

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-90-463

ДАМДИНСУРЭН ЦЭРЭНГИЙН

УДК.539.172.17

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАГМЕНТАЦИИ
ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР-МИШЕНЕЙ
В ПУЧКАХ ПРОТОНОВ И ЯДЕР УГЛЕРОДА
С ЭНЕРГИЕЙ 3.65 ГэВ НА НУКЛОН**

**Специальность: 01.04.16 - физика ядра
и элементарных частиц**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители :

доктор физико-математических наук
профессор

ЧУЛТЭМ Даржаагийн

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

КОЗМА Петр

Официальные оппоненты :

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

КАРНАУХОВ

Виктор Александрович

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

МУХИН

Сергей Васильевич

Ведущее научно-исследовательское учреждение :

Научно-исследовательский институт ядерной физики при МГУ,
Москва.

Защита диссертации состоится _____ 1990 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, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ

Автореферат разослан " _____ " _____ 1990 г.

Ученый секретарь

Специализированного совета

М.Ф. Лихачев

М.Ф. Лихачев

Актуальность проблемы. Исследования фрагментации ядер релятивистскими частицами и ядрами представляют большой научный интерес для понимания процессов, связанных с поведением ядерной материи при высоких энергиях возбуждения. Такие исследования проводятся как для ядер-снарядов, так и ядер-мишеней.

Экспериментальные исследования по фрагментации ядер мишеней, проведенные американскими физиками в Беркли (США) при энергии 2.1 ГэВ на нуклон, указывают на возможные нарушения некоторых основных концепций физики высоких энергий, таких как предельная фрагментация и факторизация в случае мультибарионных систем. В этих исследованиях наблюдалось изменение распределения выхода продуктов фрагментации ядра-мишени с изменением энергии налетающих ядер-снарядов и этот эффект был интерпретирован как признак нарушения предельной фрагментации. Наблюдалось также различие этого распределения при взаимодействии релятивистских протонов и ядер со сложными ядрами, что было интерпретировано как нарушение факторизации. Однако, эти исследования были проведены при энергиях ниже области так называемой предельной фрагментации.

Энергия релятивистских ядер, достигнутая на синхротроне ОИЯИ, примерно в 2 раза превосходит энергию ядер в Бевалаке и в отличие от последнего охватывает область предельной фрагментации, поэтому исследования процесса фрагментации тяжелых ядер-мишеней и проверка принципа факторизации в диапазоне энергии 3-4 ГэВ на нуклон представляют собой актуальную проблему физики ядра.

Цель работы. Настоящая диссертация посвящена исследованию фрагментации тяжелых ядер-мишеней серебра, тантала, золота и свинца под действием протонов и ядер углерода с энергией 3.65 ГэВ на нуклон, определению соответствующих зарядовых и массовых распределений остаточных ядер и проверке выполнимости принципов предельной фрагментации и факторизации в релятивистских взаимодействиях.

Новизна и научная ценность работы. На пучках релятивистских частиц и ядер синхрофазотрона проводятся эксперименты по релятивистской ядерной физике с помощью трековых и электронных методов. Однако, существующие методы, несмотря на их достоинства, имеют некоторые ограничения по экспозиционным и временным загрузкам.

Гамма-спектроскопический метод, использованный нами в исследованиях фрагментации ядер-мишеней релятивистскими частицами и ядрами, свободен от этих недостатков и позволяет изучать детали взаимодействия между сложными ядрами при релятивистских энергиях, такие как парциальные сечения многоканальной реакции глубокого расщепления, деления и мультифрагментации тяжелых ядер в широком диапазоне масс и зарядов образующихся нуклидов.

Практическая ценность. Полученные в данной работе экспериментальные данные могут быть использованы как для проверки различного рода модельных расчетов (внутриядерный каскад и фэйрстрик), так и для проверки некоторых основных концепций релятивистской ядерной физики (предельная фрагментация и факторизация).

