



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-92-423

ГРИГАЛАШВИЛИ
Нугзар Сергеевич

УДК 539.126+539.171

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НЕУПРУГИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
И ВТОРИЧНЫХ СТРИППИНГОВЫХ ФРАГМЕНТОВ
В СТОЛКНОВЕНИЯХ ЛЕГКИХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР
С ЯДРАМИ УГЛЕРОДА И ТАНТАЛА
В ИНТЕРВАЛЕ ИМПУЛЬСОВ (2-5) ГэВ/с на нуклон

Специальность 01.04.16 - физика ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук

Дубна 1992

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований и в Институте физики высоких энергий Тбилисского государственного университета.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
профессор

ГЛАГОЛЕВ
Виктор Викторович

доктор физико-математических наук,
профессор

ГРАМЕНИЦКИЙ
Игорь Михайлович

доктор физико-математических наук,
профессор

СЛЕПЧЕНКО
Леонид Алексеевич

Ведущее научно-исследовательское учреждение - Научно-исследовательский институт ядерной физики Московского государственного университета.

Защита диссертации состоится _____ 1992 г.
в _____ часов на заседании специализированного совета Д-047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна Московской области, Лаборатория высоких энергий.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.
Автореферат разослан _____ 1992 г.

Ученый секретарь специализированного
совета

М.Ф. Лихачев
М.Ф. ЛИХАЧЕВ

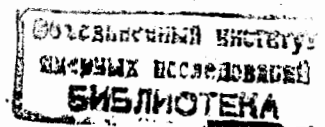
АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ.

С появлением интенсивных пучков релятивистских ядер на ускорителях резко возрос интерес к исследованию неупругих взаимодействий ядер с ядрами. Интенсивные моноэнергетические пучки релятивистских ядер, полученные на ускорителях, дали возможность использовать в экспериментах сложные установки, способные дать разнообразную информацию о механизме взаимодействия ядер с ядрами. Стало возможным детально изучить ядерное вещество и прохождение тяжелых ионов через ядерную материю.

С получением пучков релятивистских ядер появились фундаментальные теоретические предположения о механизме взаимодействия релятивистских ядер с ядрами. В частности, при столкновении ядер высоких энергий возможно появление коллективных процессов за счет ударного сжатия, приводящих к увеличению плотности ядерной материи. При этом возникают фундаментальные вопросы. Какие степени свободы появляются в ядре в зависимости от количества передаваемой энергии, из чего будет состоять ядерное вещество - из нуклонов, мезонов, кварков, возможен ли фазовый переход и т.д.

Столкновение ядер, движущихся с релятивистскими скоростями, а следовательно со скоростями, большими скорости звука в ядерном веществе, может сопровождаться коллективными движениями ядерного вещества. Возникающая при этом ударная волна может привести к значительному уплотнению ядерной материи и повлиять на динамику столкновения, что проявится в угловых и импульсных распределениях продуктов реакции. С этой точки зрения, прежде всего, целесообразно провести сравнительный анализ импульсных и угловых характеристик вторичных частиц, образованных в столкновениях ядер с ядрами, с соответствующими характеристиками вторичных частиц, образованных в нуклон-нуклонных и нуклон-ядерных взаимодействиях, или с предсказаниями теоретических моделей, в которых отсутствуют коллективные явления.

Изучение процессов множественного рождения частиц в столкновениях элементарных частиц с ядрами и ядер с ядрами при высоких энергиях и больших передачах импульса имеет важное значение для понимания механизма сильных взаимодействий и внутренней структуры ядра. Число вторичных частиц, образующихся в ядерных столкновениях, существенно растет как с ростом энергий налетающих ядер, так и с ростом атомных весов взаимодействующих ядер.



Поэтому при изучении процессов множественного рождения частиц в ядерных взаимодействиях при высоких энергиях удобно применять инклюзивный подход, при котором изучаются характеристики выделенного вида частиц с усреднением по всем другим частицам, образованным в данном процессе.

Для определения механизма ядро-ядерных взаимодействий важно знание таких величин, какими являются: числа нуклонов сталкивающихся ядер, принимающих участие во взаимодействиях, каким образом проявляются флуктуации в числе взаимодействующих нуклонов, в процессах, характеризующих ядро-ядерные взаимодействия в зависимости от налетающих энергий и атомных весов налетающего ядра и ядра-мишени.

Среди вопросов характеризующих ядро-ядерные взаимодействия, одним из существенных является знание сечений их взаимодействия. С помощью величин сечений взаимодействий можно оценить вклад различных процессов ядро-ядерных столкновений. Знание сечений взаимодействий важно для развития как ядерной физики, так и прикладных областей исследований.

Интересным представляется вопрос о исследовании характеристик вторичных многозарядных фрагментов налетающего ядра, образованных в ядро-ядерных взаимодействиях. Фрагменты, образованные в столкновениях ядер, могут быть возбужденными, что должно приводить к увеличению сечений их взаимодействий (к уменьшению среднего свободного пробега в веществе). Существует немало экспериментальных данных и теоретических работ, объясняющих возможность существования указанных фрагментов, т.н. "аномалонов", однако однозначного решения этой проблемы пока нет. Экспериментальное изучение свойств релятивистских многозарядных фрагментов налетающих ядер непосредственно после их образования является новым и интересным направлением исследований.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- разработка метода идентификации заряда релятивистских ядер в пропановой пузырьковой камере по ионизации и плотности δ -электронов на следе.

- определение сечений неупругих взаимодействий релятивистских ядер с ядрами в интервале налетающих импульсов (2-5) ГэВ/с на нуклон.

- определение чисел взаимодействующих нуклонов ядер-снарядов и измерение сечений выхода фрагментов налетающего ядра углерода с зарядами $1 \leq z \leq 6$.

- получение новых экспериментальных результатов по множественностям вторичных заряженных частиц, рожденных во взаимодействиях ядер с ядрами при различных импульсах в интервале (2-5) ГэВ/с на нуклон, изучение их импульсных и угловых характеристик и сравнение с предсказаниями теоретических моделей.

- поиск аномальных дейтронов с помощью магнитного спектрометра "Альфа" и аномальных фрагментов налетающего ядра углерода во взаимодействиях с пропаном. Изучение возможности снятия возбуждения многозарядными фрагментами с помощью излучения γ -квантов.

НОВИЗНА РАБОТЫ И НАУЧНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ:

- проведена калибровка метода идентификации заряда релятивистских ядер по плотности δ -электронов в пропановой пузырьковой камере.

- получены экспериментальные данные по сечениям неупругих взаимодействий протонов и ядер d, He, C, F и Mg с ядрами углерода и тантала в интервале импульсов (2-5) ГэВ/с на нуклон. Большинство этих данных было получено впервые. Дан обзор имеющихся экспериментально полученных сечений неупругих взаимодействий релятивистских ядер с ядрами и проведен анализ в рамках теоретических моделей.

- получены величины сечений выхода фрагментов ядра углерода с зарядами $1 \leq z \leq 6$ при его взаимодействии с пропаном и ядрами тантала.

- получены распределения по числу провзаимодействовавших нуклонов ядер-снарядов при неупругих столкновениях ядер d, He и C с ядрами тантала.

- впервые при регистрации в условиях 4π -геометрии получены данные по множественностям, угловым и импульсным спектрам вторичных заряженных частиц, рожденных во взаимодействиях релятивистских ядер p, d, He и C с ядрами углерода и тантала в интервале импульсов (2-5) ГэВ/с на нуклон. Исследована зависимость указанных характеристик от атомного веса ядра-снаряда и от величин импульсов пучкового ядра. Проведено сравнение полученных результатов с данными по нуклон-нуклонным взаимодействиям и с предсказаниями каскадной модели и модели многократного рассеяния.

- получены данные по поиску аномальных дейтронов с помощью магнитного спектрометра "Альфа" в пучке релятивистских ядер

гелия-3 при импульсе 10,8 ГэВ/с. Исследован выход дейтронов в реакции фрагментации гелия-3 в дейтрон на углеродной мишени в зависимости от ее толщины в угловом конусе с раствором 20 мрад. Определены сечения взаимодействия с углеродом ядер гелия-3 и дейтерия, а также сечения фрагментации.

- определены сечения вторичных многозарядных фрагментов углерода с пропаном. Полученные сечения сравниваются с сечениями ядер соответствующих зарядов в нормальных состояниях. Показано, что среди фрагментов с зарядом $z \neq 6$ присутствуют фрагменты, которые имеют увеличенное сечение взаимодействия (уменьшенный средний свободный пробег).

