

е-593

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

7-92-523

На правах рукописи

УДК 539.1.074

СОКОЛ

Евгений Александрович

ИССЛЕДОВАНИЯ РЕДКИХ
ЯДЕРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ
НА МУЛЬТИДЕТЕКТОРНЫХ СИСТЕМАХ
РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОНОВ И ГАММА-КВАНТОВ

Специальность: 01.04.16 — физика ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1992

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им.
Г.Н.Флерова Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор
Тер-Акопьян Г.М.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор
Замятнин Ю.С.
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник,
Иткис М.Г.

Ведущее предприятие: Радиевый институт им. В.Г.Хлопина,
г. Санкт - Петербург.

Защита диссертации состоится "_____" 1993 г.
в "___" часов на заседании специализированного совета
Д 047.01.05 при Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка и
Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н.Флерова Объединенного
института ядерных исследований (г. Дубна, Московской области).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" _____ 199 года.

Ученый секретарь

специализированного совета

Таран Ю. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Исследования стабильности тяжелых ядер с $Z \geq 100$ являются одним из интенсивно развивающихся направлений ядерной физики. Работы в этом направлении были значительно активизированы теоретическими предсказаниями о возможной высокой стабильности ядер в области $Z=114$ и $N=184$. В работах, выполненных в ЛЯР ОИЯИ, сообщалось об обнаружении в природных образцах неизвестного ранее спонтанно делящегося нуклида, возможно принадлежащего к этой новой области стабильности. Эксперименты были выполнены на уникальных детекторах множественной эмиссии нейтронов, размещенных в соляной шахте на глубине 1100 м. в. э., где был получен чрезвычайно низкий фон и в образцах объемом около 10 дм^3 удалось регистрировать события спонтанного деления нуклида, концентрация которого составляла, по оценкам, $10^{-14}-10^{-15} \text{ г/г}$ (в предположении, что период полураспада $T_{1/2} = 10^9$ лет).

Однако для идентификации этого нуклида и исследования его свойств необходим поиск природных образцов с повышенным его содержанием и/или концентрирование нуклида для получения образцов массой в несколько граммов или миллиграммов. При решении последней задачи неизбежна многоступенчатая переработка образцов, а так как химические свойства элемента неизвестны, то на каждой стадии необходим контроль эффективности концентрирования, осуществить который можно только высокочувствительными низкофоновыми детекторами.

Точность теоретических предсказаний свойств тяжелых ядер требует знания самых разных характеристик распадов, в частности для тяжелых ядер очень важными являются различные данные о спонтанном делении. Для проверки ряда тонких эффектов в расчетах важно охватить возможно более широкий

диапазон исследуемых ядер, вплоть до легчайших ядер.

Целью работ, составивших диссертацию, было совершенствование и разработка установок и проведение исследований по поиску сверхтяжелых элементов в различных природных образцах, проведение контроля при химическом концентрировании нового спонтанно делящегося нуклида и изучение характеристик нейтронного и γ -излучений при спонтанном делении ядер ^{248}Cm , ^{252}Cf , ^{254}Cf , ^{256}Fm и ^{259}Md , исследование стабильности ^{263}Ku , исследование свойств распада нейтроноизбыточных изотопов легчайших ядер и изучение возможностей дальнейшего развития метода регистрации редких ядерных превращений путем детектирования множественной эмиссии нейтронов в массивных образцах.

В соответствии с указанной целью в диссертационной работе ставятся и решаются следующие задачи:

- разработка и создание детекторов множественной эмиссии нейтронов из образцов объемом 10 и 0,2 дм³ для регистрации редких событий спонтанного деления;
- изучение методов снижения фона детекторов, вызываемого космическим излучением, разработка и создание низкофоновой лаборатории;
- разработка и создание системы детекторов для регистрации редких событий спонтанного деления путем отбора событий по параметрам мгновенного гамма- и нейтронного излучений;
- измерения параметров распределения по множественности мгновенных нейтронов спонтанного деления изотопов ^{256}Fm и ^{259}Md ;
- исследования мгновенного гамма-излучения спонтанного деления ^{248}Cm , ^{252}Cf , ^{254}Cf , ^{256}Fm и ^{259}Md ;
- получение и исследование стабильности изотопа ^{263}Ku ;
- создание установки и проведение исследований свойств

распада нейтроноизбыточных изотопов легчайших ядер, получаемых в реакциях передач при энергиях налетающих ионов 10-20 МэВ/ нуклон;

- оценка возможностей метода регистрации редких ядерных превращений в массивных образцах путем детектирования множественной эмиссии нейтронов для исследований несохранения барионного числа.

