событии, имеющая значение поперечного импульса больше 1 ГэВ/с. На частицы сопровождения налагалось требование иметь значение поперечного импульса свыше 0,7 ГэВ/с и разность в пространственных углах вылета в л.с.к. между ними и триггерной частицей не более  $10^0$ .

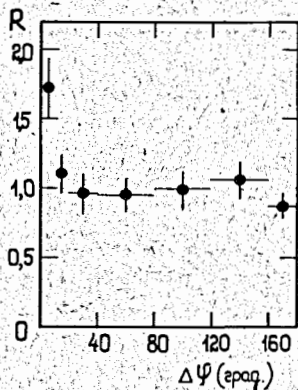


Рис. 8.

Отношение R распределения по разности азимутальных углов  $\Delta\psi$  между триггерной частицей и частицами сопровождения в эксперименте к соответствующему значению, рассчитанному по ДКМ.

Избыток малых значений  $\Delta\psi$  в эксперименте по сравнению с ДКМ указывает на ассоциативное испускание энергичных частиц по направлению вылета частицы с большим поперечным импульсом.

Четвертая глава диссертации посвящена отбору и исследованию свойств многонуклонных взаимодействий в зависимости от числа протонов, принявших участие во взаимодействии.

Степень "многонуклонности" каких-либо взаимодействий можно характеризовать единым параметром — средним числом нуклонов, участвующих во взаимодействии. Спектаторные фрагменты ядер при этом не рассматриваются. В нашем эксперименте число нуклонов, участвующих во взаимодействии, определялось из числа провзаимодействовавших протонов. Число протонов, вовлеченных во взаимодействие, определялось из следующего

выражения:

$$N_p = n_{ch} - 1,8 \cdot n_{\pi^-} - n_p^f - n_t^f, \quad (3)$$

где  $n_{ch}$  — полное число заряженных частиц,  $n_{\pi^-}$  — число  $\pi^-$ -мезонов,  $n_p^f$  и  $n_t^f$  — число фрагментов ядер, соответственно, снаряда и мишени. Множитель 1,8 учитывает избыток нейтронов в ядре тантала. Фрагментами ядра-снаряда считались положительно заряженные частицы с импульсом  $P \geq 3$  ГэВ/с и с углом испускания в  $\vartheta \leq 4^0$  относительно направления движения первичного ядра. Спектаторами ядра-мишени считались протоны, дейтроны, ядра трития и гелия с импульсом  $P \leq 0,3$  ГэВ/с на нуклон.

Проведено сравнительное изучение критериев отбора центральных многонуклонных столкновений на данных СтА-соударений при 4,2 ГэВ/с на нуклон. Изучение проводилось с использованием моделированных по ДКМ неупругих СтА-взаимодействий при той же первичной энергии.

Показано, что обычно применяемый критерий по малости полного стриппингового заряда является слишком слабым для отбора событий с малой величиной прицельного параметра.

Найдено, что хорошим условием для отбора многонуклонных ядерных соударений является, в частности, отбор центральных соударений по большому числу провзаимодействовавших протонов.

В таблице 2 представлены экспериментально определенные средние числа провзаимодействовавших протонов и соответствующие средние числа нуклонов, участвующих во взаимодействии,  $\langle N_{участ} \rangle$ , скорректированные на избыток нейтронов в ядре тантала. Для протонов-участников ошибки соответствуют статистическим флуктуациям, а для нуклонов — в ошибки, кроме этого, включены некоторые методические неопределенности.

Таблица 2

Среднее число провзаимодействовавших протонов,  $\langle N_p \rangle$ , и соответствующее среднее число нуклонов, принявших участие во взаимодействии,  $\langle N_{участ} \rangle$ . Значения  $\langle N_p \rangle_{расч.}$  рассчитаны с помощью ДКМ.

Тип взаимодействия	dTa	HeTa	СтА	СтА центральные
$\langle N_p \rangle$	$5,52^{\pm}$	$8,64^{\pm}$	$13,84^{\pm}$	$29,96^{\pm}$
	0,12	0,24	0,37	0,55
$\langle N_{участ} \rangle$	$11,2^{\pm}$	$17,4^{\pm}$	$28,5^{\pm}$	$61,4^{\pm}$
	0,3	0,5	0,8	1,2
$\langle N_p \rangle_{расч.}$	-	-	14,9	32,8



В таблице 2 также приведены средние числа протонов-участников, полученные с помощью ДКМ с учетом экспериментальных условий. Из таблицы видно, что наши экспериментальные данные позволяют выбрать классы событий с числом участвующих во взаимодействии нуклонов в широком интервале:  $N_{\text{участ.}} 10 \pm 60$ . Необходимо отметить, что во взаимодействиях с тяжелым ядром тантала, в число участвующих нуклонов входят и нуклоны, испущенные во вторичных каскадных взаимодействиях. Таблица 2 показывает, что рассчитанные по ДКМ значения среднего числа провзаимодействовавших протонов несколько превышают экспериментальные значения. По-видимому, модель ДКМ слегка завышает число каскадных перерасеяний для вторичных частиц.