- исследуется возможность снятия возбуждения многозарядными фрагментами с помощью испускания γ -квантов. Определены характеристики γ -квантов, сопровождающих образование многозарядных фрагментов и определена доля γ -квантов, испущенных возбужденными многозарядными фрагментами.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ

Методическая разработка по идентификации заряда релятивистских ядер по плотности δ -электронов использовалась в дальнейших экспериментах, проводимых на 2-х метровой пропановой пузырьковой камере.

Результаты работы дают новый материал для апробации и развития феноменологических моделей множественных процессов и для дальнейшего развития теории сильных взаимодействий.

Экспериментальные данные диссертации могут быть использованы как при проектировании новых экспериментов по исследованию взаимодействий ядер с ядрами, так и смежных областях науки.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ И ПУБЛИКАЦИИ

Основные результаты и выводы диссертации докладывались и обсуждались на научных семинарах Лаборатории высоких энергий ОИЯИ и Института физики высоких энергий ТГУ, на сессиях Отделения АН СССР с 1979 года, на совещаниях по исследованиям на двух метровой пропановой камере ЛВЭ ОИЯИ, представлялись на международных конференциях по физике высоких энергий и структуре ядра в Токио (1979 г.), Ванкувере (1979 г.), Дрездене (1980.), Версале (1981 г.), Париже (1982 г.), Мичигане (1982 г.), Италии (1983 г.), Лейпциге (1984 г.), Гейдельберге (1984 г.), Мюнхене (1987 г.).

Основные результаты диссертации опубликованы в препринтах и

сообщениях ОИЯИ, в журналах "Ядерная физика", "Nuclear Physics" и "Zeitschrift für Physik", в трудах Тбилисского государственного университета и в материалах вышеупомянутых семинаров и конференций.

Список литературы приводится в конце автореферата.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Во введении дается обоснование актуальности изучаемой проблемы, сформулирована основная цель работы. Кратко охарактеризовано экспериментальное состояние изучаемых вопросов, приводится краткое содержание разделов диссертации.

В первой главе описываются методические особенности процесса получения и обработки экспериментальных данных.

Экспериментальный материал был получен с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры ТПК-500 ЛВЭ ОИЯИ с внутренней мишенью из трех танталовых пластин, помещенной в магнитном поле напряженностью $H \approx 15$ кГс.

Камера экспонировалась в пучках протонов и релятивистских ядер d, He и C на синхрофазатроне ЛВЭ ОИЯИ в интервале импульсов (2-5) ГэВ/с на нуклон. В диссертации приводятся основные характеристики камеры, магнитного поля, системы фотографирования и пучковых ядер.

Просмотр стереоснимков производился на просмотрных столах БПС-1, БПС-2 и столах УПС-80.

Отобранные при просмотре события измерялись на полуавтоматах типа ПУОС и САМЕТ, работающих на линии с ЭВМ. Математическая обработка событий проводилась по программе "ГЕОФИТ" на ЭВМ СДС-6500. Измеренные события записывались на ленту суммарных результатов (DST). Точность определения параметров вторичных частиц оказалась равной:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{P} &= (11,5 \pm 0,3) \% \\ \langle \Delta t \operatorname{tg} \alpha \rangle &= (0,103 \pm 0,002), \\ \langle \Delta \beta \rangle &= (0,0063 \pm 0,0022) \text{ рад.} \end{aligned}$$

где P - импульс частицы; $\operatorname{tg} \alpha$ - тангенс глубинного угла; β - азимутальный угол.

Среди событий на тантале, отобранных при просмотре, имелась примесь событий, образованных в слое пропана толщиной ~ 1 мм, прилегающем к танталовым пластинам. Эта примесь составила 9 ± 3 %.

9±3 % и 13±3 % соответственно для dTa, HeTa и cTa - взаимодействий.

В этой же главе определены импульсные и угловые интервалы для выделения стриппинговых фрагментов (частиц) налетающего ядра.

Проведена калибровка метода идентификации заряда z по плотности δ-электронов на следе. Проводился подсчет всех δ-электронов, выходящих за пределы дорожки с шириной ±3 мм от оси трека пучковых ядер. Значение плотностей δ-электронов для следов p, He и C ядер получились равными: (0,021±0,001); (0,085±0,002) и (0,737±0,005) на один см соответственно, что хорошо согласуется с ожидаемой z²-зависимостью.

Во второй главе рассматриваются методические вопросы, возникающие при определении сечений неупругих взаимодействий релятивистских ядер p, d, He, C, F и Mg с ядрами углерода и тантала в интервале импульсов (2 - 5) ГэВ/с на нуклон. Описывается процедура получения экспериментальных величин сечений неупругих взаимодействий, и проводится их анализ в рамках существующих теоретических моделей.

Процедура получения величин сечений и вводимые при этом поправки ограничивали точность определения неупругих сечений до (3-5)%. В пределах этой точности не наблюдалось зависимости сечений от первичной энергии. Поэтому, в табл.1 приведены величины сечений неупругих взаимодействий протонов, дейтронов, ядер гелия, углерода, фтора и магния с ядрами углерода и тантала, усредненные по интервалу первичных импульсов на нуклон (2-5) ГэВ/с.

Таблица 1

Сечения неупругих взаимодействий релятивистских ядер в мб.

A _t	A _p	p	d	He	C	F	Mg
C		265±15	400±20	450±20	830±50	955±60	1040±60
Ta		1695±70	1975±80	2390±95	3445±140		

На рис.1 показана зависимость измеренных к настоящему времени величин сечений неупругих взаимодействий от атомных весов ядер-снарядов - A_p и ядер-мишени A_t. Интервал налетающих ядер меняется от p до Fe, а ядра-мишени от дейтерия до ²³⁵U.

Сплошная линия, проведенная на рисунке, соответствует рас-

четам по модели "твердых сфер" с перекрытием, полученной в работе /1/.

Экспериментальные сечения сравнивались с расчетными величинами в рамках теоретических моделей. Согласие теоретических и экспериментальных величин сечений оценивалось с помощью χ²-критерия. Проведенный анализ показал, что полученные экспериментальные неупругие сечения находятся в удовлетворительном согласии с имеющимися данными и расчетами по моделям. Наиболее удачными следует считать описание экспериментальных данных величинами расчетных сечений моделей, предлагаемых в работах /2,3/.

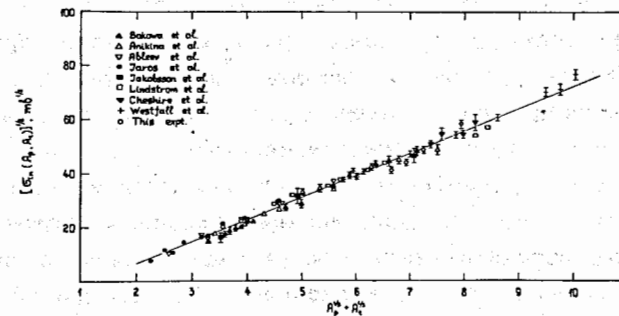


Рис.1. Сечения неупругих взаимодействий ядер с ядрами

В третьей главе представлены экспериментальные величины средних значений и дисперсий распределения по числу провзаимодействовавших нуклонов налетающего ядра при неупругом столкновении релятивистских ядер d, He и C с танталом при первичном импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. Приведены сечения выхода разных фрагментов при взаимодействии налетающих ядер с пропаном и с ядрами тантала. Исследуется проявление флуктуации в числе провзаимодействовавших нуклонов в процессе образования частиц. Приведены теоретические расчеты и сравнение экспериментальных данных с ними.

Определяя экспериментально в каждом акте взаимодействия число спектаторных протонов, можно получить распределение по числу провзаимодействовавших протонов. При этом не важно, входит ли протон-спектатор в состав стриппинговых частиц (d, t, ³He, ⁴He и т.д.) или он находится в свободном состоянии. Так как сечения неупругого взаимодействия протона и нейтрона с ядром в пределах экспериментальных ошибок совпадают, то, зная среднее

число провзаимодействовавших протонов, легко получить среднее число провзаимодействовавших нуклонов $\langle \nu_p \rangle$.

Используя экспериментальное распределение по числу провзаимодействовавших нуклонов, можно получить дисперсию распределения по числу провзаимодействовавших нуклонов D_{ν} .

Величины $\langle \nu_p \rangle$ и D_{ν} необходимы для более детального сравнения экспериментальных данных с теоретическими расчетами. Аналогичные числа могут быть введены для ядра-мишени и для совокупности пар $n\bar{n}$ - столкновений при взаимодействии двух ядер. Однако, экспериментальное получение этих чисел затруднительно.

