

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Г- 83

1-82-904

ГРИГАЛАШВИЛИ
Нугзар Сергеевич

СЕЧЕНИЯ НЕУПРУГИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
И ЧИСЛО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ НУКЛОНОВ
В СТОЛКНОВЕНИЯХ ЯДЕР P, D, He, C
С ЯДРАМИ C И Ta В ИНТЕРВАЛЕ
ИМПУЛЬСОВ (2-5) ГэВ/с НА НУКЛОН

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1982

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:
кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

А. П. Гаспарян

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

Ю. В. Тевзадзе

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук
профессор

Ю. А. Будагов

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

К. Г. Гуламов

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва.

Защита диссертации состоится "11" марта 1983 г. в 11 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 "4" февраля 1983 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Ученый секретарь
Специализированного совета

М. Ф. Лихачев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Релятивистская ядерная физика является новым направлением исследований физики высоких энергий. Ускорение ядер до высоких энергий дает возможность более детального изучения ядро-ядерных взаимодействий. Существуют различные теоретические подходы к рассмотрению механизма взаимодействия ядер с ядрами, создано большое количество моделей, для проверки которых необходима разнообразная экспериментальная информация. Важным вкладом в эту информацию является определение сечений взаимодействия ядер с ядрами, числа взаимодействующих нуклонов при столкновениях ядер и изучение процессов рождения вторичных фрагментов.

Цель работы состояла в разработке метода идентификации заряда релятивистских ядер в пропановой пузырьковой камере, измерении сечений неупругих взаимодействий ядер с ядрами, определении числа взаимодействовавших нуклонов пучковых ядер, измерении сечений выхода фрагментов налетающего ядра углерода с зарядами $1 \leq Z \leq 6$ и сечений взаимодействия с пропаном многозарядных спектаторных фрагментов непосредственно после их образования.

Новизна и научная ценность работы. Проведена калибровка метода идентификации заряда релятивистских ядер в пропановой пузырьковой камере.

Получены экспериментальные данные по сечениям неупругих взаимодействий ядер p, d, He и C с ядрами углерода и тантала в интервале импульсов (2-5) ГэВ/с на нуклон. Большинство этих данных были получены впервые.

Получены величины сечений выхода фрагментов пучкового ядра углерода с зарядами $1 \leq Z \leq 6$ при его взаимодействии с пропаном и ядрами тантала.

Получены распределения по числу провзаимодействовавших нуклонов ядра-снаряда при неупругом столкновении ядер d, He и C с ядрами тантала.

Измерены сечения взаимодействия многозарядных фрагментов ядра углерода, образованных в $C-(C, N_2)$ -столкновениях. Определены характеристики γ -квантов, сопровождающих образование многозарядных фрагментов.

Полученные экспериментальные данные и проведенный в диссертации сравнительный анализ позволили сделать определенные выводы о справедливости существующих моделей ядро-ядерных взаимодействий, которые важны для их дальнейшей разработки.

Практическая ценность работы. Экспериментальные данные диссертации могут быть использованы как при проектировании новых экспериментов по исследованию взаимодействий ядер с ядрами, так и в смежных областях науки (физика космических лучей, биомедицинские исследования, радиационная защита и т.д.).

Апробация работ. Основные результаты работы докладывались на международных конференциях по физике высоких энергий и структуре ядра в Токио (1978 г.), Ванкувере (1979 г.), Дрездене (1980 г.), Версале (1981 г.), Париже (1982 г.), Мичигане (1982 г.), на сессиях Отделения ядерной физики АН СССР в 1979–1982 гг., на семинарах ЛВЭ ОИЯИ, ИФВЭ ТГУ и совещаниях международного сотрудничества по исследованиям на двухметровой пропановой камере ЛВЭ ОИЯИ.

Публикации. Основные результаты диссертации изложены в работах, опубликованных в журнале "Ядерная физика", в препринтах, сообщениях ОИЯИ и в материалах вышеупомянутых международных конференций.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Текст содержит 98 страниц, включая 23 таблицы и 31 рисунок. Список литературы содержит 76 наименований.

