

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-88-790

УДК 539.172.17+

539.1.074.2

ЗАРУБИН

Анатолий Вадимович

СОЗДАНИЕ УСТАНОВКИ
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
СЕЧЕНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
С ИЗМЕНЕНИЕМ ЗАРЯДА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР
 ^{19}F И ^{24}Mg
НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ ЛВЗ ОИЯИ

Специальность: 01.04.01 – экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1988

Работа выполнена в Объединенном научно-методическом отделении Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

ГОЛУТВИН
Игорь Анатольевич

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

КУРЕПИН
Алексей Борисович

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

СТРУНОВ
Леонид Николаевич

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва.

Защита диссертации состоится "12" января 1984 г.
в 10³⁰ часов на заседании специализированного Совета Д.047.01.02
при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных
исследований, г. Дубна, Московской обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "29" ноября 1983 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета

М.Ф. Лихачев
М.Ф. ЛИХАЧЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

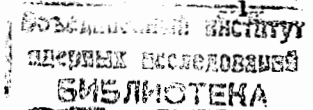
Актуальность

Начиная с 70 годов, наряду с интенсивно развиваемыми исследованиями эффектов кумулятивного рождения частиц, новых динамических моделей в ядро-ядерном взаимодействии, образования горячей и плотной ядерной материи, активно изучаются процессы фрагментации релятивистских ядер. Исследование и использование процессов фрагментации углубляет знания о структуре ядер, позволяет в лабораторных условиях получать и исследовать нейтроноизбыточные ядра вдали от области стабильности, формировать вторичные пучки редких фрагментов, включая короткоживущие ядра, обеспечивает данными, необходимыми при изучении распространения космических лучей в Галактике и гелиосфере и т.д. Решение этих вопросов требует измерения сечений ядро-ядерного взаимодействия на процентном уровне точности.

При исследовании фрагментации релятивистских ядер возникла и еще одна проблема. В начале 80 годов в ряде ускорительных экспериментов (например, группы Фридлендера) появились указания на существование аномалонов. Они представлялись компонентой (порядка 6 %) релятивистских ядерных фрагментов с аномально большим сечением взаимодействия, в 5-6 раз превышающим известное сильное взаимодействие. Несмотря на то, что в других экспериментах они не подтвердились, ситуация оставалась спорной и противоречивой. Она усугублялась интригующей интерпретацией аномалонов как носителей открытого цвета. Таким образом, к 1983 г. сложилась актуальная экспериментальная проблема, сводившаяся к поиску аномальной фрагментации.

В поисковых экспериментах важным критерием достоверности является правильность измерения неупругих сечений нормальной компоненты релятивистских фрагментов и первичных ядер. Поэтому получение новых данных на высоком уровне точности по сечениям взаимодействия (и в первую очередь с изменением заряда) релятивистских ядер и их фрагментов стало актуальной задачей.

Создание новых ускорителей релятивистских ядер ("Нуклотрон" и др.) и дальнейшее развитие релятивистской ядерной физики (например, исследование перехода адронной материи в кварк-глюонную плазму) связано с расширением экспериментальных методов и, в первую очередь, с внедрением в методику регистрации релятивистских ядер арсенала физи-



ки частиц высоких энергий. Поэтому применение широко известных детекторов (например, пропорциональных камер) для регистрации высокоэнергетических ядер является актуальной методической задачей.

Цель работы – создание электронной установки и проведение цикла экспериментов на высоком статистическом уровне обеспеченности и с малыми систематическими погрешностями:

- по измерению сечений с изменением заряда релятивистских ядер и их фрагментов,
- по проверке экспериментальных указаний на наблюдение аномальной фрагментации.

Научная новизна исследования состоит в реализации оригинальной методики проведения эксперимента и получении новых экспериментальных данных:

- по измерению с точностью $I-I,5\%$ A -зависимости сечений взаимодействия с изменением заряда ядер ^{19}F с импульсом порядка 4 A ГэВ/с ,
- по сечениям рождения и взаимодействия в веществе плексигласа релятивистских фрагментов ядер ^{24}Mg с импульсом $4,5 \text{ A ГэВ/с}$, впервые ускоренных на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ.

Высокая точность измерения позволила выделить вклад фоторасщепления в неупругое ядро-ядерное взаимодействие, дать верхнюю оценку на существование аномалонов, экспериментально проверить гипотезу описания неупругих ядро-ядерных сечений аддитивными "радиусами взаимодействия" релятивистских ядер.

Практическая ценность работы заключается в создании новой экспериментальной установки, исследовании особенностей работы пропорциональных камер при регистрации треков релятивистских ядер, получении новых данных по ядро-ядерному взаимодействию.