Сечения выхода фрагментов всех зарядности хорошо описываются двумя экспонентами с изломом при $z_{\Phi} = 3$. Однако, при взаимодействии углерода с пропаном наблюдается избыточный выход ядер гелия. По-видимому, при столкновении углерода с легким ядром лучше проявляется структура ядра углерода.

На рис.2 приведено распределение по стриппинговому заряду в HeTa и C-Ta столкновениях. Сплошной линией приведены соответствующие распределения, рассчитанные по теории многократного рассеяния. Как видно из рисунка, согласие экспериментальных распределений с расчетным хорошее.

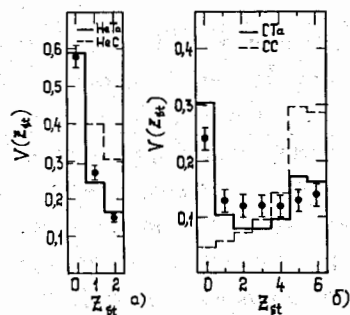


Рис.2. Распределению по стриппинговому заряду во взаимодействиях He и C с ядрами C и Ta. Линиями нанесены расчеты работы [4].

В таблице 2 представлены величины квадратов дисперсий D_{ν}^2 , D_{ν}^2 и средние числа провзаимодействовавших нуклонов $\langle \nu_p \rangle$ при столкновении d, He и C с ядрами тантала. Величина D_{ν}^2 - экспериментальное значение квадрата дисперсии распределения по числу провзаимодействовавших нуклонов.

Видно резкое увеличение квадрата дисперсии D_{ν}^2 при росте A_p , в то время, как $\langle \nu_p \rangle$ растет значительно медленнее.

Отметим, что экспериментально определенные значения среднего числа взаимодействующих нуклонов налетающего ядра удовлетворительно согласуются со значениями, рассчитанными по модели независимо взаимодействующих нуклонов ядра-снаряда - A_p .

Таблица 2

Величины дисперсий и средние числа провзаимодействовавших нуклонов при столкновении d, He и C с ядром тантала

A_p	d	He	C
D_p^2	$0,16 \pm 0,02$	$0,55 \pm 0,03$	$4,61 \pm 0,30$
$\langle \nu_p \rangle$	$1,60 \pm 0,04$	$2,86 \pm 0,10$	$6,60 \pm 0,30$
D_{ν}^2	$0,24 \pm 0,02$	$1,64 \pm 0,09$	$16,80 \pm 1,00$

В четвертой главе рассмотрены процессы множественного рождения вторичных заряженных частиц во взаимодействиях протонов, дейтронов, α - частиц и ядер углерода с ядрами углерода и тантала в интервале налетающих импульсов (2 - 5) ГэВ/с на нуклон. Представлены зависимости средних множественностей от атомных весов сталкивающихся ядер и от величин импульсов налетающих ядер. Проведен сравнительный анализ полученных результатов в рамках различных теоретических моделей.

Полученное распределение средних множественностей в зависимости от импульса налетающего протона в pC и pTa взаимодействиях, во всем интервале энергий, указывает на сильный рост числа положительных адронов n_+ и π^- мезонов по сравнению с pN-взаимодействиями, тогда как рост n_- частиц (протоны с $P < 700$ МэВ/с) замедляются при $P > 5$ ГэВ/с. Величины средних множественностей π^- мезонов pC и pTa - взаимодействиях в зависимости от P_p приведены в таблице 3.

Таблица 3

Величины средних множественностей π^- мезонов в неупругих pC и pTa-взаимодействиях

$A_t \setminus P_p$	2,3	4,2	5,4	9,9
C	$0,15 \pm 0,01$	$0,33 \pm 0,02$	$0,52 \pm 0,03$	$0,93 \pm 0,04$
Ta	$0,14 \pm 0,01$	$0,45 \pm 0,02$	$0,65 \pm 0,04$	$1,17 \pm 0,04$

Из распределений средних множественностей $\langle n_+ \rangle$, $\langle n_- \rangle$, $\langle n_p \rangle$

и $\langle n_- \rangle$ в зависимости от массовых чисел налетающих ядер A_p видно, что средние множественности $\langle n_p \rangle$ и $\langle n_- \rangle$ растут во всем интервале A_p . Рост числа $\langle n_- \rangle$ замедляется в области $A_p \sim 4$.

На рис.3 даны нормированные величины множественностей для π^- - мезонов R_π , g - следов R_g , и быстрых протонов в зависимости от среднего числа провзаимодействовавших нуклонов ядра-снаряда. Нормированные множественности R получены путем деления средних множественностей в d , He и C -взаимодействиях на среднюю множественность в NTa -столкновениях. Видно, что множественность π^- мезонов и быстрых протонов растет приблизительно пропорционально числу $\langle \nu_p \rangle$.

Изменение множественности g - следов имеет тенденцию к выходу на плато при значениях $\langle \nu_p \rangle > 3$. Доля быстрых протонов

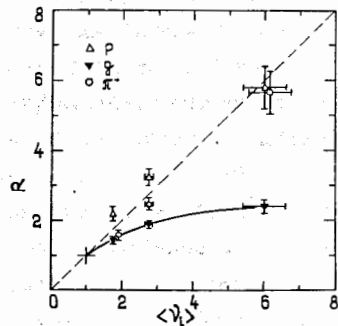


Рис.3. Нормированные величины множественностей R для π^- -мезонов g -частиц и p с $P_p \approx 700$ МэВ/с в зависимости от ν_p .

по отношению ко всем барионам возрастает с увеличением числа $\langle \nu_p \rangle$. Отсюда следует вывод, что энергетический спектр частиц, выбитых из тяжелого ядра, становится

жестче с увеличением числа провзаимодействовавших нуклонов ядра-снаряда.

На рис.4 приведены распределения π^- - мезонов в неупругих взаимодействиях p, d, He и C с ядрами углерода и тантала при импульсе $P_0 = 4,2$ ГэВ/с на нуклон. Кривые соответствуют распределениям Пуассона с параметрами, равными экспериментальным значениям. Распределения были также сравнены с расчетами по ДКМ и ММР. Наблюдается хорошее согласие между экспериментальных и расчетных распределений.

В таблице 4 приведены величины средних множественностей π^- - мезонов в ядро-ядерных взаимодействиях при $P_0 = 4,2$ ГэВ/с.

Зависимость $\langle n_- \rangle$ от A_p хорошо описывается степенной функцией

$$\langle n_- \rangle = k A_p^\alpha \quad (1)$$

Для взаимодействий с углеродом получаем:

$$k = 0,42 \pm 0,03 ; \quad \alpha = 0,55 \pm 0,04 \quad \text{при} \quad \chi^2/n = 1,25$$

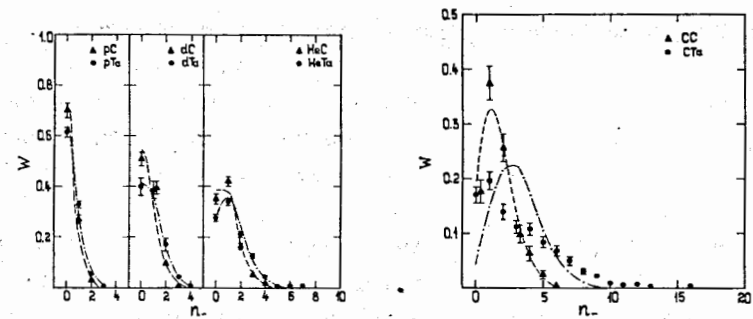


Рис.4. Распределения по множественности n_- во взаимодействиях p, d, He и C с углеродом и танталом. Кривые - распределения Пуассона.

Таблица 4

Средние множественности $\langle n_- \rangle$ во взаимодействиях p, d, He и C с ядрами углерода и тантала при $P_0 = 4,2$ ГэВ/с.

$A_t \setminus A_p$	p	d	He	C
C	$0,33 \pm 0,05$	$0,62 \pm 0,03$	$1,07 \pm 0,03$	$1,52 \pm 0,05$
Ta	$0,45 \pm 0,02$	$0,86 \pm 0,03$	$1,42 \pm 0,06$	$3,20 \pm 0,09$

а для взаимодействий с танталом:

$$k = 0,54 \pm 0,03 ; \quad \alpha = 0,70 \pm 0,03 \quad \text{при} \quad \chi^2/n = 0,70.$$

На рис.5 представлена зависимость дисперсии D_- от средних множественностей $\langle n_- \rangle$. Прямая линия соответствует зависимости Малхотра-Врублевского для неупругих взаимодействий в интервале импульсов (4-400) ГэВ/с. Из рисунка отчетливо видно, что при взаимодействиях ядра углерода с тяжелыми мишенями распределения по числу рожденных π^- -мезонов существенно расширяются. Такое поведение связано с увеличением вклада в дисперсию D_- флуктуации числа взаимодействующих нуклонов ядра-снаряда.