Эти задачи решались в работах /1-15/.

Научная новизна работ, составивших диссертацию, заключается в следующем:

1. Создана низкофоновая лаборатория для регистрации редких событий спонтанного деления ядер. В помещении с пассивной защитой из бетона толщиной 15 м. в. э. на детекторах множественной эмиссии нейтронов достигнут уровень чувствительности обнаружения примеси спонтанно делящегося нуклида 10^{-13} г/г при периоде полураспада 10^9 лет для образцов массой 10 кг при длительности измерения 10 суток.

2. Разработан и осуществлен метод регистрации редких событий спонтанного деления путем детектирования множественной эмиссии γ -квантов и нейтронов деления и последующего многопараметрового отбора событий. Создана установка, которая включает в себя многоканальный модуль для регистрации γ -квантов на основе сцинтилляторов из германата висмута, модульный детектор множественной эмиссии нейтронов и систему защиты от космического излучения. В данной установке обеспечен уровень чувствительности 10^{-13} г/г для образцов массой 200 г за 10 суток измерений.

Эти установки были основными при проведении работ по поиску СТЭ в природе в ЛЯР ОИЯИ в течении 8 лет.

3. Уточнены параметры распределения по множественности

мгновенных нейтронов спонтанного деления ^{256}Fm : $\bar{\nu}_n = 3,91 \pm 0,03$ и $\sigma_n^2 = 2,02 \pm 0,13$.

4. Впервые измерены параметры распределения ν по множественности мгновенных нейтронов спонтанного деления ^{259}Md : $\bar{\nu}_n = 4,1 \pm 0,7$ и $\sigma_n^2 = 2,4 \pm 1,2$.

5. Впервые измерены параметры мгновенного γ -излучения при спонтанном делении ^{248}Cm , ^{254}Cf , ^{256}Fm и ^{259}Md .

6. Впервые получены экспериментальные данные о стабильности по отношению к спонтанному делению и α -распаду для ^{263}Ku .

7. На циклотроне Υ -400 создана установка и проведены исследования β - n распада нейтроноизбыточных изотопов He , Li , Be и B . Получены данные о вероятностях эмиссии различных чисел нейтронов после β -распада изотопов ^8He , ^9Li , ^{11}Li , ^{12}Be и ^{13}B .

8. Оценены параметры детектора множественной эмиссии нейтронов в массивных образцах и определены условия реализации нового подхода к регистрации распада протона и осцилляции нейтрона, связанного в ядре.

Практическая ценность. В низкофоновой лаборатории, созданной в ходе данной работы, проведены измерения активности спонтанного деления для широкого ряда природных образцов и продуктов их переработки, по результатам этих измерений определены наиболее перспективные направления поиска сверхтяжелых элементов в природных объектах, высказаны гипотезы о некоторых химических свойствах этих элементов и формах их нахождения в природных образцах.

В результате изучения свойств распада ядер получены новые данные и уточнены некоторые характеристики мгновенного γ - и нейтронного излучений для ядер ^{248}Cm , ^{252}Cf , ^{254}Cf , ^{256}Fm и ^{259}Md , получены данные о стабильности нового изотопа

курчатовия - ^{263}Ku , получены данные о вероятностях эмиссии различных чисел нейтронов после β -распада ^8He , ^9Li , ^{11}Li , ^{12}Be и ^{13}B .

Оценены параметры детектора и условия применимости нового подхода к изучению фундаментального процесса - несохранения барионного числа - путем наблюдения множественной эмиссии нейтронов в массивных (десятки и тысячи тонн) образцах.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы представлялись на Международных школах-семинарах по физике тяжелых ионов (Алушта, 1983, Дубна, 1986, 1989), 6 Всесоюзной конференции по нейтронной физике (Киев, 1983), Совещании по экспериментам на пучках тяжелых ионов (Варна, 1984), 4 Всесоюзном семинаре по программе экспериментальных исследований на мезонной фабрике ИЯИ АН СССР (Звенигород, 1985), 3 Международной конференции по низким радиоактивностям (Братислава, 1985), 39 Совещании по ядерной спектроскопии и структуре ядра (Ташкент, 1989), Международной конференции "Актиниды-89" (Ташкент, 1989), Международной конференции по экзотическим ядрам (Форос, Крым, 1991).