Реализованные методические решения и полученные данные могут быть использованы при исследовании тонких эффектов взаимодействия релятивистских ядер, изучении распространения космических лучей в Галактике для астрофизики, для практических задач радиационной безопасности в космонавтике и спутниковой связи, при расчете поглощенных доз для ядерной радиотерапии в медицине, наконец, при исследовании прохождения релятивистских ядер через вещество (что актуально, в частности, при создании криогенных ускорителей).

Автор защищает:

I. Методические результаты:

- экспериментального исследования особенностей работы пропорциональных камер в пучках релятивистских ядер,

- создания, запуска установки в ядерных пучках и исследования ее характеристик, которые обеспечили проведение исследований ядро-ядерных взаимодействий.

2. Экспериментальные результаты:

- измерения с точностью $I-I,5\%$ A -зависимости сечений взаимодействия с изменением заряда ядер ^{19}F , позволившие выделить вклад фоторасщепления в неупругое ядро-ядерное взаимодействие, согласующийся с теорией возбуждения в налетающем ядре дипольного $E1$ резонанса с последующим распадом по каналу $\Delta Z = 1$,
- измерения сечений взаимодействия с изменением заряда с веществом плексигласа релятивистских фрагментов ядер ^{24}Mg с зарядом $6 + II$, позволившие оценить верхнюю границу на аномалоны, рождающиеся в конечных состояниях нормальные фрагменты, – менее $1,6\%$ – и каскадные аномалоны – менее 1% , – при расстоянии до вершины взаимодействия более $0,8 \text{ см}$.

Апробация работы. Результаты, положенные в основу диссертации, докладывались на научных семинарах ОНМО и ЛВЭ ОИЯИ, на заседаниях секций Ученого совета ОИЯИ, представлялись на XXII Международную конференцию по физике высоких энергий (ГДР, Лейпциг, 1984), на II и III международных конференциях по ядро-ядерному взаимодействию (Швеция, Висбю, 1985; Франция, Сен-Мало, 1988).

Публикации. В диссертации обобщены результаты некоторых работ, выполненных автором в 1982–1988 гг. в Общественном научно-методическом отделении. Основные результаты опубликованы в работах ^{1-5/}.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и изложена на 113 страницах. В ней содержится 50 рисунков, 8 таблиц и список цитируемой литературы из 131 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении подчеркнута актуальность проблемы, сформулированы цели работы, определены основные положения, вынесенные на защиту.

В первой главе изложены соображения по выбору схемы постановки эксперимента, описаны пучки релятивистских ядер, установка и ее основные узлы, исследованы характеристики установки ^{1/}.

Основные требования к установке: идентификация первичного ядра и его трека, определение вершин взаимодействия, идентификация фрагментов по заряду.

В основу подхода было положено совмещение в одном эксперименте двух независимых электронных методик, регистрирующих разные атрибуты ядро-ядерного взаимодействия: релятивистские фрагменты и вторичные частицы. Выбор метода исследования определяется свойствами взаимодействия релятивистских ядер: фрагменты падающего ядра образуются как частицы-наблюдатели в периферических взаимодействиях, излучаются в узком конусе вперед и имеют скорости, близкие к скорости первичного ядра. Для оценки углового распределения фрагментов анализируются и сравниваются с экспериментом различные модели, описывающие механизм фрагментации. Для оценки вторичных частиц используются экспериментальные данные. В основу определения зарядов фрагментов и отбора событий с кратным взаимодействием положен оригинальный метод секционированного черенковского детектора, впервые предложенный в ОИЯИ^{*)}, где радиаторы счетчиков одновременно служат мишенью. Несомненным достоинством черенковского счетчика является квадратичная зависимость интенсивности излучения от заряда. От других электронных детекторов его выгодно отличает почти полная нечувствительность к медленным и сильно ионизирующим вторичным частицам, и пониженная чувствительность к релятивистским частицам, излучаемым под большими углами. Вторичные частицы регистрируются одноплечевым координатным спектрометром на основе пропорциональных камер. Вершина взаимодействия в такой схеме эксперимента может измеряться в черенковском детекторе по изменению заряда в соседних счетчиках, или в координатном плече по трекам вторичных частиц (для части событий).