Автор защищает:

1. Данные исследований взаимодействия ядер p, d, He и C с пропаном (C_3H_8), т.е. ядрами углерода и водорода, и танталом — около 60 тыс. взаимодействий в интервале импульсов (2–5) ГэВ/с на нуклон.
2. Результаты разработки метода идентификации заряда ядер в пропановой пузырьковой камере.
3. Результаты измерения сечений неупругих взаимодействий ядер p, d, He и C с ядрами углерода и тантала.
4. Данные по распределению числа провзаимодействовавших нуклонов ядра-снаряда во взаимодействиях ядер d, He и C с ядрами тантала.
5. Результаты измерения сечений выхода стриппинговых фрагментов с зарядами $1 \leq Z \leq 6$ в столкновениях углерода с пропаном и ядрами тантала.
6. Результаты определения сечения взаимодействия многозарядных фрагментов пучкового ядра углерода при столкновении с пропаном.

7. Данные по характеристикам γ -квантов, сопровождающих образование многозарядных фрагментов ядра углерода.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении подчеркнута актуальность изучения ядро-ядерных взаимодействий при высоких энергиях, сформулирована цель работы и приведено краткое содержание диссертации.

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

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

Камера экспонировалась в пучках релятивистских ядер p, d, He и C на синхрофазотроне 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-50/80.

Отобранные при просмотре события измерялись на полуавтоматах типа ПУОС и САМЕТ, работающих на линии с ЭВМ БЭСМ-4 ЛВТА. Математическая обработка событий проводилась на ЭВМ СРС-6500. Измеренные события записывались на ленту суммарных результатов. Точность определения параметров вторичных частиц оказалась равной

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

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

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. Значения плотностей δ -электронов для следов p, He и C ядер получились равными: $(0,021 \pm 0,001)$; $(0,085 \pm 0,002)$ и $(0,737 \pm 0,005)$ соответственно, что хорошо согласуется с ожидаемой Z^2 -зависимостью.

Во второй главе описана методика измерения сечений неупругого взаимодействия ядер с ядрами в пропановой камере, рассмотрены источники систематических ошибок и оценены их возможные величины, приво-

дятся соответствующие поправки, проанализированы и сопоставлены с расчетами по различным теоретическим моделям величины сечений неупругих взаимодействий ядер. Сечения неупругих взаимодействий ядер были определены при импульсах ядер-снарядов $P_0 = (2,3; 4,2; 5,1)$ ГэВ/с на нуклон. 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. I и на рис. I приведены величины сечений неупругих взаимодействий протонов, дейтронов, ядер гелия и углерода с ядрами углерода и тантала, усредненные по интервалу первичных импульсов (2-5) ГэВ/с.

Таблица I
Сечения неупругих взаимодействий релятивистских ядер в миллибарнах

$A_t \backslash A_p$	P	d	He	C
C	265±15	400±20	450±20	830±50
Ta	1695±70	1975±80	2390±95	3445±140

На рис. I показана зависимость измеренных к настоящему времени неупругих сечений ядер от атомного веса ядра-снаряда A_p и ядра-мишени A_t . Ядра-снаряды меняются в диапазоне от протона до ядер железа, а ядра-мишени - от дейтерия до урана.

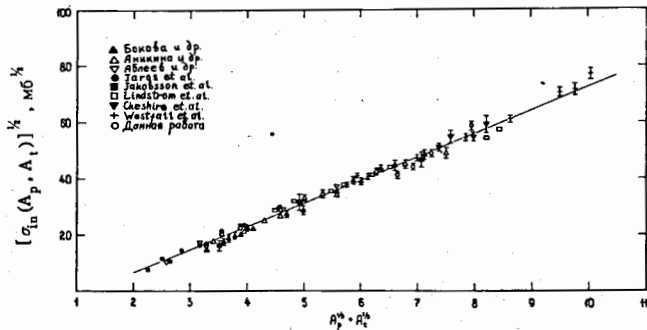


Рис. I. Экспериментальные значения сечений неупругих взаимодействий ядер с ядрами в интервале первичных импульсов на нуклон (1-5) ГэВ/с.

Прямая линия соответствует расчетам по феноменологической модели "твердых сфер" с перекрытием Брэдта и Петерса:

$$\sigma_{in} = \pi R_0^2 (A_p^{1/3} + A_t^{1/3} - b)^2. \quad (I)$$

Параметры R_0 и b оказались равными $R_0 = (1,46 \pm 0,01)$ фм, $b = 1,21 \pm 0,03$ при $\chi^2/n = 3,5$.