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на научных семинарах Лаборатории высоких энергий, Монгольского Государственного Университета, (г. Уланбатор, 1989), Института Ядерной Физики (г. Ржев, 1990), а также на международных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (г. Ленинград, 1987).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в журналах "Nucl.Phys.A", "Ядерная физика", "Nucl.Instr. and Meth.," "Czech.J.Phys." и в виде препринтов ОИЯИ, а также в материалах совещаний по ядерной спектроскопии.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы.

Автор выдвигает для защиты следующие результаты :

- Экспериментальные данные по фрагментации тяжелых ядер Ag, Ta, Au и Pb протонами и ядрами углерода с энергией 3.65 ГэВ на нуклон, которые были получены с использованием метода

гамма спектроскопии при непосредственном участии автора

- Мониторирование релятивистских пучков протонов и ядер углерода с помощью реакций $^{27}\text{Al}(p, X)^{24}\text{Na}$ и $^{27}\text{Al}(^{12}\text{C}, X)^{24}\text{Na}$ методом наведенной активности.

- Обработку спектров гамма-квантов нуклидов с помощью автоматических программ на ЭВМ и процедуры идентификации нуклидов, образующихся в исследуемых реакциях.

- Разработку методики определения независимых и кумулятивных выходов нуклидов образующихся в релятивистских взаимодействиях с учетом цепочек бета-распада.

- Определение зарядовых и массовых распределений нуклидов, образующихся при фрагментации тяжелых ядер мишеней.

- Результаты тестового эксперимента по измерению выходов осколков деления ядер урана-235 тепловыми нейтронами.

- Интерпретацию экспериментальных результатов исследования в рамках гипотез предельной фрагментации и факторизации.

- Сравнение результатов, полученных при энергии 3.65 ГэВ на нуклон, с экспериментальными данными, полученными при других энергиях ядер-снарядов.

Содержание диссертации.

Во введении обосновывается актуальность исследования фрагментации ядер-мишеней релятивистскими ионами, а также сформулированы основная цель и краткое содержание настоящей диссертации.

В первой главе изложены физические и методические обоснования применения ядерно-спектроскопических методов в исследованиях ядро-ядерных взаимодействий при релятивистских энергиях.

Приведен краткий обзор опубликованных работ по данной проблеме, где обсуждаются вопросы, связанные с отличительной особенностью процесса фрагментации ядер снарядов и мишеней. Кроме того, рассмотрены основные результаты экспериментальных исследований по фрагментации ядер-мишеней, выполненных американскими учеными в Беркли при релятивистских энергиях ниже области предельной фрагментации, а именно 2.1 ГэВ на нуклон.

Даны физические обоснования экспериментального исследования фрагментации ядер-мишеней пучками релятивистских частиц и ядер на синхрофазотроне ОИЯИ при энергиях, охватывающих область предельной фрагментации.

Обсуждаются достоинства и недостатки трековых и электронных методов при применении их в исследованиях релятивистских взаимодействий. Рассмотрены вопросы методического обоснования применения гамма-спектрометрического метода в исследованиях фрагментации ядер-мишеней при релятивистских энергиях.

Во второй главе описаны методика определения выходов нуклидов, образующихся в релятивистских взаимодействиях с помощью гамма-спектрометрического метода и результаты тестового эксперимента.

В экспериментах были использованы мишени, приготовленные в виде тонких фольг из серебра, тантала, золота и свинца высокой чистоты (не менее 99.999%). Облучение мишеней проводилось на выведенном пучке релятивистских протонов и ядер углерода с энергией 3.65 ГэВ на нуклон на синхрофазотроне ОИЯИ. Время облучения мишеней составляло несколько часов в зависимости от интенсивности релятивистских пучков и избранной постановки эксперимента.

Измерение активности, наведенной в облученных мишенях, лавсановых и мониторинных алюминиевых фольгах, проводилось с помощью спектрометра с Ge(Li)-детектором и персональной ЭВМ. Объем детектора 45 см³, энергетическое разрешение составляет 2.8 КэВ для гамма-линии с энергией 1332.5 КэВ (Co-60).