Схема экспериментальной установки^{/I/} и типичный дисплей события с однократным взаимодействием показаны на рис. 1. Установка располагалась на канале 5В выведенного пучка синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ. Использовались пучки ядер углерода, кислорода, фтора и магния. Интенсивность пучка составляла $3 \cdot 10^3$ за сброс для магния, угловая расходимость менее 5 мрад, размеры $b_x \times b_y = 9 \times 13$ мм. Для исключения искажения информации формировался "мягкий" триггер на каждое ядро, входящее в центральную часть мишени, с помощью спинтилляционных счетчиков SI+5. Заряд пучкового ядра измерялся черенковским счетчиком с разрешением $b_z = 0,26e$. Треки пучкового ядра регистрировались пропорциональными камерами, с учетом рекомендаций, сформулированных во второй главе. 12 пропорциональных камер собраны в 4 трехкоординатных блока. Чувствительная область ϕ I28, шаг проволочек 2 мм, высоковольтный зазор 7 мм. Точность измерения координат входа пучка в мишень составляла 0,4 мм, точность азимутального угла - 0,3 мрад.

^{*)} И. А. Голутвин, В. А. Никитин, В. А. Свиридов, Сообщение ОИЯИ, PI-83-583, Дубна, 1983.

Принципиальной частью установки является "живая" мишень-детектор из 40 черенковских счетчиков с радиаторами из плексигласа толщиной по пучку 5,2 мм и фотоумножителями типа ФЭУ-84. По оси пучка счетчики расположены с шагом 6 мм, в перпендикулярной плоскости они развернуты веером с угловым шагом $25,7^\circ$ и периодом 180° , образуя чувствительную область диаметром 20 мм. Полное внутреннее отражение света создает условия для полного светосбора, обеспечивая оптимальное пространственное разрешение. Амплитуды черенковских импульсов измерялись 256-канальными зарядово-цифровыми преобразователями. В паузах между сбросами пучка все счетчики контролировались световыми сигналами. Взаимодействия ядер и фрагментов отбирались по изменению амплитуды в соседних счетчиках. Среднее зарядовое разрешение составило 0,26e. Эффективность разделения фрагментов с пробегом более 3,6 см иллюстрируется на рис. 2. Видно, что идентифицируются фрагменты вплоть до бора. Зарядовое разрешение по семи счетчикам составляет 0,1e.

Пропорциональные камеры плеча ПК 5-7 и ПК 8 использовались для уточнения вершины взаимодействия первичного ядра и фрагментов. Каждый из блоков состоял из трех однокоординатных камер аналогично ПК I-4. Размер чувствительной области камер ПК 5,8 - 384 мм, ПК6 - 640 мм, ПК7 - 896 мм. Камеры продувались "магической" газовой смесью: аргон, изобутан (30%), фреон I3ВI (0,2%) и изопропиловый спирт. Информация с камер считывалась последовательно электроникой TeCroy

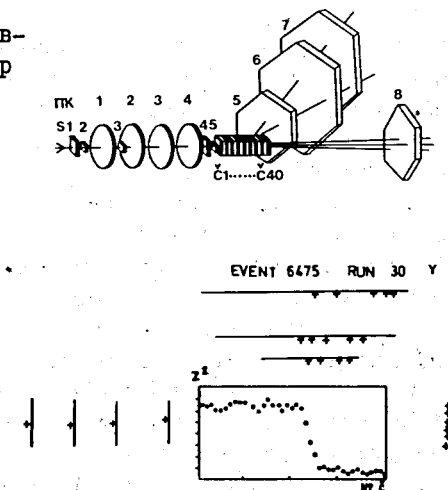


Рис. 1. Схема установки и дисплей события. ПК I-8 - блоки пропорциональных камер, SI-5 и CI-40 - спинтилляционные и черенковские счетчики.

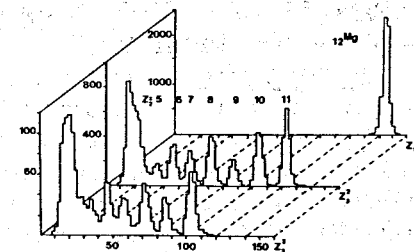


Рис. 2. Зарядовые спектры ядер ^{24}Mg (Z_1^2) и его фрагментов второго (Z_2^2) и третьего поколений (Z_3^2) при отборе событий с пробегом более 3,6 см.

в три блока управления считыванием в стандарте КАМАК. На рис. 3 приведено распределение разности координат вершин однократного взаимодействия, измеренных черенковскими счетчиками и камерами плеча. Среднеквадратичное отклонение составляет от 3,4 до 5,1 мм при разных критериях отбора треков вторичных частиц. С учетом кулоновского рассеяния вторичных частиц точность измерения координаты вершины взаимодействия черенковскими счетчиками составила менее 3 мм. Число событий под пиком составляет до 4% от числа взаимодействий, что соответствует жестким вторичным частицам с учетом акцептанса плеча.