Экспериментальные данные аппроксимировались также зависимостью

$$\sigma_{in} = \pi R_0^2 [A_p^{1/3} + A_t^{1/3} - \beta (A_p^{-1/3} + A_t^{-1/3})]^2, \quad (2)$$

согласно которой величина перекрытия b зависит от атомных весов сталкивающихся ядер. Были получены следующие значения параметров: $R_0 = (1,32 \pm 0,01)$ фм, $\beta = 0,85 \pm 0,03$ при $\chi^2/n = 2,5$.

Экспериментальные сечения сравнивались также с четырьмя теоретическими расчетами в рамках моделей многократного рассеяния в глауберовском подходе. Во всех моделях использовались экспериментальные распределения плотности нуклонов в ядре в зависимости от параметра столкновения.

Различие моделей заключается в приближениях, упрощающих проведение конкретных качественных расчетов. Согласие теоретических и экспериментальных величин сечений оценивалось с помощью χ^2 -критерия. Проведенный анализ показал, что наиболее удачным описанием экспериментальных сечений следует считать феноменологический подход согласно формуле (2) и теоретическую модель В.В. Ужинского и Ч. Церэна*.

В третьей главе приводятся экспериментальные числа взаимодействия протонов в pTa , dTa - и C_{Ta} -взаимодействиях. Зная их величину, легко получить среднее число взаимодействовавших нуклонов $\langle \nu_p \rangle$. Для ядра-снаряда с одинаковым числом протонов и нейтронов

$$\langle \nu_p \rangle = 2 \langle n \rangle, \quad (3)$$

где $\langle n \rangle$ - среднее число взаимодействовавших протонов. Используя распределения по числу взаимодействовавших протонов, можно получить дисперсию распределения по числу взаимодействовавших нуклонов, $D_\nu = \sqrt{\langle \nu_p^2 \rangle - \langle \nu_p \rangle^2}$. Экспериментальные значения $\langle \nu_p \rangle$ оказались близкими к вычисленным согласно модели независимого взаимодействия нуклонов ядра-снаряда через величины сечений неупругих взаимодействий по формуле

$$\langle \nu_p^{рас.} \rangle = \frac{A_p \sigma_{in} A_t}{\sigma_{A_p A_t}}. \quad (4)$$

В табл. 2 приведены экспериментальные и расчетные величины $\langle \nu_p \rangle$, D_ν^2 и $\langle \nu_p^{рас.} \rangle$. Видно, что с увеличением A_p квадрат дисперсий D_ν^2 быстро растет, тогда как среднее значение $\langle \nu_p \rangle$ изменяется значительно медленнее. Полученные данные по средним числам взаимодействующих нуклонов и дисперсий позволили объяснить поведение средних мно-

* В.В. Ужинский, Ч. Церэн. ОИЯИ, Р2-12079, Дубна, 1979.

Таблица 2
Средние значения $\langle \nu_p \rangle$ и квадраты дисперсии D_y^2 распределений по числу провзаимодействовавших нуклонов ядер p, d, He, C с танталом

A_p	p	d	He	C
$\langle \nu_p \rangle$	1	$1,60 \pm 0,04$	$2,86 \pm 0,10$	$6,6 \pm 0,3$
D_y^2	0	$0,24 \pm 0,02$	$1,64 \pm 0,09$	$16,8 \pm 1,0$
$\langle \nu_p^{рас.} \rangle$	1	$1,72 \pm 0,10$	$2,84 \pm 0,16$	$5,90 \pm 0,34$

жественностей и дисперсий распределений по числу отрицательных частиц (π^- -мезоны), образующихся при взаимодействиях p, d, He и C с танталом при $P_0 = 4,2$ ГэВ/с. В случае взаимодействий p, d, He с танталом распределения по множественности близки к пуассоновским, тогда как при столкновении углерода с танталом наблюдалось существенное уширение распределения по числу рожденных π^- -мезонов. Было показано, что этот факт, как видно из табл.2, связан с увеличивающимся вкладом флуктуаций в числе провзаимодействовавших нуклонов ядра углерода в процесс рождения π^- -мезонов.