Для исследуемых ядро-ядерных взаимодействий определялись средние множественности вторичных протонов (с примесью дейтронов и тритонов) с $P_{\text{лаб.}} > 0,15$ ГэВ/с - n_p . Кроме того, были выделены отдельные группы протонов: стриппинговые протоны или протоны-спектаторы ядра-снаряда, с 3 ГэВ/с $< P_{\text{лаб.}} < 5,5$ ГэВ/с и $\theta_{\text{лаб.}} < 3^\circ$

для dC и $P_{\text{лаб.}} < 3$ ГэВ/с, $\phi_{\text{лаб.}} < 4^\circ$ для α C и CC -соударений, мед-

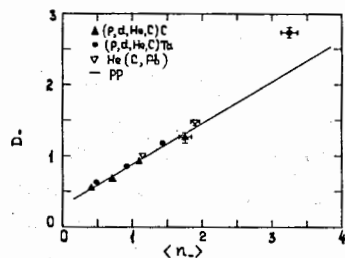


Рис.5. Зависимость дисперсии от средней множественности π^- -мезонов в ядро ядерных взаимодействиях.

ленные протоны с $P_{\text{лаб.}} < 0,3$ ГэВ/с, которые являются в основном спектаторами ядра-мишени, остальные протоны названы протонами-участниками.

Для каждой указанной выше группы определены средние множественности протонов $\langle n_P^{\text{ст}} \rangle$, $\langle n_P^{\text{м}} \rangle$, $\langle n_P^{\text{уч}} \rangle$ - соответственно, которые даны в таблице 5.

Таблица 5

Средние множественности протонов в неупругих ядро-ядерных взаимодействиях

	pC	dC	α C	CC
$\langle n_P \rangle$ ЭКСП.	$2,44 \pm 0,11$	$2,85 \pm 0,05$	$4,46 \pm 0,06$	$6,23 \pm 0,08$
$\langle n_P^{\text{уч}} \rangle$ ЭКСП.	$1,83 \pm 0,10$	$1,95 \pm 0,08$	$3,06 \pm 0,10$	$4,30 \pm 0,10$
$\langle n_P^{\text{уч}} \rangle$ ДКМ	$1,79 \pm 0,01$	$1,97 \pm 0,01$	$2,83 \pm 0,02$	$4,12 \pm 0,03$
$\langle n_P^{\text{ст}} \rangle$ ЭКСП.		$0,25 \pm 0,05$	$0,60 \pm 0,05$	$1,18 \pm 0,05$
$\langle n_P^{\text{ст}} \rangle$ ДКМ		$0,35 \pm 0,02$	$0,75 \pm 0,04$	$1,96 \pm 0,05$
$\langle n_P^{\text{м}} \rangle$	$0,61 \pm 0,04$	$0,65 \pm 0,04$	$0,80 \pm 0,06$	$0,75 \pm 0,04$

На рис.6 показана зависимость средних множественностей ρ от A . Множественность протонов с $0,3 < P_{\text{лаб.}} < 1$ ГэВ/с растет как $A^{0,24}$. Средняя множественность протонов $P_{\text{лаб.}} > 1$ ГэВ/с хорошо аппроксимируется функцией (1). На рис.6 показана также зависимость от A среднего числа нуклонов из ядер d, He и C, участвующих во взаимодействиях с ядром углерода, $\langle \nu \rangle$. Показатель степени α близок к величине $2/3$, ожидаемой для соударений легких ядер с более тяжелыми. Из рис.6 видно, что зависимости среднего числа протонов с $P_{\text{лаб.}} > 1$ ГэВ/с и $\langle \nu \rangle$ от A имеют одинаковый характер, в то время как средняя множественность протонов с $0,3 <$

$P_{\text{лаб.}} < 1$ ГэВ/с, которые являются в большинстве своем фрагментами мишени, зависит от A слабее.

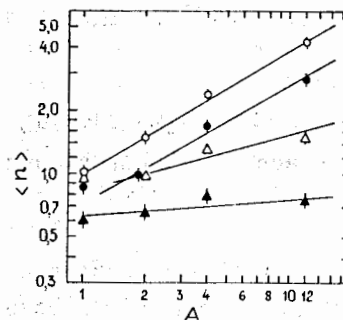


Рис.6. Зависимость средних множественностей протонов от A налетающего ядра: (●)-протонов с $P > 1$ ГэВ/с, (Δ)- $0,3 < P < 1$ ГэВ/с, (▲) с $P < 0,3$ ГэВ/с, (○) - средняя множественность взаимодействовавших нуклонов ядра-снаряда.

На рис.7 приведена A -зависимость сечения выхода протонов с квадратом поперечного импульса в интервалах

$$(0,5-1,0) (\text{ГэВ/с})^2 \text{ и } P_{\perp}^2 \geq 1,0 (\text{ГэВ/с})^2.$$

Линия соответствует аппроксимации экспериментальных точек степенной зависимостью $d\sigma/dP_{\perp}^2 = cA^{\alpha}$. Величины параметров α равны $1,07 \pm 0,02$ и $1,17 \pm 0,03$ соответственно. Аппроксимация проводилась

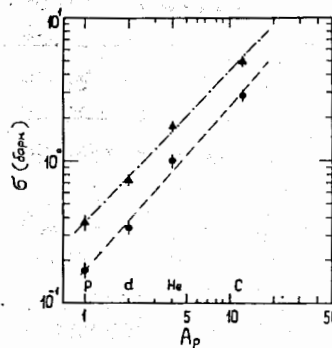


Рис.7. A -зависимость сечения выхода протонов с $P_{\perp}^2 (0,5-1,0)$ ГэВ/с (▲) и $P_{\perp}^2 > 1,0$ ГэВ/с - ●. Прямые линии - аппроксимации степенной зависимостью.

с фиксацией первой точки. Значения параметра α превышают единицу и с увеличением квадрата поперечного импульса A - зависимость становится несколько круче.

В пятой главе приводятся импульсные и угловые характеристики вторичных заряженных частиц. Исследуется их зависимость от природы ядра снаряда. Проводится анализ полученных данных в рамках различных теоретических моделей.

Спектры π^- - мезонов в лабораторной системе для изучаемых взаимодействий, нормированные на сечения неупругих взаимодействий ($dn/dP_{\text{лаб.}} = 1/\sigma_{\text{ин}} \cdot d\sigma^{\pi}/dP_{\text{лаб.}}$), показаны на рис.8. Все

четыре спектра в интервале $P_{\text{лаб.}} > 0,1$ ГэВ/с экспоненциально спадают по мере увеличения импульса π^- - мезонов, причем параметры наклона для dC, HeC и CC - взаимодействий совпадают между собой в пределах ошибок. Линиями нанесена аппроксимация распределений функцией $ae^{-bP_{\text{лаб.}}}$.

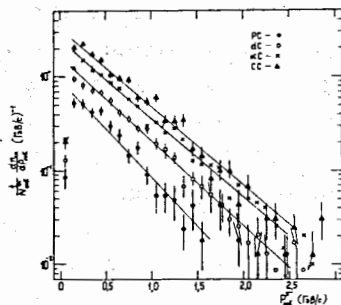


Рис. 8. Спектры π^- - мезонов в лаб. системе. Прямые - аппроксимация экспонентой.

Спектры π^- -мезонов для pC-взаимодействий спадают намного быстрее с ростом $P_{\text{лаб.}}$, чем во взаимодействиях симметричных ядер с ядрами углерода ($b^{pC} > b^{Ac}$). Импульс-

ные спектры π^- - мезонов для АТа - взаимодействий характеризуются большими значениями параметров b , которые тоже в пределах ошибок не зависят от А. Значения средних импульсных и угловых характеристик π^- - мезонов приведены в таблице 6.

Таблица 6

Средние значения характеристик π^- - мезонов

	pC	dC	HeC	CC
$\langle P_{\text{лаб.}}^{\pi^-} \rangle$ эксп.	$0,53 \pm 0,03$	$0,58 \pm 0,03$	$0,63 \pm 0,03$	$0,62 \pm 0,03$
(ГэВ/с) ДКМ	0,49	0,55	0,62	0,60
$\langle \phi_{\text{лаб.}} \rangle$ эксп.	$49,4 \pm 1,7$	$44,2 \pm 1,0$	$43,2 \pm 1,0$	$40,0 \pm 0,7$
(град) ДКМ	49,1	45,5	43,1	43,1
$\langle P_{\perp}^{\pi^-} \rangle$ эксп.	$0,255 \pm 0,008$	$0,256 \pm 0,007$	$0,255 \pm 0,006$	$0,250 \pm 0,005$
<ГэВ/с> ДКМ	0,214	0,228	0,245	0,241
$\langle u_{\text{лаб.}}^{\pi^-} \rangle$ эксп.	$0,85 \pm 0,04$	$1,00 \pm 0,03$	$1,04 \pm 0,03$	$1,09 \pm 0,03$
ДКМ	0,95	0,98	1,05	1,05

Видно, что $\langle P_{\text{лаб.}}^{\pi^-} \rangle$ не зависит от атомного веса А для легких ядер. В АС-взаимодействиях в среднем образуются более быстрые π^- - мезоны.