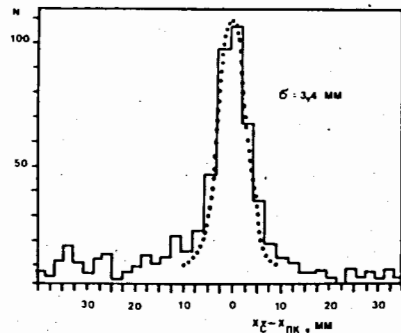


Рис. 3. Распределение разности координат вершин взаимодействия, измеренных черенковскими счетчиками и камерами плеча.

Для контроля набора данных использовалась ЭВМ СМ-3 и система программ MES. Скорость приема данных составляла от 10 до 40 событий в зависимости от длины события и интенсивности пучка, что соответствует 7-28 тысячам событий, регистрируемых за сутки ускорительного времени.

Установка позволила провести цикл исследований фрагментации релятивистских ядер^{2/}, измерить А-зависимости сечений с изменением заряда ядра^{4,5/}, выполнить поиск аномального взаимодействия фрагментов релятивистских ядер на высоком уровне статистической обеспеченности и точности измерений^{3/}.

Во второй главе анализируется возможность применения пропорциональных камер для регистрации релятивистских ядер^{1/}.

Пропорциональные камеры – наиболее распространенный координатный детектор в современном эксперименте в физике высоких энергий. Для успешного использования камер и для регистрации ядер важно определить их методические особенности в этих условиях.

Исследования проведены со стандартными пропорциональными камерами^{*)} с шагом проволочек 2 мм, высоковольтным зазором 7 мм и "магической" газовой смесью на основе изобутана. Изучены эффективность регистрации, множественность и ширина кластеров (кластер – группа

*) А.В.Вишневский и др. Препринт ОИЯИ, I3-83-16, Дубна, 1983.

последовательно сработавших проволочек) в зависимости от заряда ядра и режимов работы камеры.

Эффективность регистрации ϵ как функция напряжения на камере для ядер с $Z = 12, 10, 6, 1$, показана на рис. 4а. Проведенный анализ кривых эффективностей показал, что напряжения U_0 , соответствующие равной эффективности (в области $\epsilon \leq 1$), связаны с зарядом ядра Z простым выражением:

$$U_0 \approx -\ln Z^2 \quad (I)$$

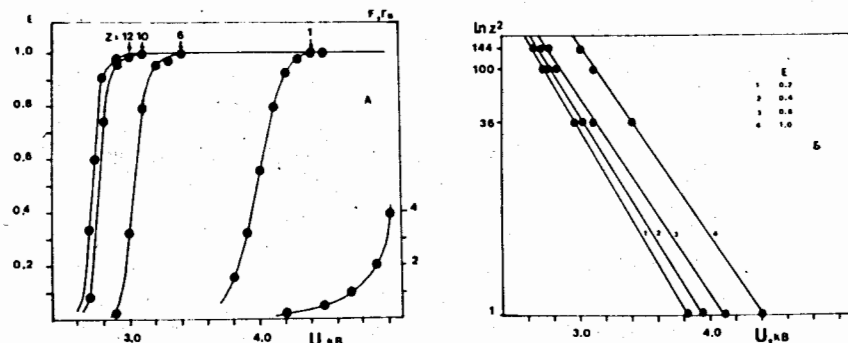


Рис. 4. Зависимость от напряжения (а) эффективности регистрации ядер с $Z = 12, 10, 6, 1$ и (б) $\ln Z^2$ при эффективности 0,2; 0,4; 0,8; 1,0.

Несмотря на приближенность выражения (I), линейность зависимости хорошо прослеживается на рис. 4б. Выражение (I) отражает первую методическую особенность. Анализ зависимостей на рис. 4 приводит к выводу, что пропорциональные камеры с цифровым съемом информации могут применяться в качестве детектора – дискриминатора заряда ядра. Простое соотношение (I) позволяет не только подбирать рабочие напряжения, но и оценивать эффективность дискриминации. Важным является и возможность работы с пониженным напряжением (или повышенным порогом регистрации).

На рис. 5 приведены типичные зависимости эффективности регистрации от напряжения и вероятности регистрации событий с определенной множественностью N_1 (рис. 5а) и шириной S_1 (рис. 5б) кластеров. Если для однозарядных частиц средняя множественность и ширина кластеров слабо меняются с напряжением от 1 до 1,18 и 1,114 соответственно, то для ядер эта зависимость существенна. В начале плато эффективности регистрации ядер $\langle N \rangle = 1,3$, $\langle S \rangle = 1,12$ и достигают в максимуме 4 и 3,5 соответственно. Показана вторая особенность: параметры кластеров определяются δ -электронами, сопровождающими ядра при про-