Мониторирование пучков релятивистских протонов и ядер углерода производилось с использованием реакций $^{27}\text{Al}(p, X)^{24}\text{Na}$ и $^{27}\text{Al}(^{12}\text{C}, X)^{24}\text{Na}$. Были определены полные сечения этих реакций при энергии 3.65 ГэВ на нуклон. Значения полных сечений для указанных реакций (8.3 ± 0.7) мбн и (19.7 ± 1.5) мбн сравниваются со значениями, измеренными при различных энергиях релятивистских протонов и ядер углерода. На рис.1 показан ход энергетических зависимостей полных сечений реакций $^{27}\text{Al}(p, X)^{24}\text{Na}$ и $^{27}\text{Al}(^{12}\text{C}, X)^{24}\text{Na}$. Обработка спектров гамма-квантов нуклидов, образующихся в релятивистских

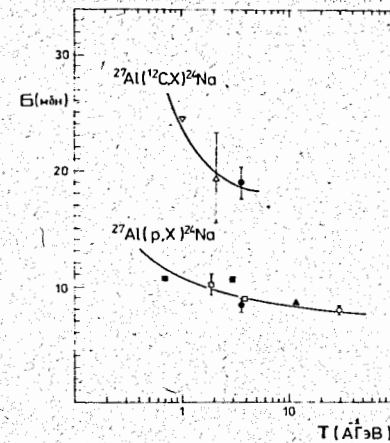


Рис.1 Зависимость сечений реакций $^{27}\text{Al}(^{12}\text{C}, X)^{24}\text{Na}$ и $^{27}\text{Al}(p, X)^{24}\text{Na}$ от энергий ядер углерода и протонов. ● - наши данные. ▽, △, ■, □, ▲, ○ - другие работы [1.]

взаимодействиях, осуществлялась с помощью автоматических программ SAMPO-80 и ACTIV на ЭВМ PDP-II/70, ЕС-1061 и ПЭВМ "ПРАВЕЦ-16". Идентификация нуклидов, образующихся при фрагментации ядер-мишеней, производилась по энергиям и соотношениям интенсивностей гамма-квантов, испускаемых при их радиоактивном распаде, а также периодам полураспада нуклидов. В качестве примера на рис.2 представлен фрагмент спектров гамма-квантов нуклидов, образующихся при взаимодействии ядер углерода с ядрами тантала при энергии 3.65 ГэВ на нуклон [1].

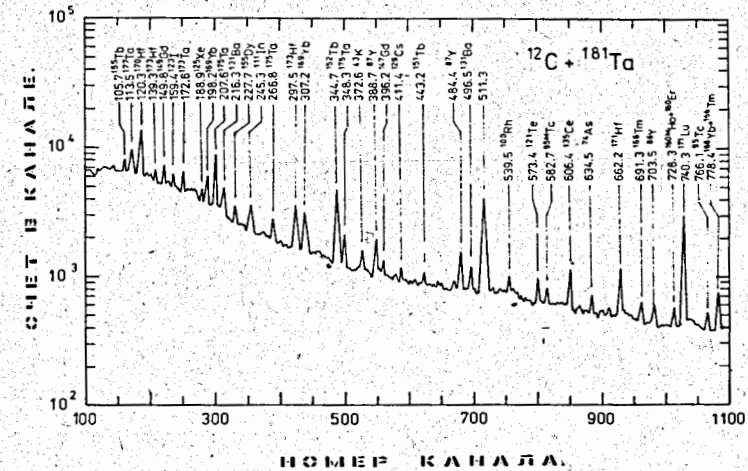


Рис.2 Фрагмент спектра гамма-квантов нуклидов, образующихся при взаимодействии ядер углерода с ядрами тантала при энергии 3.65 ГэВ на нуклон.