Публикации. По результатам исследований, составивших основу диссертации, опубликовано 15 работ. Эти результаты получены автором в период 1980-1991 г.г.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, изложена на 109 страницах машинописного текста, включая 26 рисунков, 21 таблицу и список литературы из 135 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность поставленной задачи, сформулирована цель работы, отмечены новые полученные результаты, изложены основные положения, которые выносятся на защиту, и приводится краткое содержание диссертации по главам.

В первой главе приводится краткий обзор основных результатов теоретических предсказаний и экспериментальных исследований по проблеме сверхтяжелых элементов (СТЭ).

Отмечается, что существование острова относительно долгоживущих тяжелых ядер предсказывалось на основе учета стабилизирующего действия оболочечных эффектов на деление ядер. В большинстве работ, посвященных оценкам свойств СТЭ, новый остров стабильности предсказывался вблизи магических чисел протонов $Z=114$ и нейтронов $N=184$. Стабилизирующее действие оболочечных эффектов, проявляющееся в увеличении времен жизни ядер по отношению к спонтанному делению, подтверждается экспериментальной систематикой периодов полураспада.

Поиски в природе СТЭ ведутся уже длительное время. Наиболее планомерными и широкими по выбору методик и объектов поиска явились эксперименты, выполненные в Дубне, которые проводились с помощью детекторов для регистрации спонтанного деления ядер по множественным нейтронным событиям, детектируемым в массивных образцах. В этих экспериментах были проведены измерения активности спонтанного деления метеоритов Саратов, Алленде и Ефремовка. Авторы предположили, что обнаруженные события вызываются спонтанным делением долгоживущего нуклида, по-видимому, принадлежащего к области СТЭ. Порядок величины концентрации этого нуклида : 10^{-15} - 10^{-14} г/г для образцов метеорита Алленде.

Большой интерес представляет также обнаружение множественных нейтронных событий при изучении химических фракций, выделенных из воды геотермальных источников полуострова Челекен (Юго-Восточный Каспий). Наблюдавшаяся скорость счета множественных нейтронных событий была примерно

в три раза выше, чем при измерениях метеоритов и в несколько десятков раз превосходила фон от примеси урана.

В заключение главы делается вывод о том, что проблема существования СТЭ должна разрешаться экспериментально с использованием ультрачувствительных методов детектирования, в частности, спонтанного деления в природных образцах.

Во второй главе представлено описание разработанных для поисков СТЭ в природе детектирующих систем и результаты исследований с целью обнаружения СТЭ нескольких групп природных образцов и продуктов их переработки.

Отмечается, что наибольшая чувствительность при поисках СТЭ в природе была достигнута при детектировании спонтанного деления ядер в массивных образцах путем наблюдения редких событий множественной эмиссии нейтронов. При использовании для проведения исследований таких образцов детекторов нейтронов присутствие в образце массой 10 кг делящегося нуклида с $T_{1/2} = 10^9$ лет при концентрации $3 \cdot 10^{-13}$ г/г должно приводить к регистрации за одни сутки измерений нескольких событий множественной эмиссии нейтронов. Необходимые фоновые условия были обеспечены в настоящей работе созданием системы защиты от космического излучения.

Детекторы нейтронов позволяют с высокой чувствительностью обнаруживать редкие атомные ядра по их спонтанному делению, но получаемая информация не позволяет однозначно идентифицировать ядра-излучатели. Поэтому идентификация излучателя должна проводиться другими методами, что потребует образцов малого веса. Принимая во внимание неизбежность потерь, вызванных техническими трудностями извлечения из большого объема вещества и неопределенность прогнозируемого химического поведения искомого нуклида, необходимо проводить многоступенчатую переработку многих сотен кг вещества. Ввиду

исключительной сложности этой задачи, обязательно проведение постоянного контроля активности спонтанного деления в образцах небольшого веса (десятки и сотни граммов) с высокой чувствительностью. Для обеспечения этого требования регистрирующая аппаратура была дополнена системой для детектирования гамма-квантов деления.

В настоящей работе для подавления фона от космических лучей использовалась защита, схема которой приведена на рис. 1.

Защита из бетона имела толщину 7 м и предназначена для подавления ядерно-активной компоненты космического излучения. Для исключения нейтронного фона, вызываемого взаимодействиями мюонов с веществом, использовалась система активной защиты, включавшая пластические сцинтилляторы с фотоумножителями (ФЭУ) и соответствующие электронные схемы.

Пассивная и активная защиты позволяли снизить фон примерно в 500 раз при потере около 20-25% событий за счет "мертвого" времени и самоблокировки γ -квантами спонтанного деления. Дополнительное снижение фона в 2 раза достигалось за счет отбора событий с учетом пространственного расположения счетчиков, зарегистрировавших нейтроны.