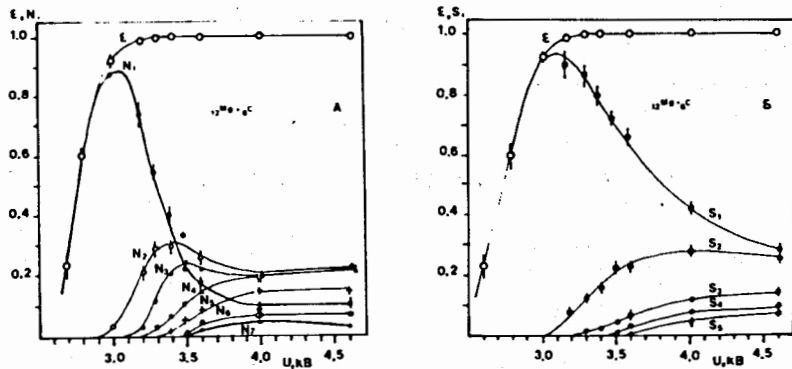


Рис. 5. Вероятности регистрации событий с (а)-определенной множественностью N_1 и (б)-шириной S_1 кластеров в зависимости от напряжения.

хождении через вещество камерн, и пропорциональны Z^2 . Таким образом, с увеличением Z и напряжения возрастает число кластеров и ухудшается пространственное и двухтрековое разрешение. Это приводит к ограничению динамического диапазона по напряжению при одновременной регистрации ядер с разными зарядами. Отмечена третья особенность: если среднеквадратичное отклонение центра кластера от трека растет с напряжением и Z , то ширина на полувысоте этого распределения не зависит от Z и напряжения и равна 1,65 мм для заряда 9 в диапазоне напряжений от 3,2 до 4,6 кВ. Поэтому подчеркивается актуальность развития нетрадиционных подходов к реконструкции множественных событий с участием релятивистских ядер и фрагментов, например, в рамках модели - интеграла по искомой траектории^{ж)}.

Сформулированы требования по оптимизации конструкции камер, их компоновке, по выбору режимов работы. Выбрана конкретная схема координатного детектора с использованием трехкоординатных блоков, в которых сигнальные плоскости повернуты относительно друг друга на 60° .

Таким образом, определены практически полезные рекомендации по применению камер для регистрации ядер.

В третьей главе описано использование установки для измерения сечений взаимодействия с изменением заряда ядер ^{19}F с ядрами углерода, алюминия, меди, индия, вольфрама, висмута и урана с точностью 1-1,5%^{4,5/}.

Между черенковскими счетчиками располагались три мишени с толщинами, соответствующими примерно 10, 20 и 30% взаимодействий фтора.

ж) Ю.А. Яцененко. Препринт ОИЯИ, Р1-88-29, Дубна, 1988.

Использование трех мишеней позволяет уменьшить влияние систематических и случайных ошибок и увеличить точность измерения. На рис. 6 приведен спектр сигналов от счетчиков, расположенных за мишенью. Пики ядер фтора и фрагментов описывались гауссовскими распределениями с учетом "белого" спектра от ядер, провазимодействовавших с веществом счетчика. Смешанный пик фрагментов с зарядом менее 5 описывался логарифмически-нормальным распределением. Сечение взаимодействия определялось по формуле:

$$\sigma_{AZ>1} = \left(\ln \frac{N_1}{N_2} - \frac{1}{\lambda} \right) \frac{A}{L \cdot \rho \cdot N_A} \quad (2)$$

где L , A и ρ - толщина, атомный вес и плотность мишени, l - толщина плексигласового радиатора, λ - средняя длина свободного пробега фтора в плексигласе, N_1 и N_2 - число ядер фтора в счетчиках до и после мишеней. Оценки систематических погрешностей, проведенные прямым расчетом и полученные из сравнения результатов на разных мишенях, с разными счетчиками и различными способами обработки, показали, что они не превышают статистических точностей. Экспериментальные данные^{4,5/} показаны на рис. 7, где аппроксимированы параметризацией Брэдта (кроме тяжелых мишеней):

$$\sigma_{AZ>1} = 10 \log^2 (A_p^{1/3} + A_T^{1/3} - \beta)^2 \quad (3)$$

с параметрами $\tau_0 = 1,478 \pm 0,006$ фм и $\beta = 0,996 \pm 0,028$. Данные сравниваются с различными экспериментальными результатами, полученными в рА, НеА, НеА и FeА взаимодействиях. Обсуждаются различные параметризации и степень их применимости. Все массивы данных сравниваются с результатами расчетов в рамках теории многократного рассеяния Глаубера, где распределение плотности ядерной материи рассчитано

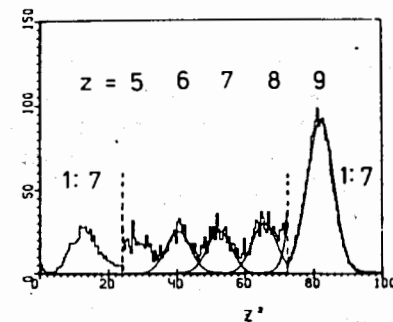


Рис. 6. Спектры сигналов черенковских счетчиков после мишеней.