зоны, чем во взаимодействиях тех же ядер (d, He, C) с танталом ($\langle P_{\text{лаб.}}^{\pi^-} \rangle_{\text{АТа}} \approx (0,48 \pm 0,02)$ ГэВ/с}. Сравнение угловых распределений π^- - мезонов в лабораторной системе показывает небольшое сужение распределений при переходе от пучка дейтронов к углеродному, что приводит к уменьшению на 10 % среднего угла вылета π^- - мезонов по мере увеличения атомного номера ядра-снаряда. Распределения по поперечным импульсам для pC, dC, HeC и CC - событий близки между собой. В пределах ошибок совпадают и средние значения поперечных импульсов π^- - мезонов для этих типов взаимодействий.

Распределение π^- - мезонов по продольной скорости демонстрирует небольшое смещение распределения в сторону больших u при переходе от первичного дейтрона к углероду. Распределение по $u_{\text{лаб.}}^{\pi^-}$ для CC - взаимодействий, как и следовало ожидать, симметрично относительно $u_{\text{лаб.}}^{\pi^-} \approx 1,1$, соответствующего значению $u_{\text{нн}}^* = 0$ для системы центра масс нуклон-нуклон.

Распределения π^- - мезонов из pC - взаимодействий по $\phi_{\text{лаб.}}$ и $u_{\text{лаб.}}$ заметно отличаются от соответствующих распределений π^- - мезонов в случае столкновения симметричных ядер.

Сравнение экспериментальных распределений π^- - мезонов с соответствующими распределениями, полученными с помощью ДКМ для всех четырех типов взаимодействий модель правильно предсказывает общий характер распределений. При подробном сравнении обнаруживаются небольшие расхождения между экспериментальными данными и моделью.

При близких к экспериментальным значениям средних величин $P_{\text{лаб.}}^{\pi^-}$, $\phi_{\text{лаб.}}^{\pi^-}$, $u_{\text{лаб.}}^{\pi^-}$ в ДКМ наблюдается некоторое перераспределение π^- - мезонов по области изменения кинематических переменных. Дубненская каскадная модель дает меньшее значение $\langle P_{\perp} \rangle^{\pi^-}$, различие убывает по мере роста атомного номера ядра-снаряда.

В таблице 7 приведены средние характеристики π^- - мезонов, образованных во взаимодействиях разных первичных ядер с ядрами тантала. Средние характеристики π^- - мезонов почти не зависят от типа ядра-снаряда. Наблюдается только небольшое (порядка 10 %) уменьшение среднего $\langle \phi \rangle$ и увеличение средней скорости $\langle u \rangle$ при переходе от дейтрона к углероду.

Импульсные спектры π^- -мезонов, образованных при столкновении различных первичных ядер с ядрами тантала, представлены на рис.9. Спектры нормированы на одно взаимодействие. Они хорошо

аппроксимируются экспоненциальной зависимостью с одинаковым показателем для всех первичных ядер.

Таблица 7.

Средние характеристики отрицательных пионов

A_p	d	He	C	DKM для Ста
$\langle P \rangle$ ГэВ/с	$0,46 \pm 0,01$	$0,50 \pm 0,02$	$0,48 \pm 0,01$	$4,0 \pm 0,2$
$\langle \theta \rangle$ рад	$0,99 \pm 0,02$	$0,91 \pm 0,02$	$0,90 \pm 0,01$	$0,47 \pm 0,01$
$\langle P_{\perp} \rangle$ ГэВ/с	$0,24 \pm 0,01$	$0,26 \pm 0,01$	$0,240 \pm 0,003$	$0,225 \pm 0,004$
$\langle u \rangle$	$0,70 \pm 0,01$	$0,76 \pm 0,02$	$0,79 \pm 0,01$	$0,77 \pm 0,01$

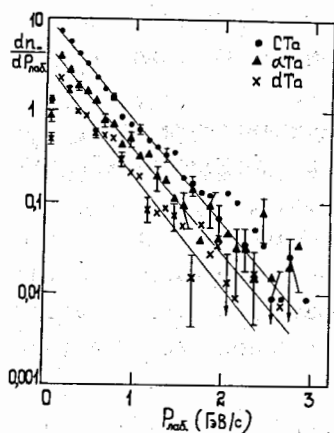


Рис. 9. Импульсные спектры π^- -мезонов в ядро тантал взаимодействиях нормированное на одно событие.

Распределение π^- -мезонов из Ста - взаимодействий по квадрату поперечного импульса P_{\perp}^2 хорошо аппроксимируется двумя экспонентами, что указывает на существование двух механизмов образования π^- -мезонов в этих взаимодействиях. Отношение распределений по быстротам указывает, что увеличение множественности π^- -мезонов с увеличением атомного веса налетающего ядра происходит почти одинаково во всех интервалах быстрот.

Предсказания DKM для средних характеристик π^- -мезонов, хорошо согласуются с экспериментальными значениями.

Спектры протонов-участников в лабораторной системе для pC, dC, HeC и CC - взаимодействий показаны на рис. 10. Видно, что значительную долю составляют относительно медленные протоны с импульсом $P_{\text{лаб}} < 1$ ГэВ/с. Эта доля меняется от $\sim 50\%$ в dC и $\sim 35\%$ в CC - взаимодействиях. Выше 1 ГэВ/с распределения становятся более пологими и тем сильнее, чем тяжелее ядро-снаряд. В спектре протонов из pC - взаимодействий виден пик при ~ 4 ГэВ/с

от квазиупругого рассеяния протонов на нуклонах ядра углерода. В спектрах протонов наблюдается высокоимпульсная часть $P > 4$ ГэВ/с, которая составляет $(3 \pm 1)\%$ от числа протонов в pC - и $(10 \pm 1)\%$ в CC - взаимодействиях. Появление в протон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях протонов с импульсом, превышающим импульс нуклона в налетающем ядре, может быть обусловлено как физическими причинами, так и методическими погрешностями.

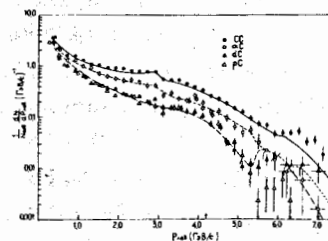


Рис. 10. Импульсные спектры протонов-участников, нормированные на число событий, для pC, dC, HeC и CC взаимодействий. Линии - расчеты по DKM.

Из анализа данных видно, что с увеличением массы ядра-снаряда растет доля протонов-участников, вылетающих под малыми углами $(10-40)^\circ$, т.е. усиливается направленность потока вторичных протонов.

В распределение протонов-участников по скорости в pC - взаимодействиях наблюдается избыток протонов в области фрагментации ядра-мишени, по которому можно судить о роли вторичных процессов в ядре углерода. По мере увеличения атомного веса ядра-снаряда растет вклад протонов в центральную область и область фрагментации налетающего ядра, пока распределение по $Y_{\text{лаб}}$ не становится симметричным относительно $Y_{\text{лаб}} = 1,1$ для CC- взаимодействий. При этом незначительно меняется средняя множественность протонов в области фрагментации ядра-мишени. Распределения протонов-участников по $Y_{\text{лаб}}$ в основном удовлетворительно воспроизводится в DKM

Из распределения протонов по квадрату поперечного импульса видно, что с увеличением массы ядра-снаряда увеличивается доля протонов с большими P_{\perp} . Распределение протонов по P_{\perp}^2 для dC - взаимодействий совпадает в пределах ошибок с соответствующим распределением для pC-соударений, что отражает слабую связь нуклонов в дейтроне. Средние поперечные импульсы протонов возрастают примерно на 10% с увеличением атомного номера налетающего ядра.