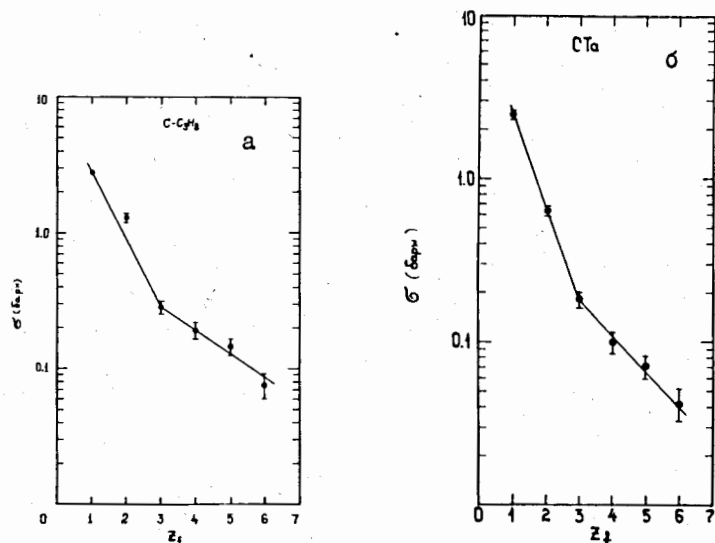


Рис. 2. Сечения выходов изотопов водорода, гелия, лития, бериллия, бора и углерода, образованных при столкновении ядра углерода а) с пропаном, б) с ядрами тантала.

На рис. 2а и б представлены сечения выходов изотопов водорода, гелия, лития, бериллия, бора и углерода, образованных в столкновениях ядра углерода с пропаном и танталом при $P_0 = 4,2$ ГэВ/с. Видно, что сечения выхода фрагментов всех зарядностей описываются двумя экспонентами с изломом при $Z=3$. В случае взаимодействия с пропаном наблюдается избыточный выход ядер гелия, что, по-видимому, связано со структурой ядра углерода.

В четвертой главе рассмотрены вопросы, связанные с сечениями взаимодействия многозарядных фрагментов налетающего ядра углерода с пропаном и характеристиками γ -квантов, сопровождающих их образование. Приводится методика определения сечений взаимодействия вторичных фрагментов с зарядами $2 \leq Z \leq 6$.

В табл. 3 и на рис. 3 представлены сечения взаимодействия фрагментов с пропаном в зависимости от атомного числа A_f . Сечения взаимодействия определялись на расстояниях $X \geq 10$ см от первичной звезды. Анализ экспериментального материала показал, что на расстояниях, меньших 10 см, имеются методические трудности, связанные с наложением следов и звезд от других фрагментов, образованных в одном и том же первичном взаимодействии. Поперечными линиями показан вероятный интервал изменения атомных чисел.

Таблица 3
Величины сечения взаимодействия для фрагментов с зарядом $2 \leq Z \leq 6$

Z	2	3	4	5	6
$\sigma_{\phi} / (\delta)$	$2,06 \pm 0,08$	$3,39 \pm 0,25$	$3,90 \pm 0,32$	$4,65 \pm 0,20$	$5,30 \pm 0,27$

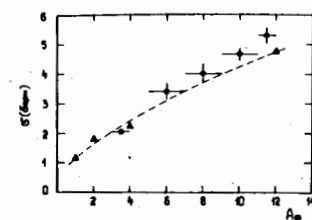


Рис. 3. Сечения взаимодействия фрагментов ядра углерода в зависимости от их атомного веса A_f (кружки). Треугольниками показаны сечения взаимодействия пучковых ядер.

Экспериментальные сечения для фрагментов с $A_f > 9$ соответствуют в 4 раза большей статистике первичных взаимодействий. Треугольниками показаны сечения взаимодействия с пропаном для пучковых протонов, дейтронов, ядер гелия и углерода. Штриховая линия проведена через экспериментальные точки для пучковых ядер.