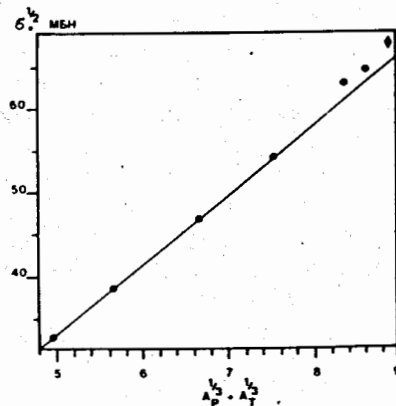


Рис. 7. Зависимость сечения от масс падающего ядра и ядра мишени.

методом Хартри-Фока. Показано удовлетворительное согласие теории и эксперимента (кроме тяжелых мишеней). Анализируется описание неупругих ядро-ядерных сечений аддитивными "радиусами взаимодействия" ядер:

$$\sigma = 10\pi (R_p + R_T)^2 \quad (4)$$

Следуя выражению (4), извлекается аддитивный "радиус взаимодействия" нуклона (см. рис. 8). Показана применимость гипотезы описания сечений (4) с точностью до 1,5% до $A_T \leq 60$ и - до 3,7% для более тяжелых ядер. Обсуждается тенденция отклонения сечений взаимодействия с тяжелыми ядрами на рис. 7,8. Показано, что эти отклонения согласуются с вкладом фоторасщепления в неупругое ядро-ядерное взаимодействие, описываемого теорией возбуждения в налетающем ядре дипольного E1-резонанса с последующим распадом по каналу $\Delta Z = 1$.^{5/} Из рис. 9 видно согласие теоретических значений сечения образования ^{18}O при фоторасщеплении ядра ^{19}F и эксперимента. Экспериментальные данные получены из Z_T - зависимости сечений фрагментации фтора в кислород с учетом ядерного канала фрагментации. Последний вычислен двумя способами: на основе гипотезы факторизации сечений фрагментации и прямым фитированием данных по трем легким мишеням. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы и в качестве критерия достоверности измерения средних длин пробега релятивистских ядер в сложных мишенях в экспериментах по поиску аномального взаимодействия фрагментов.

В четвертой главе описано исследование на установке сечений взаимодействия с изменением заряда ядер ^{24}Mg и его фрагментов с веществом плексигласа^{3/} с целью проверки экспериментального наблюдения аномальной фрагментации.

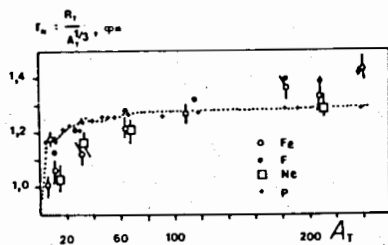


Рис. 8. Зависимость "радиуса взаимодействия" нуклона от массы ядра мишени.

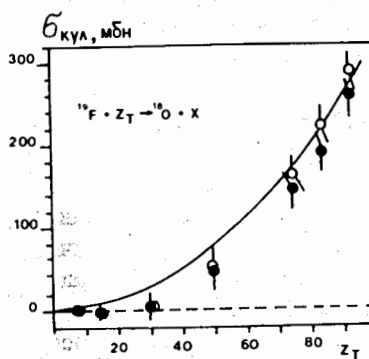


Рис. 9. Сравнение экспериментальных данных и теоретических значений сечения образования ^{18}O при фоторасщеплении ядра ^{19}F .

Дается краткий обзор экспериментальных работ по исследованию аномалий в период 1954-1985 гг. Поскольку длина пробега носит статистический характер, то аномальность не выделяется в индивидуальном взаимодействии. Явление "проявляется" статистически и приводит к увеличению числа взаимодействий вблизи точки рождения фрагментов. Анализ 22 экспериментов с фотоэмulsionной методикой и 15 - с другой методикой, включая электронную, показывает, что, как правило, наблюдение эффекта связано с малой статистической обеспеченностью опытов. Однако первый отрицательный результат получен именно с применением фотоэмulsionии в ОИИИ в группе К.Д.Толстова^{*)} Делается вывод о своевременности и актуальности постановки эксперимента по проверке явления электронной методикой и получения статистически обеспеченного результата для индивидуальных каналов фрагментации.