При взаимодействиях ядер с танталом, средние характеристики всех зарегистрированных протонов и протонов-участников, а также

характеристики протонов-участников из аналогичных взаимодействий с ядрами углерода показывают, что с ростом атомного веса налетающего ядра существенно увеличивается средний импульс вторичных протонов и уменьшается средний угол их вылета, при этом увеличивается и средний поперечный импульс. Сравнение взаимодействий на тантале с взаимодействиями на углероде указывает на значительное "смягчение" спектра вторичных протонов в тяжелом ядре и на более широкое их угловое распределение. В системе центра масс нуклон-нуклон протоны из тяжелого ядра летят преимущественно в заднюю полусферу. Каскадная модель ДКМ удовлетворительно описывает средние характеристики протонов, занижая только приблизительно на 10 % средний поперечный импульс.

Распределения протонов-участников из dTa и cTa - взаимодействий по скорости показывает, что увеличение множественности протонов с ростом атомного веса ядра-снаряда происходит преимущественно в области больших скоростей, в то время как увеличение множественности π^- - мезонов в этих же взаимодействиях происходит одинаково во всем интервале скоростей.

Распределения протонов-участников по квадрату поперечного импульса показывает, что с увеличением атомного веса ядра-снаряда возрастает доля протонов с большими поперечными импульсами. Распределение по косинусу угла существенно асимметрично относительно нуля, причем, чем легче налетающее ядро, тем больше доля протонов летит назад.

В шестой главе приведены экспериментальные результаты по поиску аномальных δ -дейтронов с помощью магнитного спектрометра "альфа", в пучке релятивистских ядер гелия-3 при импульсе $P_{He} = 10,8$ ГэВ/с и по поиску аномальных многозарядных фрагментов налетающего углерода при импульсе $P_C = 4,2$ ГэВ/с на нуклон с помощью 2-х метровой пропановой пузырьковой камеры.

Идея поискового эксперимента заключалась в следующем. Если в реакции фрагментации



с вылетом дейтронов в фиксированные интервалы углов $\theta_{min} \leq \theta_d \leq \theta_{max}$ и импульсов $P - \bar{P} \leq \Delta P$ с вероятностью α рождается δ -дейтрон, то зависимость выхода регистрируемых дейтронов от толщины x мишени будет различной для нормального и δ -дейтрона, из-за различия в величине сечения взаимодействия с веществом.

Данный метод поиска применим при условии, что время жизни $\tau_\delta \geq x_m / Cx$. Величину τ_δ в интервале $10^{-11} - 10^{-9}$ с можно оценить, сравнив выход дейтронов в реакции (2) на сплошной мишени толщиной $x_0 = x_m$ и на мишени, состоящей из двух частей толщиной $x/2$, раздвинутых на расстояние $l > l_{расп}$. Число дейтронов, образовавшихся на сплошной мишени, должно быть меньше, чем на составной, поскольку δ -дейтроны, родившиеся в первой половине этой мишени, могут, пролетая между частями мишени, превратиться в обычные дейтроны, которые более слабо поглощаются во второй половине мишени.

Толщина углеродной мишени увеличивалась от 0,6 до 70 см (использовался графит с плотностью $\rho = 1,67$ г/см³). Для получения данных о времени жизни δ -дейтрона использовалась мишень толщиной 20 см и две последовательно расположенные мишени толщиной по 10 см каждая, разделенные прослойкой воздуха 65 см.

Экспериментальные значения выходов дейтронов в реакции фрагментации (2) в зависимости от толщины мишени показаны на рис. 11. Сплошная линия соответствует зависимости, ожидаемой при нормальном сечении взаимодействия дейтронов $\sigma_d = 470$ мб. Штриховая линия соответствует образованию в 10 % событий δ -дейтронов с сечением взаимодействия $\sigma_\delta = 940$ мб, а штрих-пунктирная - случаем, когда все образующиеся дейтроны являются "демонами" (δ -дейтронами). Наименьшее значение $\chi^2/степ.своб. \approx 0,4$ получается при нормальном сечении $\sigma_d = 470$ мб.

Полученные экспериментальные данные закрывают возможность существования аномальных дейтронов с временем жизни $10^{-11} \leq \tau_\delta \leq 4 \cdot 10^{-8}$ с в большой области значений ожидаемых сечений их генерации и взаимодействия с веществом.

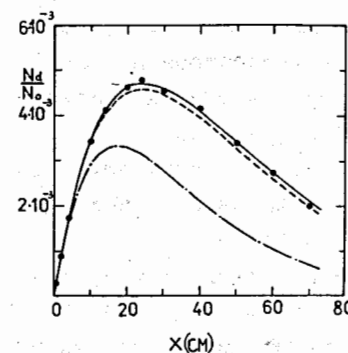


Рис. 11. Выходы дейтронов в процессе фрагментации ${}^3He + C \rightarrow d + X$ в зависимости от толщины мишени.

При поиске аномальных фрагментов ядра углерода в $C(C_3H_8)$ столкновениях была получена зависимость сечения взаимодействия фрагментов от их массового числа. Сечения взаимодействия изото-

пов гелия, лития, бериллия и бора находятся в согласии с экспериментальными сечениями для соответствующих пучковых ядер. Однако, для смеси вторичных ядер с зарядом $z \neq 6$ наблюдается заметное расхождение между экспериментальными и расчетными значениями.

На рис.12 показана зависимость среднего свободного пробега фрагментов λ от расстояния X для фрагментов, где в качестве вторичного фрагмента образуется ядро углерода ^{12}C (кружки) и всех остальных фрагментов с $z \neq 5$ и 6 вместе, где ядра ^{12}C практически отсутствуют. Штриховая линия соответствует среднему свободному пробегу для пучковых ядер углерода. Видно, что для фрагментов ^{12}C наблюдается уменьшение среднего свободного пробега.

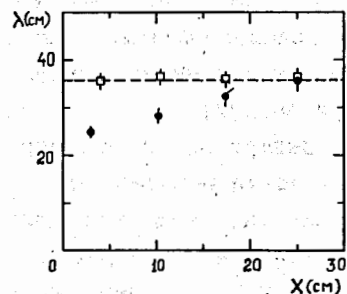


Рис.12. Зависимость среднего свободного пробега фрагментов λ от расстояния X для фрагментов с $z \neq 6$ (кружки) и $z \neq 5$ (квадратики). Линия соответствует ССП для пучковых ядер углерода.

Аппроксимация экспериментальных данных для фрагментов ^{12}C в виде суммы двух экспоненциальных зависимостей дает $(15 \pm 2)\%$ вклад аномальных ядер углерода с $\lambda_a = (6,46 \pm 1,81)$ см.

Если предположить, что возбуждение аномального ядерного фрагмента снимается γ -квантами с энергией в несколько МэВ, которые в системе покоя фрагмента испускаются изотропно, то в лабораторной системе должны наблюдаться γ -кванты с энергией в несколько десятков МэВ, летящие в узком переднем конусе по направлению вылета фрагмента под углами $\sim 1/\gamma$ в лабораторной системе.

Был построен энергетический спектр всех отобранных γ -квантов с учетом эффективности их регистрации в лабораторной и антилабораторной системах. Из распределения видно, что в антилабораторной системе имеется избыток γ -квантов с $E_\gamma < 70$ МэВ/с.

Чтобы выделить γ -кванты, которые могут быть испущены аномальным фрагментом, из всех отобранных γ -квантов были исключены γ -кванты, испущенные под большими углами $\theta_{л.с.} > 20^\circ$, γ -кванты, смотрящие в точку взаимодействия и γ -кванты от известных источников малоэнергичных γ -квантов.

На рис.13а приведен энергетический спектр всех отобранных

γ -квантов (\bullet) в антилабораторной системе с $l > 2$ см, т.е. γ -квантов, "смотрящих" в след фрагмента. На рис.13б представлен соответствующий спектр, полученный после исключения γ -квантов, наблюдаемых в событиях где образуется фрагмент с зарядом $z \neq 6$ (открытые кружки на рис.- а), включающей аномальные вторичные фрагменты ^{12}C . Превышение над фоном при $E_\gamma < 40$ МэВ дает γ -кванты, испущенные в событиях периферических соударений ядра углерода в пропане с образованием вторичных фрагментов ^{12}C .

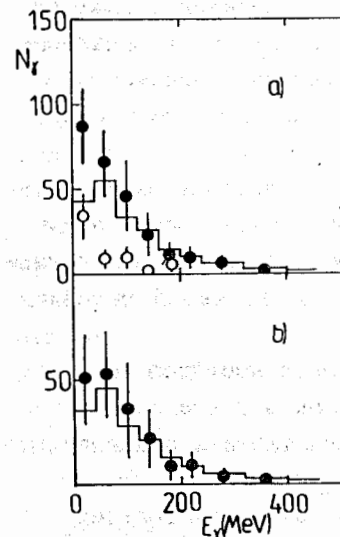


Рис.13. Энергетическое распределение γ -квантов с $l > 2$ см в антилабораторной системе.