Для обеспечения высокой чувствительности регистрации спонтанного деления при исследовании образцов небольшой - сотни граммов - массы детектирующая система, включавшая детектор нейтронов и систему защиты от космического излучения, была дополнена аппаратурой для регистрации γ -квантов деления. Регистрация γ -квантов осуществлялась десятью сцинтилляционными детекторами из германата висмута $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$. О каждом событии спонтанного деления ядер фиксировалась следующая информация: номера сработавших γ -детекторов, амплитуда суммарного сигнала с детекторов из

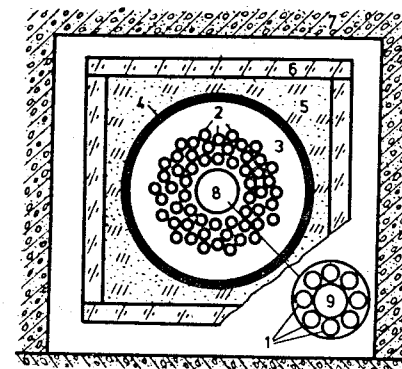


Рис. 1. Схема детектирующей системы для регистрации редких событий спонтанного деления по γ -квантам и нейтронам деления. Цифрами обозначены: 1- сцинтилляционные детекторы из германата висмута, 2- ^3He - счетчики, 3- замедлитель (оргстекло), 4- корпус, 5- замедлитель (гранулированный полиэтилен), 6- пластические сцинтилляторы защиты от космического излучения, 7- бетонная защита. 8, 9- полость для исследуемого образца.

германата висмута, номера и времена срабатывания нейтронных счетчиков относительно стартового сигнала. Эффективность регистрации спонтанного деления ^{252}Cf равнялась 0,8, а число фоновых событий составило менее одного в сутки, причем не наблюдалось ни одного фоновых события с $N_n \geq 2$ за 5 суток измерений.

В настоящей работе были проведены исследования нескольких десятков образцов, представлявших некоторые породы и руды, в том числе моно- и полиминеральные образования, а также

образцов связанных с деятельностью геотермальных источников, приуроченных к различным разломам (полуостров Челекен, Байкальская рифтовая зона, Калифорния, дно Красного моря).

В третьей главе приведены результаты исследований характеристик нейтронного и γ -излучений при спонтанном делении изотопов Cm, Cf, Fm и Md, результаты эксперимента по синтезу изотопа ^{263}Ku , данные о свойствах распада нейтроноизбыточных изотопов легчайших ядер.

Для получения ядер ^{256}Fm , ^{254}Cf и ^{259}Md использовались мишени из ^{248}Cm и ^{249}Bk и бомбардирующие ионы ^{18}O и ^{22}Ne . Облучения были выполнены на циклотронах У300 и У400 ЛЯР ОИЯИ.

Для измерения характеристик распределения по множественности мгновенных нейтронов спонтанного деления ^{256}Fm в настоящей работе были выполнены три серии измерений, в которых зарегистрировано 5771, 14401 и 4079 событий спонтанного деления ^{256}Fm .

Усредненные по трем сериям измерений значения среднего числа нейтронов $\bar{\nu}_n$ и дисперсии σ_n^2 составили $\bar{\nu}_n = 3,91 \pm 0,03$ и $\sigma_n^2 = 2,02 \pm 0,13$, определены также значения вероятностей испускания различного числа нейтронов P_i и их ошибок ΔP_i и проводится их сравнение с данными других работ, проведен анализ различных источников фона.

Параметры γ -излучения для ^{248}Cm , ^{254}Cf , ^{256}Fm и ^{259}Md были определены относительно соответствующих известных величин для ^{252}Cf (см. табл.1), а также без привлечения эталонных значений.

При обработке результатов измерений вторым способом были восстановлены энергетические спектры, из этих спектров были получены средние числа γ -квантов на деление $\bar{\nu}_\gamma$, средние энергии на деление \bar{E}_{tot} и средние энергии \bar{E}_γ отдельных γ -квантов. В диссертации анализируются возможные причины

отличия полученных таким образом характеристик γ -квантов деления ^{252}Cf от литературных данных.

Мы провели опыты по изучению характеристик нейтронного и γ -излучений при спонтанном делении ^{259}Md . Было зарегистрировано 34 события спонтанного деления. В табл.2 приведены основные параметры нейтронного и γ -излучений, измеренные в ходе этих экспериментов.

ТАБЛИЦА 1.