Выходы остаточных ядер, образующихся в релятивистских взаимодействиях, были определены по следующей формуле :

$$N_n(j) = C \cdot \sum_{i=1}^n Y_i \cdot P_i \cdot \sum_{k=1}^n b_k \cdot F_k(j), \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (1.)$$

$$b_k = \prod_{p \neq k} \frac{\lambda_p}{\lambda_p - \lambda_k}, \quad p = 1, 1+1, \dots, n, \quad b_k = 1 \quad \text{для} \quad n = 1.$$

$$\text{и } F_k(j) = [1 - \exp(-\lambda_k t_1)] \cdot \exp[-\lambda_k t_2(j)] \cdot \lambda_k^{-1} \{ [1 - \exp[-\lambda_k t_3(j)]] \},$$

где λ_k - постоянная распада k -го нуклида ; Y_i - независимый выход i -го нуклида ; t_1, t_2, t_3 - времена облучения, охлаждения и измерения соответственно, N_n - число зарегистрированных распадов i -го нуклида, которое в нашем случае выражается через $S/\epsilon f k$; S - площадь фотопика гамма-линии, f, k, ϵ - соответствующие значения квантового выхода, коэффициента самопоглощения и эффективности регистрации ; C - фактор нормировки ; n - длина изобарной цепочки ; m - число последовательных измерений $m > n$; p_i - коэффициент ветвления i -го нуклида в $i+1$.

В случае двух нуклидов :



формула (1) принимает простой вид :

$$N_B(j) / F_A(j) = Y_A + Y_B F_B(j) / F_A(j) \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (3.)$$

в котором F_A и F_B представляют собой функции, изменяющиеся от измерения к измерению в зависимости от t_2 и t_3 . Таким образом, определение выходов Y_A и Y_B сводится к решению систем уравнений (3). Подгонка экспериментальных данных производилась методом наименьших квадратов (М.Н.К.).

Выходы нуклидов вычислялись на ЭВМ с помощью специально

Таблица I. Значения сечения образования нуклидов при фрагментации ядер тантала ядрами углерода с энергией 3.65 ГэВ на нуклон.

Нуклид	Тип выхода	Сечение [мбн]	Нуклид	Тип выхода	Сечение [мбн]
Na-24	К	36.4±3.3	Ce-132	К	6.0±1.9
Mg-28	К	12.1±0.9	Ce-133	К	19.9±2.8
Sc-46	Н	13.7±2.9	Ce-135	К	12.3±1.6
Sc-48	Н	3.4±0.7	Pr-138m	Н	3.1±1.8
Mn-52	К	1.8±0.4	Ba-140	К	13.8±2.7
Fe-59	К	2.7±0.7	Eu-145	К	19.3±2.7
Zn-65	К	10.5±1.4	Eu-146	К	21.0±2.8
As-71	К	6.8±0.7	Eu-147	К	29.7±3.8
Ga-72	К	6.8±1.2	Gd-147	К	25.7±3.1
Ga-73	К	4.0±1.1	Eu-148	Н	2.3±0.4
As-74	Н	7.3±0.9	Gd-149	К	29.9±4.0
Se-75	К	7.7±1.8	Eu-150	Н	7.5±2.0
Rb-81	К	7.9±0.8	Tb-151	К	17.3±6.9
Rb-82m	Н	6.0±1.5	Dy-153	К	15.0±4.8
Rb-84	Н	12.1±0.5	Er-160	К	14.9±2.6
Y-86	К	8.2±1.4	Er-161	К	24.8±9.0
Zr-86	К	1.9±0.4	Yb-166	К	47.0±9.8
Y-87m	К	11.6±1.9	Yb-169	К	10.3±1.5
Nb-89	К	5.2±0.7	Hf-170	К	43.2±9.4
Nb-90	К	6.4±1.1	Lu-171	К	31.7±3.3
Tc-93	К	2.1±0.4	Hf-173	К	36.1±4.9
Tc-94	Н	2.6±0.6	Ta-174	К	23.8±3.2
Rh-100	К	13.0±2.6	Hf-175	К	43.6±4.9
Ag-104	К	5.0±1.4	Ta-175	К	23.8±3.2
Sb-118m	К	3.6±1.2	Ta-178m	Н	12.0±3.5
Sb-126	Н	6.9±1.8	Ta-182	К	3.9±0.7
Sb-127	К	11.2±2.1	Re-182	К	24.1±8.2
La-132	К	19.4±1.2	Ir-184	К	8.4±4.1

созданной для этой цели программы "YIELD". В табл. I приведены значения сечений образования нуклидов при фрагментации ядра мишени тантала ядрами углерода с энергией 3.65 ГэВ на нуклон. Экспериментальные данные представляют независимые (Н) и кумулятивные (К) выходы нуклидов. Приведенные ошибки значений сечения представляют собой стандартные статистические отклонения.