Угловые распределения γ -квантов, испущенных из области $l > 2$ см в лабораторной и антилабораторной системах представлено на рис.14 а и б. Видно, что в антилабораторной системе распределение близко к изотропному.

Таким образом, совокупность экспериментальных данных не противоречит гипотезе о возможности снятия возбуждения аномальным фрагментом с помощью испускания γ -квантов.

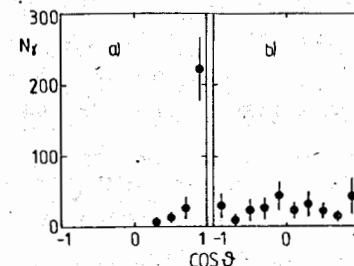


Рис.14. Угловое распределение γ -квантов с $l > 2$ см в лабораторной (а) и антилабораторной (б) системах.

Зная количество фрагментов ^{12}C в отобранных событиях (с γ -квантами), число фрагментов, обладающих аномальным сечением взаимодействия и связанный с ним избыток γ -квантов над фоном,

можно оценить долю аномальных фрагментов, испускающих γ - кванты в области $\epsilon_\gamma < 40$ МэВ. С учетом статистических погрешностей эта доля составляет $(19 \pm 5) \%$. Такую оценку следует считать нижним пределом, т.к. существенная часть малоэнергичных γ -квантов в пропановой камере не регистрируется.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. Получены величины сечений неупругих взаимодействий ядер p, d, He, C, Ft и Mg с ядрами углерода и тантала в интервале импульсов (2-5) ГэВ/с на нуклон (Ft и Mg с ядрами углерода).

Сечения для взаимодействий ядер dTa, HeTa, CTa, FtC и MgC получены впервые.

Проведен анализ величин сечений взаимодействий в рамках различных теоретических моделей. Показано, что совокупность величин экспериментальных сечений хорошо описывается в рамках модели "твердых сфер" с перекрытием и теорией многократного рассеяния нуклонов.

2. Измерены величины выхода спектаторных изотопов водорода, гелия, лития, бериллия, бора и углерода, образованных при столкновении ядра углерода с пропаном и с ядрами тантала при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон.

3. Впервые получены экспериментальные величины средних значений и дисперсий по числу провзаимодействовавших нуклонов ядра-снаряда при неупругом столкновении релятивистских ядер d, He и C с ядрами тантала при $P_0 = 4,2$ ГэВ/с на нуклон. Показано, что флуктуации в числе провзаимодействовавших нуклонов непосредственно проявляются в процессе множественного образования частиц. Сравнительный анализ экспериментальных данных в рамках модели многократного рассеяния нуклонов указывает на хорошее согласие между ними.

4. Получены новые данные по множественности вторичных заряженных частиц во взаимодействиях p, d, He и C с ядрами углерода и тантала в интервале импульсов (2-5) ГэВ/с на нуклон.

Показано, что при взаимодействиях протонов с ядрами углерода и тантала имеется существенный рост средней множественности с увеличением первичной энергии. Начиная с импульса 4,2 ГэВ/с, в неупругих взаимодействиях протонов на ядрах заметно размножение π^- - мезонов.

5. Наблюдается существенная зависимость средних множественностей π^- -мезонов, быстрых протонов и протонов испущенных в заднюю полусферу от атомного веса ядра-снаряда. Множественность π^- -мезонов и быстрых протонов увеличивается пропорционально с ростом среднего числа провзаимодействовавших нуклонов ν , когда как рост множественности g-частиц выходит на плато. Линейный рост средней множественности π^- -мезонов в зависимости от числа $\langle \nu \rangle$ согласуется с моделью независимого взаимодействия нуклонов ядра-снаряда. Увеличение среднего числа протонов, испущенных в заднюю полусферу, по всей вероятности связано с возрастанием числа провзаимодействовавших нуклонов ядра мишени.

6. Показано, что увеличение дисперсии распределения π^- -мезонов по множественности происходит пропорционально их среднему числу. Наблюдается существенное уширение распределения по числу рожденных π^- - мезонов для углеродного облучения в танталовой мишени. Такое поведение связано с увеличением вклада в дисперсию D- флуктуации числа взаимодействующих нуклонов ядра снаряда D_ν .

7. Получены A - зависимости множественности отрицательных частиц и протонов во взаимодействиях p, d, He и C с ядрами углерода и тантала. Среднее число протонов, участвующих во взаимодействиях, растет, причем среднее число протонов с $P_{\text{лаб}} > 1$ ГэВ/с растет как $A^{0,56 \pm 0,1}$, а $0,3 < P < 1$ ГэВ/с растет как $A^{0,24 \pm 0,1}$ (для углеродной мишени).

8. Показано, что увеличение атомного веса (2-12) налетающего ядра практически не влияет на импульсных и угловых характеристиках π^- - мезонов. Экспериментальные данные удовлетворительно описываются каскадной моделью (ДКМ) и моделью многократного рассеяния. Наблюдается существенное отличие от соответствующих характеристик π^- -мезонов, рожденных в нуклон-нуклонных взаимодействиях, что указывает на присутствие внутриядерных эффектов в процессах рождения пионов.

9. получено, что увеличение числа протонов ($P > 300$ МэВ/с) с увеличением атомного веса ядра-снаряда происходит преимущественно в области больших скоростей протонов. Импульсные и угловые распределения протонов из ядро-ядерных взаимодействий и их средние характеристики существенно зависят от атомного веса налетающего ядра. Импульсные спектры протонов становятся более жесткими, $\langle P_{\text{лаб}} \rangle$ увеличивается.

Наблюдается примерно 10 - процентное увеличение среднего поперечного импульса протонов в случае взаимодействия налетающих ядер с ядрами тантала.

10. наблюдается положительная корреляция в процессах множественного рождения частиц между π^- -мезонами и протонами в рт-взаимодействиях при импульсах $P > 5$ ГэВ/с и в столкновениях ядер He и C с танталом при импульсе на нуклон 4,2 ГэВ/с.

Полученные экспериментальные данные для характеристик вторичных частиц, образованных в ядро-ядерных взаимодействиях, в целом удовлетворительно описываются расчетами по модели ДКМ и ММР за исключением некоторых моментов: расхождение на "хвостах" распределений по $P_{\text{лаб}}$ и P_{\perp}^2 в HeC и CC взаимодействиях и по видимому, указывают на необходимость учета в ДКМ взаимодействия частиц с внутриядерными кластерами.

11. С помощью магнитного спектрометра "Альфа" проводился поиск аномальных дейтронов в пучках релятивистских ядер гелия-3 с импульсом 10,8 ГэВ/с. Исследовался выход дейтронов в реакциях фрагментации ^3He в дейтрон на углеродной мишени в зависимости от ее толщины в угловом конусе с раствором $\theta \approx 20$ мрад. Определены сечения взаимодействий с углеродом ядер гелия-3 и дейтерия, а также сечения фрагментации. Полученные экспериментальные данные с 95 % уровнем достоверности закрывают возможность существования аномальных дейтронов с временем жизни $10^{-11} \leq \tau_{\delta} \leq 4 \cdot 10^{-8}$ с в большой области значений ожидаемых сечений их генерации и взаимодействия с веществом.

12. Проведено исследование среднего свободного пробега в широком интервале расстояний от источника их образования, 1-30 см. Из полученных данных следует, что аномальное уменьшение среднего свободного пробега наблюдается только для таких первичных взаимодействий пучкового ядра углерода, где в качестве вторичного фрагмента образуется ядро углерода ^{12}C . (15 ± 2) % исследуемых ядер ^{12}C проявляет аномальное уменьшение среднего свободного пробега, $\lambda_{\delta} \approx (6,46 \pm 1,81)$ см.

13. Исследовались характеристики γ - квантов, сопровождающих образование многозарядных фрагментов с зарядом $Z_f \approx 5$ и 6. Установлено, что кроме γ - квантов от распада π^0 - мезонов имеется вклад малоэнергичных γ - квантов с изотропным угловым распределением в системе покоя фрагмента. Наблюден вклад γ - квантов от адронного тормозного излучения.

Показано, что избыток γ -квантов с энергией меньше 40 МэВ над фоном от известных источников, особенно заметен в событиях со вторичными ядрами ^{12}C . С учетом статистических погрешностей оценена доля аномальных шестизарядных фрагментов, испускающих γ -квантов, которая составляет (19 ± 5) %.