Анализ материала показал, что сечения взаимодействия фрагментов с зарядами $Z_{\phi} = 3, 4, 5, 6$ систематически больше ожидаемой величины,

а фрагменты с зарядом $Z_{\phi} = 5$ и 6 имеют сечения взаимодействия на $(10 \pm 3)\%$ больше ожидаемой величины. Этот факт говорит, по-видимому, о вкладе возбужденных фрагментов с аномально большим временем жизни $\tau \approx 10^{-10}$ с. Снятие возбуждения ядер за счет сильных взаимодействий происходит за очень короткое время, $\tau \sim 10^{-23}$ с. Время, связанное со слабым взаимодействием, велико, $\tau > 10^{-2}$ с. Электромагнитным взаимодействием возбуждение, в основном, снимается за время $\tau < 10^{-12}$ с. Поэтому $\tau \approx 10^{-10}$ с представляется необычным. Там не менее, представляют интерес характеристики γ -квантов, сопровождающих образование многозарядных фрагментов углерода. Для наблюдения γ -квантов, испускаемых возбужденными фрагментами, наиболее удобно перевести экспериментальные характеристики γ -квантов в антилабораторную систему, в которой фрагмент практически покоится. Импульсный спектр γ -квантов, образованных при распаде π^0 -мезонов, как в лабораторной, так и в антилабораторной системе будет иметь характерную форму с максимумом при 70 МэВ/с. В антилабораторной системе, в системе покоя фрагмента, γ -кванты от возбужденных фрагментов будут иметь энергию $E_{\gamma} < 70$ МэВ.

На рис. 4 показан экспериментальный импульсный спектр γ -квантов с учетом эффективности их регистрации в лабораторной (а) и в антилабораторной (б) системах. Шпильчатая линия соответствует спектру γ -квантов, образованных при распаде π^0 -мезонов. Видно, что в антилабораторной системе имеется избыток γ -квантов с $P_{\gamma} < 70$ МэВ/с.

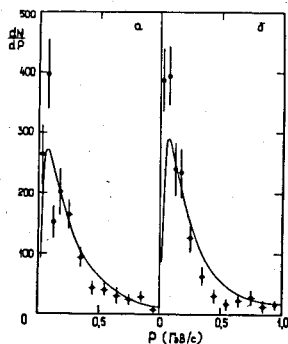


Рис. 4. Импульсный спектр γ -квантов (точки), испущенных при периферических взаимодействиях ядер углерода с пропаном: а) лабораторная система, б) антилабораторная система. Линия соответствует спектру γ -квантов, образованных при распаде π^0 -мезонов.

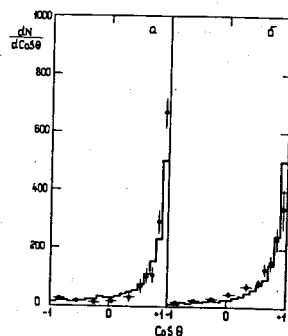


Рис. 5. Угловое распределение γ -квантов (точки), испущенных при периферических взаимодействиях ядра углерода с пропаном: а) лабораторная система, б) антилабораторная система. Гистограммы — угловое распределение γ -квантов, полученных при распаде π^0 -мезонов.

На рис. 5 приведено угловое распределение γ -квантов. Гистограммой показано фоновое распределение γ -квантов, образованных при распаде π^0 -мезонов. В лабораторной системе экспериментальное угловое распределение более вытянуто вперед по сравнению с фоновым, а в антилабораторной системе оно более изотропно.

Представленные на рис. 4 и 5 данные не противоречат утверждению о наличии дополнительного источника малоэнергичных γ -квантов с изотропным угловым распределением в системе покоя фрагмента.

Однако не исключено, что избыток γ -квантов обусловлен адронным тормозным излучением. Анализ имеющегося экспериментального материала по характеристикам γ -квантов во взаимодействиях π^- -мезонов с протонами и ядрами углерода при импульсе 40 ГэВ/с показал, что имеется заметный вклад γ -квантов от адронного тормозного излучения. В процессе сильного взаимодействия частиц происходит существенное изменение зарядов частиц и их импульсов. Поэтому вдоль траекторий вторичных частиц и вдоль пучкового направления вперед должны наблюдаться тормозные γ -кванты.

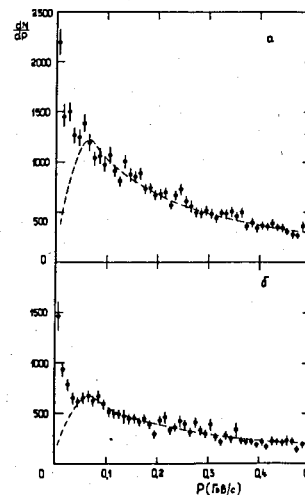


Рис. 6. Импульсные спектры γ -квантов (точки), испущенных в а) π^-p , б) π^-C -столкновениях в антилабораторной системе. Штриховая линия соответствует импульсным спектрам γ -квантов, образованных при распаде π^0 -мезонов.