Методика определения выходов нуклидов была проверена в тестовом эксперименте по измерению выходов осколков деления ядер урана-235 тепловыми нейтронами. В этом эксперименте использовалась мишень урана-235 с массой 1 мг и чистотой 99.999 %, которая облучалась на выведенном пучке тепловых нейтронов с потоком $2 \cdot 10^8$ н/см²·с⁻¹ реактора ИБР-2 ОИЯИ. Время облучения мишени составляло 175 мин. Процедура обработки экспериментальных данных как в тестовом эксперименте, так и в случае исследования фрагментации во взаимодействиях с релятивистскими ионами была аналогичной.

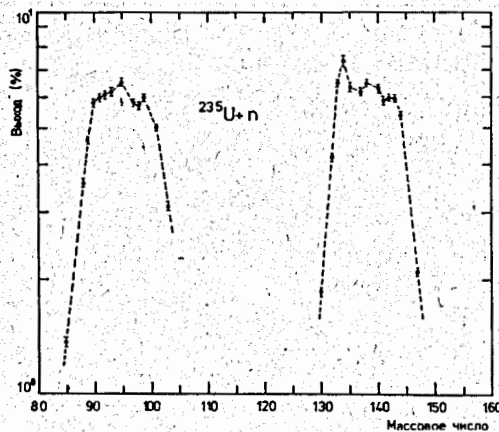


Рис.3 Массовое распределение осколков деления ядер U-235 тепловыми нейтронами.

Все значения выходов для 28 осколков деления в диапазоне массовых чисел от 85 до 151, измеренные в этом эксперименте, в пределах статистических ошибок хорошо согласуются с ранее

опубликованными данными для деления U-235 тепловыми нейтронами. На рис.3 показано измеренное в данном эксперименте массовое распределение осколков деления ядер U-235. Результаты тестового эксперимента показывают правильность алгоритма программы "YIELD" и правомерность его применения для определения выходов нуклидов, образующихся в релятивистских взаимодействиях [2].

В третьей главе представлены результаты исследования зарядовых и массовых распределений нуклидов, образующихся при фрагментации тяжелых ядер мишеней.

Сечение образования нуклидов может быть аппроксимировано следующей формулой :

$$\sigma(Z, A) = \sigma(A) \cdot [2\pi C_Z^2(A)]^{-1/2} \cdot \exp \left[\frac{-(Z - Z_p(A))^2}{2C_Z^2(A)} \right] \quad (4.)$$

где $\sigma(A)$ — изобарическое сечение образования нуклидов, $C_Z(A)$ — параметр ширины зарядового распределения, $Z_p(A)$ — наиболее вероятный заряд для данного A. Величина $Z_p(A)$ представляется в виде полинома :

$$Z_p(A) = \sum_{n=1}^m a_n \cdot A^n \quad (5.)$$

Поскольку из-за распада короткоживущих нуклидов число реально наблюдаемых изобар с данным массовым числом A оказывается невелико. То для нахождения параметров зарядового распределения использовались данные нуклидов с близкими значениями массового числа A в предположениях, что в узком диапазоне массовых чисел параметр ширины C_Z не зависит от A, а изобарические сечения являются функцией, плавно зависящей от массового числа A.

Таким образом, экспериментальные данные для сечений

образования нуклидов были разбиты на несколько групп по массовым числам, чтобы успешно определить параметры зарядовых распределений нуклидов. Подгонка этих данных выполнялась с помощью программы ROISM с использованием робастной минимизации [3]. В результате такой подгонки были определены параметры зарядового распределения. Используя результаты этой подгонки, были построены зарядовые и массовые распределения нуклидов, образующихся в релятивистских ядро-ядерных взаимодействиях.

В качестве примера в табл.2 и 3, а также на рис.4 представлены результаты такой минимизации для определения зарядовых распределений и изобарических сечений нуклидов, образующихся при фрагментации ядер тантала протонами и ядрами углерода с энергией 3.65 ГэВ на нуклон.