При постановке задачи обработки информации с установки анализируется "топологический" метод. Отмечается как недостаток большая величина поправок до 20% для функции поглощения в интервале от 1 до 2,5 см.

Проведен расчет вклада вторичных частиц с учетом их импульсного и углового распределения в смещение $\langle z^2 \rangle$ фрагментов как функции расстояния от вершины первичного взаимодействия. Вместе с учетом вклада δ -электронов первичного ядра получено хорошее согласие с экспериментальными сдвигами. С учетом этого выбираются границы разделения фрагментов.

Для измерения вероятностей рождения и сечений взаимодействия фрагментов магния разработан "спектральный" метод анализа^{3/} информации секционированного черенковского детектора, свободный от недостатков "топологического" подхода. С помощью алгоритма "скачка" амплитуды в двух последовательных счетчиках определяется только счетчик, в котором произошло взаимодействие, и анализируются амплитудные спектры сигналов, образуемых фрагментами в девяти последующих счетчиках. Величина поправки, связанная с ошибкой определения точки первичного взаимодействия, составляет лишь 2,4%, в том числе для первого счетчика - 1,6%. Выведено выражение, описывающее функцию поглощения - зависимость числа фрагментов от расстояния до вершины взаимодействия. Оно учитывает выбывание фрагментов, родившихся в первичном взаимодействии, и фрагменты, родившиеся в одном или двух промежуточных взаимодействиях старших фрагментов.

*) В.Р.Ванник et al. Proc. of 18-th Int. Cosmic Ray Conf., Bangalore, India, 1983, v. 7, p. 44.

Обработаны 65000 взаимодействий ядер ^{24}Mg с плексигласом. Получены вероятности фрагментации ядер и фрагментов с $Z = 12 + 7$ в разные каналы с $Z \geq 6$. Вероятности фрагментации в изотопы элементов с нечетными Z подавлены, что согласуется с рядом моделей (в которых вероятности рождения связываются с зависимостью от энергии связи фрагмента в ядре) и данными, полученными в Беркли при энергии 2А ГэВ. На рис. 10 показаны функции поглощения в плексигласе фрагментов с $Z = 11 + 6$, которые описываются одной экспонентой с параметрами нормальных средних длин пробега, которые в пределах ошибок согласуются с результатами, описанными в предыдущей главе. На рис. 11 показана зависимость средней длины свободного пробега в плексигласе от заряда фрагмента для полученных в эксперименте данных и опубликованных по экспериментам в Беркли. Функциональная зависимость данных, полученных при разных энергиях с точностью порядка 2,5%, аппроксимируется степенной функцией $1/2$.

Из анализа данных (рис. 10) видно, что описание функций поглощения не требует привлечения гипотезы об аномальности. Формально дается оценка на сумму всех аномалонов, переходящих в нормальные фрагменты с $Z = 11 + 6$ в диапазоне пробегов более 0,8 см, величиной поправки на первый счетчик, равной 1,6%. Если предположить, что фрагмент сохраняет свою аномальность и не проявляется в нормальных функциях

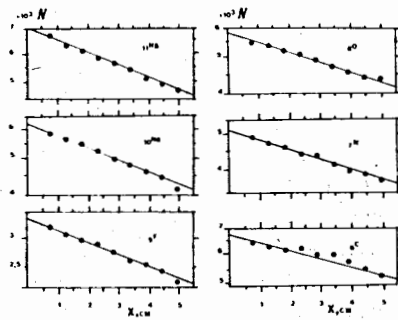


Рис. 10. Функции поглощения в плексигласе фрагментов магния с $Z = 11 + 6$.

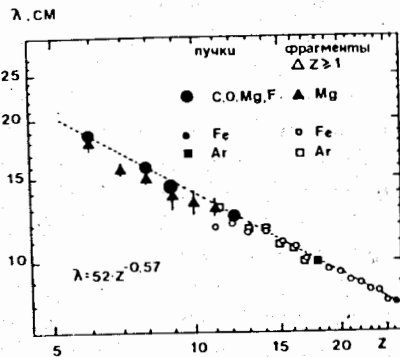


Рис. 11. Зависимость средней длины пробега λ в плексигласе от заряда фрагмента Z .

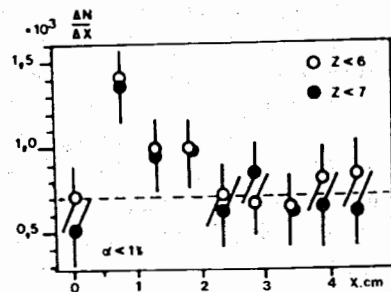


Рис. 12. Скорость образования младших фрагментов как функции расстояния от точки первичного взаимодействия.