В зависимости от числа провзаимодействовавших протонов исследовалось поведение множественности  $\mathcal{J}^-$ -мезонов и протонов с относительно большими  $P_{\perp}$ .

На рис. 9 приведена зависимость средней множественности протонов с  $P_{\perp} \geq 1$  ГэВ/с и  $\mathcal{J}^-$ -мезонов с  $P_{\perp} \geq 0,5$  ГэВ/с от среднего числа протонов, участвующих в  $d\text{Ta}$ ,  $\text{HeTa}$ ,  $\text{C}\text{Ta}$ -неупругих и  $\text{C}\text{Ta}$ -центральных столкновениях при 4,2 ГэВ/с на нуклон.

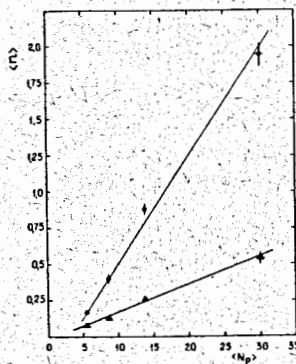


Рис. 9. Зависимость средней множественности протонов с  $P_{\perp} \geq 1$  ГэВ/с ( $\bullet$ ) и  $\mathcal{J}^-$ -мезонов с  $P_{\perp} \geq 0,5$  ГэВ/с ( $\blacktriangle$ ) от среднего числа протонов, участвующих в  $d\text{Ta}$ ,  $\text{HeTa}$ ,  $\text{C}\text{Ta}$ -неупругих и  $\text{C}\text{Ta}$ -центральных взаимодействиях.

Из рис. 9 видно, что величины средней множественности  $\mathcal{J}^-$ -мезонов с  $P_{\perp} \geq 0,5$  ГэВ/с растут пропорционально увеличению числа провзаимодействовавших протонов. Для средних множественностей протонов с  $P_{\perp} \geq 1$  ГэВ/с

также наблюдается линейная зависимость, но существенно сильнее.

В  $\text{C}\text{Ta}$ -взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с рассмотрена зависимость среднего суммарного поперечного импульса вторичных протонов с  $P > 0,7$  ГэВ/с и  $\mathcal{J}^-$ -мезонов в событии от среднего суммарного продольного импульса тех же частиц в системе центра масс сталкивающихся ядер. Экспериментальные данные сравнивались с предсказаниями ДКМ.

В таблице 3 представлены значения средних суммарных продольных и поперечных импульсов протонов с  $P > 0,7$  ГэВ/с и  $\mathcal{J}^-$ -мезонов во взаимодействиях разного типа, отобранных как по числу провзаимодействовав-

ших протонов,  $N_p$ , так и по полной поперечной энергии столкновения,  $E_{\perp}^X$ .

Таблица 3

Величины средних суммарных продольных и поперечных импульсов протонов с  $P > 0,7$  ГэВ/с и  $\mathcal{J}^-$ -мезонов в эксперименте и рассчитанные по ДКМ для событий разного типа

Тип события	$\langle P_{\perp}^* \rangle$ эксп.	$\langle P_{\perp} \rangle$ эксп.	$\langle P_{\perp}^* \rangle$ (ДКМ)	$\langle P_{\perp} \rangle$ (ДКМ)
Малонуклонное $N_p < 2 \cdot \langle N_p \rangle$	$0,486^{\pm}$ 0,010	$0,254^{\pm}$ 0,003	$0,435^{\pm}$ 0,003	$0,238^{\pm}$ 0,001
Многонуклонное $N_p > 2 \cdot \langle N_p \rangle$	$0,318^{\pm}$ 0,005	$0,306^{\pm}$ 0,003	$0,344^{\pm}$ 0,003	$0,251^{\pm}$ 0,002
Многонуклонное $E_{\perp} > 2 \cdot \langle E_{\perp} \rangle$	$0,318^{\pm}$ 0,008	$0,325^{\pm}$ 0,005	$0,334^{\pm}$ 0,003	$0,260^{\pm}$ 0,002

Предельные величины  $N_p$  и  $E_{\perp}$  для отбора многонуклонных столкновений выбирались равными удвоенным средним значениям соответствующих величин для всех неупругих  $\text{C}\text{Ta}$ -взаимодействий. Такой критерий отбора адекватен выделению событий с относительно малыми величинами прицельных параметров.