Во всех изученных реакциях, зарядовые распределения нуклидов с достаточно высокой точностью описываются гауссовыми распределениями.

Таблица 2. Параметры зарядовых распределений нуклидов, образующихся в реакции $p + {}^{181}\text{Ta}$ при энергии 3.65 ГэВ на нуклон.

Группа	Массовый диапазон	C_Z	a	b
1.	24 - 65	0.68	0.60	0.44
2.	71 - 81	1.06	0.31	0.45
3.	84 - 90	0.62	-0.55	0.48
4.	93 - 105	0.90	-2.29	0.46
5.	121 - 135	1.25	3.42	0.40
6.	145 - 153	1.10	3.27	0.42
7.	155 - 170	0.60	0.78	0.41
8.	171 - 175	0.90	-2.84	0.43

Таблица 3. Параметры зарядовых распределений нуклидов, образующихся в реакции ${}^{12}\text{C} + {}^{181}\text{Ta}$ при энергии 3.65 ГэВ на нуклон.

Группа	Массовый диапазон	C_Z	a	b
1.	24 - 65	0.62	-1.12	0.48
2.	72 - 81	1.12	1.24	0.43
3.	84 - 90	0.64	1.10	0.44
4.	93 - 105	0.95	0.24	0.44
5.	125 - 135	0.60	1.50	0.42
6.	145 - 153	1.20	1.80	0.42
7.	155 - 170	0.65	-5.82	0.46
8.	171 - 184	1.20	-7.62	0.48

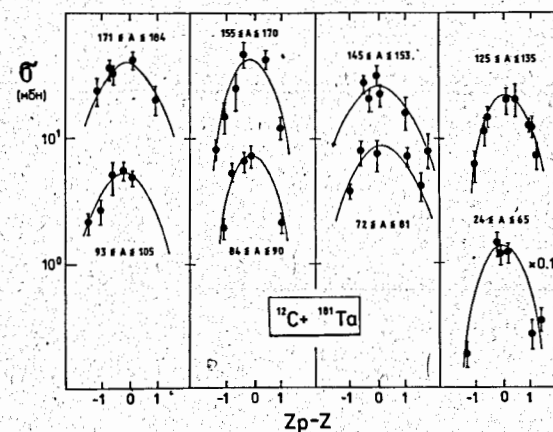


Рис.4 Зарядовые распределения нуклидов, образующихся в реакции ${}^{12}\text{C} + {}^{181}\text{Ta}$ при энергии 3.65 ГэВ на нуклон.

Анализ массовых распределений нуклидов был проведен с привлечением полного набора экспериментальных данных, включая зарядовые распределения нуклидов. Построение кривых

изобарических выходов было выполнено посредством суммирования экспериментальных выходов нуклидов с одинаковыми массовыми числами. Массовые распределения нуклидов при фрагментации ядер тантала под действием протонов и ядер углерода при энергии 3.65 ГэВ на нуклон показаны на рис.5. Отметим, что наблюдается сходство массовых распределений нуклидов для различных мишеней. Этот эффект указывает на общий характер возбуждения ядер мишеней. Кроме того, наблюдается подобие распределений в случае взаимодействия протонов и ядер углерода с одной и той же мишенью, что свидетельствует о факторизации сечения образования нуклидов.

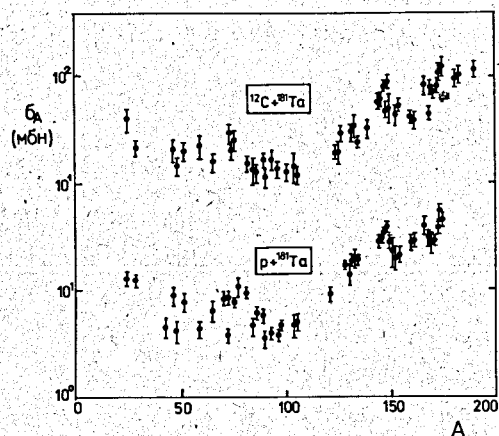


Рис.5 Массовые распределения нуклидов, образующихся при фрагментации ядер тантала ядрами углерода и протонами с энергией 3.65 ГэВ на нуклон.