поглощения, как предсказывают некоторые теоретические модели, то каскадный механизм должен приводить к возрастанию в первых счетчиках количества младших фрагментов. На рис. 12 показана функция скорости образования младших фрагментов с $Z < 7$ и $Z < 6$ от расстояния от точки взаимодействия. В первом счетчике заметны отклонения, которые позволяют оценить верхнюю границу вероятности рождения каскадного аномалона величиной менее 1%. (Такое отклонение можно также объяснить недоучетом погрешности определения вершины взаимодействия).

По крайней мере можно определенно констатировать неподтвержденные наблюдения аномалонов в сантиметровом диапазоне длин пробегов $1/3$. В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы:

1. Создана и запущена в ядерном пучке экспериментальная установка в составе 40-канального секционированного черенковского детектора, впервые предложенного в ОИЯИ, и координатного детектора на основе 24 пропорциональных камер с общим числом каналов 4352.

Исследованы основные характеристики установки: точность определения параметров первичного ядра, эффективность разделения фрагментов по заряду и точность определения вершины взаимодействия, позволившие провести цикл исследований ядро-ядерного взаимодействия на высоком статистическом уровне.

2. Впервые систематически исследованы методические особенности работы пропорциональных камер при регистрации релятивистских ядер с зарядами $1 + 12$. Показано, что обычные пропорциональные камеры с цифровым съемом информации могут применяться в качестве детектора-дискриминатора заряда ядер. Изучены и сформулированы ограничения и практически полезные рекомендации по применению пропорциональных камер для регистрации релятивистских ядер.

3. Впервые с точностью $1 + 1,5\%$ измерена в диапазоне ядер мишени от углерода до урана А-зависимость сечений взаимодействия с изменением заряда ядер фтора-19, позволившая экспериментально проверить гипотезу описания неупругих ядро-ядерных сечений аддитивными "радиусами взаимодействия" ядер.

4. С использованием высокой точности измерения сечений экспериментально выделен вклад фоторасщепления в неупругое ядро-ядерное взаимодействие, согласующийся с теорией возбуждения в налетающем ядре дипольного Е1-резонанса с последующим распадом по каналу с изменением заряда на 1.

5. Разработан "спектральный" метод анализа информации черенковского секционированного детектора и применен для:

а) определения вероятностей фрагментации ядер с зарядом $7 + 12$,

которые качественно согласуются с моделями, предполагающими зависимость вероятности фрагментации от энергии связи фрагмента в первичном ядре;

б) измерения средних длин свободного пробега релятивистских фрагментов магния-24 с зарядом $6 + II$, которые согласуются с результатами A -зависимости сечений с изменением заряда в пределах экспериментальных ошибок и ранее полученными значениями в Беркли.

6. На основе "спектрального" метода простым способом, свободным от поправок на алгоритм реконструкции события, получены экспериментальные оценки на верхнюю границу вероятности образования при энергиях синхрофазотрона:

а) аномальных фрагментов, рождающихся в конечном состоянии нормальные фрагменты с зарядами $6 + II$, - менее 1,6%;

б) каскадных аномальных фрагментов с зарядами меньше 6 и 7 - менее 1%,

при расстоянии от точки взаимодействия более 0,8 см.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. И.Верешш, А.И.Голутвин, ... А.В.Зарубин и др. в сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 4-84, Дубна: ОИЯИ, 1984, с. 10-14.
V.Dodokhov, S.Dolya, ..., A.Zarubin et al., In: Proc. of the XXII Int. Conf. on High Energy Phys., Leipzig, DDR, v. 1, p. 372, 1984.
2. И.А.Голутвин, И.В.Горбунов, ..., А.В.Зарубин и др. в сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 5-84, Дубна: ОИЯИ, 1984, с. 8-12.
A.I.Chernenko, V.K.Dodokhov, ..., A.V.Zarubin et al, In: Proc. of the II Int. Conf. on Nucleus-Nucleus Collisions, Sweden, Visby, v. 1, p. 23, 1985.
3. И.Верешш, В.М.Головин, ..., А.В.Зарубин и др. в сб.: Краткие сообщения ОИЯИ № 9-85, Дубна: ОИЯИ, 1985, с. 43-52.
4. В.М.Головин, И.А.Голутвин, ..., А.В.Зарубин и др. в сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 17-86, Дубна: ОИЯИ, 1986, с. 13.
5. В.М.Головин, И.А.Голутвин, ..., А.В.Зарубин и др. Препринт ОИЯИ, PI-88-175, Дубна, 1988.
S.N.Dolya, A.G.Pedunov, ..., A.V.Zarubin et al. In: Contributed Papers of the III Int. Conf. on Nucleus-Nucleus Collisions, Saint-Malo, France, p. 173, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 ноября 1988 года.