Таблица 3 показывает, что в эксперименте для многонуклонных событий наблюдается большая величина поперечной компоненты суммарного импульса вторичных частиц. Расчеты по ДКМ, даже для многонуклонных соударений, завышают величину продольной составляющей суммарного импульса, что связано с периферическим характером нуклон-нуклонных соударений, используемых в расчетах по каскадной модели. Наблюдаемое существенное отличие величин суммарных поперечных импульсов для центральных многонуклонных соударений в эксперименте и в модели ДКМ может свидетельствовать о наличии механизмов коллективного типа, которые не учитывались в модельных расчетах.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

I. С участием автора был получен и проанализирован большой экспериментальный материал по ядро-ядерным взаимодействиям в интервале импульсов  $(2+10)$  ГэВ/с на нуклон налетающего ядра - около 10 тыс. взаимодействий ядер  $p, d, \text{He}$ ,  $\text{C}$  с ядрами тантала. Проведено обширное сравнение экспериментальных данных  $\text{C}\text{Ta}$ -взаимодействий при 4,2 ГэВ/с с предсказаниями каскадно-испарительной модели.

$x)$   $E_{\perp} = \sum_{i=1}^{n_{\perp}} \sqrt{M_i^2 + P_{\perp i}^2} - M_i \delta$  где  $M_i$  и  $P_{\perp i}$  - масса и поперечный импульс  $i$ -ой вторичной частицы,  $\delta = 0$  или  $1$ , соответственно, для пионов или протонов.

2. Получен новый экспериментальный материал по кумулятивному образованию протонов во взаимодействиях протонов, ядер дейтерия, гелия и углероде с ядрами тантала при импульсах  $(2+10)$  ГэВ/с на нуклон.

3. Получены новые данные по образованию частиц с большими поперечными импульсами во взаимодействиях ядер  $p, d, He, C$  с ядрами тантала при импульсе  $4,2$  ГэВ/с на нуклон.

4. С помощью расчетов по каскадно-испарительной модели проведен детальный анализ критериев отбора центральных многонуклонных столкновений ядерных систем.

5. Впервые исследованы характеристики вторичных частиц в  $(d, He, C)$ -Ta неупругих и  $STa$ -центральных столкновениях в зависимости от числа протонов, принявших участие во взаимодействии.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Н. Ангелов, ..., Р. Р. Мехтиев и др. Некоторые методические вопросы, связанные с обработкой событий, образованных релятивистскими ядрами  $p, d, He, C$  в пропенной пузырьковой камере. ОИЯИ, I-12424, Дубна, 1979.
2. Н. Ангелов, ..., Р. Р. Мехтиев и др. Наблюдение корреляций между множественностями  $\Lambda^-$ -мезонов и протонов в неупругих взаимодействиях  $p, d, He$  и  $C$  с ядрами тантала в интервале импульсов  $(2+10)$  ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, PI-80-168, Дубна, 1980; ЯФ, 1980, т. 32, с. 1582.
3. N. Akhbabian, ..., R. R. Mekhtiev et al., Peripheral and Central nucleus-nucleus collisions at  $4.2$  GeV/c per nucleon. JINR, E1-82-510, Dubna, 1982; Zeitschrift für Physik, 1983, C16, p. 307.
4. Н. Ахэбабян, ..., Р. Р. Мехтиев и др. Наблюдение барионов с большими поперечными импульсами во взаимодействиях  $p, d, He$  и  $C$  с ядрами тантала при импульсе  $4,2$  ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, PI-82-535, Дубна, 1982; ЯФ, 1983, т. 37, с. 938.
5. А. П. Гаспарян, Р. Р. Мехтиев, М. И. Соловьев, В. Д. Тонеев. Ассоциативное образование частиц с большими поперечными импульсами в  $^{12}C^{181}Ta$  - взаимодействиях при  $P_0=4,2$  ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, PI-83-733, Дубна, 1983.
6. А. П. Гаспарян, И. А. Ивановская, Р. Р. Мехтиев. Характеристики протонов в зависимости от кумулятивной переменной в  $STa$ -столкновениях при  $4,2$  ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, PI-84-327, Дубна, 1984.
7. H. N. Agakishiev, ..., R. R. Mekhtiev et al., Investigation of correlation phenomena in nucleus-nucleus interactions at  $4,2$  GeV/c per nucleon. JINR, E1-84-448, Dubna, 1984.
8. А. П. Гаспарян, Р. Р. Мехтиев. Некоторые характеристики протонов, испущенных в заднюю полусферу, в  $dTa$  и  $STa$  - взаимодействиях при  $P_0=4,2$  ГэВ/с. ОИЯИ, PI-85-14, Дубна, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел

28 мая 1985 года.