В четвертой главе обсуждаются экспериментальные результаты, полученные в исследованиях фрагментации тяжелых ядер-мишеней и проводятся сравнения их с данными, полученными при других энергиях ядер-снарядов.

Анализ экспериментальных результатов был проведен в целях проверки выполнимости концепций предельной фрагментации и факторизации. Сечение образования нуклидов при фрагментации ядер-мишеней может быть представлено в виде :

$$\sigma_{M,C} = \sigma_M \cdot \gamma_C \quad (6.)$$

где σ_M - фактор мишени, который зависит от ядра-мишени, а γ_C - фактор снаряда, который зависит от ядра-снаряда. Иными словами, предполагается, что сечение образования нуклидов при фрагментации ядер-мишеней факторизуется и отношение сечения образования нуклидов при фрагментации тантала под действием ядер углерода и протонов при энергии 3.65 ГэВ на нуклон имеет постоянное значение для продукта ядра-мишени тантала.

$$\frac{\sigma(^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta})}{\sigma(p + ^{181}\text{Ta})} = \frac{\gamma_{^{12}\text{C}}}{\gamma_p} \quad (7.)$$

На рис.6 представлены результаты проверки факторизации для сечения образования нуклидов при фрагментации ядер-мишеней тантала. Значения $\sigma(^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta})/\sigma(p + ^{181}\text{Ta})$, определенные для 36 нуклидов, находятся в пределах ошибок среднего значения $\langle \sigma(^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta})/\sigma(p + ^{181}\text{Ta}) \rangle = 2.32 \pm 0.56$.

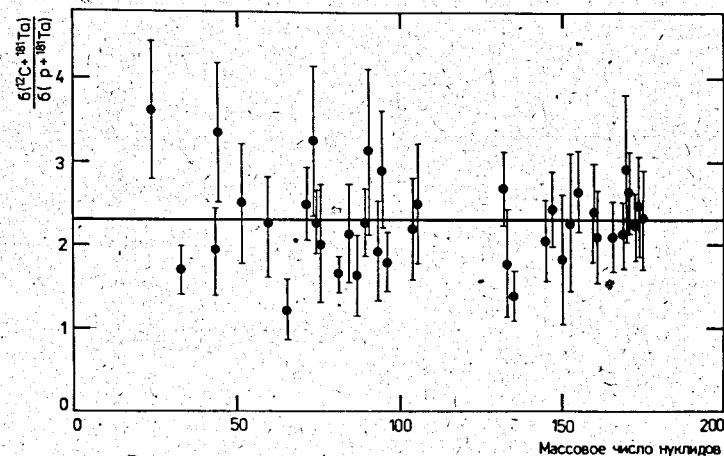


Рис.6 Зависимость отношения сечений образования нуклидов от их массового числа A при фрагментации ядер тантала ядрами углерода и протонами.

идентификация радиоактивных изотопов, образующихся в исследуемых реакциях.

2. Определены полные сечения реакций $^{27}\text{Al}(p, X)^{24}\text{Na}$ и $^{27}\text{Al}(^{12}\text{C}, X)^{24}\text{Na}$ при энергии 3.65 ГэВ на нуклон с помощью метода активации, которые использовались при мониторинговании релятивистских пучков.

3. Разработана методика определения выходов нуклидов, образующихся при фрагментации ядер-мишеней. Определены значения выходов остаточных ядер в диапазоне массовых чисел от 24 до A ядра-мишени в реакциях ядер Ag, Ta, Au и Pb протонами и ядрами углерода с энергией 3.65 ГэВ на нуклон. В наших исследованиях не наблюдались высокие сечения образования нуклидов.

4. Экспериментальная методика для определения выходов нуклидов, примененная в исследовании фрагментации ядер-мишеней, проверена нами в тестовом эксперименте по измерению выходов осколков деления ядер урана-235 тепловыми нейтронами на реакторе ИБР-2 ОИЯИ.