На рис. 6 представлены импульсные спектры γ -квантов в антилабораторной системе для π^-p - (а) и π^-C -взаимодействий (б) при 40 ГэВ/с. Здесь материал статистически обеспечен существенно лучше, и поэтому экспериментальные данные представлены с шагом 10 МэВ/с. Штриховая линия соответствует γ -квантам, образованным при распаде π^0 -мезонов. Отчетливо виден вклад процесса адронного тормозного излучения при $P_{\gamma} < 70$ МэВ/с, который составляет $\sim 5\%$ от всех γ -квантов. Если энергетический

спектр γ -квантов от адронного тормозного излучения имеет плавную спадающую форму, то γ -кванты, полученные при снятии возбуждения, должны иметь линейчатый спектр. Экспериментальное разрешение по импульсам γ -квантов ($\frac{\Delta P}{P} \sim 15\%$) и малая статистика вряд ли позволят разделить эти два процесса.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. С участием автора был получен и проанализирован большой экспериментальный материал по ядро-ядерным взаимодействиям в интервале импульсов (2-5) ГэВ/с на нуклон налетающего ядра - около 60 тыс. взаимодействий ядер p , d , He и C с пропаном (C_3H_8), т.е. с ядрами углерода и водорода, и танталом.

2. Проведена калибровка метода идентификации заряда релятивистских фрагментов ядер по плотности δ -электронов на следе в пропановой пузырьковой камере.

3. Получены величины сечений неупругих взаимодействий ядер p , d , He и C с ядрами углерода и тантала в интервале импульсов (2-5) ГэВ/с на нуклон. Сечения для ядер d , He и C с ядрами тантала получены впервые.

4. Дан обзор имеющихся в настоящее время экспериментальных данных по сечениям взаимодействия релятивистских ядер с ядрами. 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 теорий многократного рассеяния нуклонов.

5. Измерены величины сечений 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.

6. 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.

7. Получены величины сечений взаимодействия вторичных многозарядных фрагментов с зарядом $Z \geq 2$. Установлено, что сечение взаимодействия фрагментов с $Z_f \geq 3$ на расстоянии больше 10 см от первичной звезды больше ожидаемых сечений взаимодействий соответствующих ядер, находящихся в основном состоянии. Фрагменты с зарядами $Z_f = 5$ и 6 имеют сечение взаимодействия на $(10 \pm 3)\%$ больше ожидаемой величины.

8. Даны экспериментальные характеристики γ -квантов, сопровождающих образование фрагментов с зарядами $Z_f = 5$ 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.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Гаспарян А.П., Григалашвили Н.С. Возможность идентификации заряда релятивистских фрагментов ядра по плотности δ -электронов в пропановой пузырьковой камере. ОИЯИ, I-II335, Дубна, 1978.
2. Ахабабян Н., Баатар Ц., Гаспарян А.П., Григалашвили Н.С. и др. Методические вопросы определения сечения неупругих взаимодействий релятивистских ядер с ядрами. ОИЯИ, I-12114. Дубна, 1979.
3. Гаспарян А.П., Григалашвили Н.С. и др. Анализ сечений неупругих взаимодействий релятивистских ядер с ядрами в рамках простых геометрических моделей. ОИЯИ, I-12797, Дубна, 1979.
4. Баатар Ц., Гаспарян А.П., Гафуров Г.Г., Григалашвили Н.С. и др. Распределения по числу провзаимодействовавших нуклонов ядра-снаряда при неупругом столкновении релятивистских ядер d , He и C с танталом. ОИЯИ, PI-80-209, Дубна, 1980.
5. 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, PI-80-473, Дубна, 1980; ЯФ, 1981, т. 33, с. 1046.
6. Агакишиев Г.Н., ..., Григалашвили Н.С. и др. Сечения взаимодействия вторичных многозарядных фрагментов релятивистского ядра углерода с пропаном. ОИЯИ, PI-81-79, Дубна, 1981.
7. 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, PI-82-795, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 декабря 1982 года.