Таким образом, в работе проведено систематическое исследование взаимодействий легких ядер с ядрами, получены сечения неупругих взаимодействий, обнаружен ряд характеристик процессов множественного рождения вторичных частиц. Проведено исследование по обнаружению "аномалонов". Эти данные позволили провести сравнение экспериментальных результатов с теоретическими расчетами и найти область их применимости, что необходимо для дальнейшего развития теории сильных взаимодействий.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Абдрахманов Е.О.,..., Григалашвили Н.С. и др. Изучение множественности вторичных частиц во взаимодействиях протонов и альфа частиц с вольфрамом ($A \approx 184$) в интервале импульсов 2-5 ГэВ/нукл. ОИЯИ, P1-10779, Дубна, 1979; ЯФ, 1978, т. 27, в. 4, с. 1020.
2. Гаспарян А.П., Григалашвили Н.С. Возможность идентификации заряда релятивистских фрагментов ядра по плотности δ -электронов в пропановой пузырьковой камере. ОИЯИ, I-11335, Дубна, 1978.
3. Angelov N.,..., Grigalashvili N.S. et al. Secondary particle multiplicity and the number of interacting nucleons in the collisions of p,d,He and C with tantalum nuclei at 4,2 GeV/c per nucleon. JINR, E1-11517, Dubna, 1978; ЯФ, 1978, т. 28, в. 5, с. 1304.
4. Ахабабян Н.,..., Григалашвили Н.С. и др. Методические вопросы определения сечения неупругих взаимодействий релятивистских ядер с ядрами. ОИЯИ, I-12114, Дубна, 1979.
5. Ангелов Н.,..., Григалашвили Н.С. и др. Множественность вторичных отрицательных частиц в ядро-ядерных столкновениях при 4,2 ГэВ/с. ОИЯИ, P1-12281, Дубна, 1979;
6. Ангелов Н.,..., Григалашвили Н.С. и др. Некоторые методические вопросы, связанные с обработкой событий, образованных

- релятивистскими ядрами p,d,He и C в пропановой пузырьковой камере. ОИЯИ, I-12424, Дубна, 1979.
7. Angelov N.,...,Grigalashvili N.S. et al. Interaction cross sections and negative pion multiplicities in nucleus-nucleus collisions at 4,2 GeV/c per nucleon. JINR, D1-12548, Dubna, 1979; Z.Physik C, 1980, v.5, p.1.
 8. Гаспарян А.П., Григалашвили Н.С. и др. Анализ сечений неупругих взаимодействий релятивистских ядер с ядрами в простых геометрических моделях. ОИЯИ, I-12797, Дубна, 1979.
 9. Баатар Ц.,...,Григалашвили Н.С. и др. Множественность π^- -мезонов в неупругих взаимодействиях протонов с ядрами углерода и тантала в интервале импульсов (2-10) ГэВ/с. ОИЯИ, I-80-111, Дубна, 1980; ЯФ, 1980, т.32, в.5, с.1372.
 10. Ангелов Н.,...,Григалашвили Н.С. и др. Наблюдение корреляций между множественностями π^- - мезонов и протонов в неупругих взаимодействиях p,d,He и C с ядрами тантала в интервале импульсов (2-10) ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, P1-80-168, Дубна, 1980. ЯФ, 1980, т.432, в.6, с.1582.
 11. Баатар Ц.,...,Григалашвили Н.С. и др. Распределение по числу провзаимодействовавших нуклонов ядра-снаряда при неупругом столкновении релятивистских ядер d,He и C с танталом. ОИЯИ, P1-80-209, Дубна, 1980.
 12. Ангелов Н.,...,Григалашвили Н.С. и др. Анализ поведения сечений и множественности π^- -мезонов при взаимодействии релятивистских ядер p,d,He,C с ядрами углерода и тантала. ОИЯИ, P1-80-473, Дубна, 1980; ЯФ, 1981, т.33, в.4, с.1046.
 13. Агакишиев Г.Н.,...,Григалашвили Н.С. и др. Сечения вторичных многозарядных фрагментов релятивистского ядра углерода с пропаном. ОИЯИ, P1-81-79, Дубна, 1981.
 14. Агакишиев Г.Н.,...,Григалашвили Н.С. и др. Импульсные и угловые характеристики π^- - мезонов, образующихся при взаимодействии ядер p,d,He и C с ядрами тантала при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, P1-81-176, дубна, 1981; ЯФ, 1981, т.34, в.6, с.1517.
 17. Akhababian N.,...,Grigalashvili N.S. et al. Observation of π^- - meson correlated emission in C - Ta interactions at 4,2 GeV/c per nucleon. JINR, E1-81-470, Dubna, 1981.
 18. Agakishiev G.N.,...,Grigalashvili N.S. et al.Characteristics of production in the collisions at 4.2 GeV/c/nucleon d, α and C beams with tantalum. INR 1904/VI/PH/A, Warszawa, 1981.
 19. Agakishiev G.N.,...,Grigalashvili N.S.et al. Peripheral and central nucleus-nucleus collisions at 4,2 GeV/c per nucleon. JINR, E1-82-510, Dubna, 1982; Z.Phys.C, 1983, v.16, p.307.
 20. Агакишиев Г.Н.,...,Григалашвили Н.С. и др. Наблюдение барионов с большими поперечными импульсами во взаимодействиях ядер p,d,He и C с ядрами тантала при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, P1-82-535, Дубна, 1982.
 21. Агакишиев Г.Н.,...,Григалашвили Н.С. и др. Характеристики γ -квантов, сопровождающих образование многозарядных фрагментов ядра углерода при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, P1-82-795, Дубна, 1982.
 22. Агакишиев Г.Н.,...,Григалашвили Н.С. и др. Распределение по множественности π^- -мезонов образующихся при взаимодействии легких ядер с ядрами тантала при импульсе $P \approx 4,2$ ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, I-83-22, Дубна, 1983.
 23. Агакишиев Г.Н.,...,Григалашвили Н.С. и др. Множественности, импульсные и угловые характеристики π^- - мезонов, образующихся во взаимодействиях протонов, дейтронов, α -частиц и углерода с ядрами углерода при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, P1-84-35, Дубна, 1984.
 24. Gasparian A.P.,Grigalashvili N.S. Anomalous carbon nuclei. JINR, E1-84-278, Dubna, 1984; X Inter.Conference on Particles and Nuclei, Heidelberg, 1984.
 25. Agakishiev G.N.,...,Grigalashvili N.S. et al. Multiplicity, momentum and angular characteristics of π^- -mesons for pC,dC, α C and CC interactions at 4,2 GeV/c per nucleon. JINR, E1-84-321, Dubna, 1984; X Inter.Conference on Particles and Nuclei, Heidelberg, 1984.
 26. Аблеев В.Г.,...,Григалашвили Н.С. и др. Поиск аномальных дейтронов в реакции ${}^3\text{He} + \text{C} \rightarrow \text{d} + \text{X}$ при $P \approx 10,8$ ГэВ/с. ОИЯИ, P1-84-476, Дубна, 1984; X Inter.Conference on Particles and Nuclei, Heidelberg, 1984.
 27. Агакишиев Г.Н.,...,Григалашвили Н.С. и др. Множественности импульсные и угловые распределения протонов во взаимодействиях протонов и легких ядер (d,He,C) с ядрами углерода при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, P1-86-263, Дубна, 1986. ЯФ, 1986, т.43, в.2, с.366.
 28. Cheplakov A.P.,Chubarian M.Ya.,Gasparian A.P.,Grigalashvili

- N.S. γ -Production in peripheral interactions of relativistic carbon nuclei in propane and the anomalous problem. Z.Phys.A, Atomic nuclei, 1986, 324, p.465; JINR, E1-85-861, Dubna, 1985.
29. Армутлийски Д.,..., Григалашвили Н.С. и др. Импульсные и угловые характеристики протонов из α Та и α Та взаимодействий при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. ОИЯИ, P1-87-905, Дубна, 1987.
30. Григалашвили Н.С., Тевзадзе Д.В. Сечения неупругих взаимодействий легких релятивистских ядер с ядрами углерода. Труды Тбилисского гос. университета, 275, Тбилиси, 1987.
31. Григалашвили Н.С., Куциди Н.К. и др. Неупругие сечения и множественности вторичных заряженных частиц образованных соударениях релятивистских ядер с углеродом и танталом при 2,3 А и 4,2 А ГэВ/с. ЯФ, 1988, т.48, в.2, с.476.

Цитированная литература

1. Bradt H.L., Peters V. Phys.Rev., 1950, 77, p.54; Can.J.Phys., 1968, 46, p.572.
2. Neckman H.N. et al. Phys.Rev., 1978, C17, p.1735.
3. Ужинский В.В., Цэрэн Ч. ОИЯИ, P2-12079, Дубна, 1979.
4. Гаспарян А.П. и др. ОИЯИ, P1-80-853, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 октября 1992 года.