5. Определены зарядовые и массовые распределения нуклидов, образующихся в релятивистских взаимодействиях, а также параметры зарядовых распределений. Проведен анализ этих распределений нуклидов, на основании которого определены изобарические сечения образующихся остаточных ядер, полные сечения изучаемых реакций и сделаны выводы о механизме взаимодействия.

6. Экспериментальные результаты обсуждены в рамках проверки выполнимости предельной фрагментации и факторизации, для сечений образования нуклидов при энергии 3.65 ГэВ на нуклон. Массовые распределения нуклидов, образующихся в реакциях под действием ядер углерода и протонов с одной и той же мишенью свидетельствуют о наличии факторизации (скейлинга) сечений образования нуклидов.

7. Сравнение настоящих результатов с другими данными, полученными в области энергий больше 1 ГэВ на нуклон, убедительно подтверждает предельную фрагментацию для сечений образования нуклидов во взаимодействиях релятивистских протонов и ядер углерода с тяжелыми мишенями.

8. Наши экспериментальные данные полученные для ядер снарядов ^{12}C при энергии 3.65 ГэВ на нуклон, представляют новую информацию об образовании остаточных ядер, которую можно использовать для сравнения и тестирования различных модельных представлений, а также могут быть использованы при проектировании и сооружении ускорительных установок на высокие и сверхвысокие энергии.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ц.Дамдинсурэн, В.Д.Дьяченко, А.Дука-Зойоми, Я.Климан, П.Козма и Б.Тумэндэмбэрэл. Измерение полного сечения реакции $^{27}\text{Al}(^{12}\text{C}, X)^{24}\text{Na}$ при энергии 3.65 ГэВ на нуклон. Сообщение ОИЯИ PI-87-932, Дубна, 1987, 4с.

2. Ц.Дамдинсурэн, П.Козма, Б.Тумэндэмбэрэл, Р.Хоролжав и Д.Чултэм. Определение выходов нуклидов, образующихся во взаимодействии релятивистских ядер с ядрами. Сообщение ОИЯИ PI-88-135, Дубна, 1988, 18с.

3. Ц.Дамдинсурэн, П.Козма и В.Б.Злоказов. Применение робастной подгонки для определения изобарических сечений остаточных ядер в релятивистских взаимодействиях. Сообщение ОИЯИ PI-88-312, Дубна, 1988, 9с.

4. P.Kozma and C.Damdinsuren. Nuclear reactions of medium and heavy target nuclei with high-energy projectiles. Fragmentation of ^{197}Au by 3.65 A.GeV ^{12}C -ions and 3.65 GeV protons. Czech.J.Phys., 1990, V.40, No.1, p.38-47. ; Preprint JINR E1-88-245, Dubna, 1988, 14p.

5. C.Damdinsuren, V.M.Dyachenko, P.Kozma and K.D.Tolstov. Monitoring system for relativistic particles and nuclei. Nucl.Instr. and Meth., 1990, A288, p.319-323. ; Preprint JINR E1-89-291, Dubna, 1989, 15p.

6. P.Kozma, C.Damdinsuren, D.Chultem and B.Tumendemberel. Nuclear reactions of tantalum with 3.65 A.GeV C-ions and 3.65 GeV protons. Nucl.Phys.A., 1990, in print. ; Preprint JINR E1-89-252, Dubna, 1989, 22p.

7. C.Damdinsuren, V.I.Ilyushchenko, P.Kozma and D.Chultem. Yield of radionuclides formed in the interaction of 3.65

A. GeV ^{12}C -ions and protons with $^{\text{nat}}\text{Pb}$. ; Communication JINR E1-89-481, Dubna, 1989, 9p.

8. Ц. Дамдинсүрэн, В. И. Илющенко, П. Козма, Б. Тумэндэмбэрэл и Д. Чултэм. Образование остаточных ядер при взаимодействии дейтронов с энергией 3.65 А.ГэВ с ядрами ^{93}Nb , ^{108}Ag , ^{159}Tb , ^{197}Au и ^{207}Pb . ЯФ., 1990, т. 52, вып. 2(8), с. 330-338. ; Препринт ОИЯИ Р1-89-757, Дубна, 1989, 18с.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 октября 1990 года.