Параметры γ -излучения при спонтанном делении, полученные относительно эталонных значений.

| Изотоп | ^{252}Cf /*/ | ^{254}Cf | ^{248}Cm | ^{256}Fm | ^{259}Md |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $\bar{\nu}_\gamma$ | 6,53 /*/ | 5,52±0,05 | 5,95±0,05 | 6,19±0,05 | 5,3±0,4 |
| σ_γ^2 | 3,52±0,12 | 3,25±0,23 | 3,43±0,20 | 4,03±0,25 | 4,5±1,4 |
| Γ_2 | 0,93±0,01 | 0,93±0,01 | 0,93±0,01 | 0,94±0,01 | 0,97±0,08 |
| \bar{E}_γ , МэВ | 1,00 /*/ | 1,06 | 1,02 | 1,05 | 0,8 |
| \bar{E}_{tot} , МэВ | 6,56 /*/ | 5,9 | 6,1 | 6,5 | 4,4 |

Указаны только статистические ошибки.

* - эталон

ТАБЛИЦА 2.

Распределение по кратностям нейтронов и γ -квантов, зарегистрированных при спонтанном делении ^{259}Md .

| кратность | число зарегистрированных нейтронов | число зарегистрированных γ -квантов |
|----------------|------------------------------------|--|
| 0 | 4 | 4 |
| 1 | 12 | 11 |
| 2 | 12 | 7 |
| 3 | 4 | 8 |
| 4 | 1 | 3 |
| 5 | 0 | 0 |
| 6 | 1 | 1 |
| $\bar{\nu}_2$ | 4,1 ± 0,7 | 5,3 ± 0,5 |
| σ_ν^2 | 2,4 ± 1,2 | 4,5 ± 1,4 |
| Γ_2 | 0,9 ± 0,3 | 0,97 ± 0,08 |

ТАБЛИЦА 4.
Периоды полураспада $T_{1/2}$, вероятности испускания различного числа нейтронов P_1 и полные вероятности испускания нейтронов после β -распада W

| Ядро | $T_{1/2}$ (мс) | $T_{1/2}$ (мс) | P_1, W (%) | |
|------------------|-----------------|----------------------------------|---|--|
| | экспер. | др. работы | экспер. | др. работы |
| ^8He | $124,5 \pm 0,2$ | $119 \pm 1,5$ | $P_0 = 87,0 \pm 1,1$ $P_1 = 12,7 \pm 2,6$ | $P_0 = 84 \pm 1$ $P_1 = 16 \pm 1$ |
| ^9Li | $181,8 \pm 0,4$ | $178,3 \pm 0,4$ | $P_0 = 86,6 \pm 0,9$ $P_1 = 13,3 \pm 3,4$ | $W = 50 \pm 4$ |
| ^{11}Li | $8,0 \pm 1,0$ | $8,5 \pm 0,2$ | $P_0 = 45,9 \pm 4,6$ $P_1 = 29,4 \pm 2,6$ $P_2 = 15,2 \pm 3,0$ $P_3 = 5,1 \pm 3,0$ $W = 94 \pm 9$ | $P_1 = 85 \pm 1$ $P_2 = 4,1 \pm 0,4$ $P_3 = 1,9 \pm 0,2$ $W = 95 \pm 8$ |
| ^{12}Be | $13,1 \pm 0,5$ | $11,4 \pm 0,5$ $23,6 \pm 0,9$ | $W < 0,08$ | $W < 1$ |
| ^{13}B | $17,0 \pm 0,4$ | $17,4 \pm 0,2$ | $W < 0,03$ | $P_0 = 100$ |

Для оценки параметров детектора были проведены расчеты систем для исследований образцов большого объема. Регистрация ядерных превращений, вызванных несохранением барионного числа, сопряжена с необходимостью создания установки массой $\gg 1000$ т. Даже для столь крупной установки скорость счета полезных событий будет на уровне 1-3 в год. Поэтому необходимо помещать экспериментальное устройство на возможно большей глубине, чтобы добиться максимально доступного уменьшения фона мюонов. Показано, что достаточной является глубина ≥ 5000 м. в. э.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. Разработан детектор множественной эмиссии нейтронов с гибкой конфигурацией за счет использования модулей для регистрации нейтронов, представляющих собой шестигранные блоки замедлителя с заключенными в них ^3He -счетчиком, схемой подачи высоковольтного напряжения, предусилителем и соответствующие кабели и разъемы для подключения в сборке.

2. Создана низкофоновая лаборатория для регистрации редких событий спонтанного деления в массивных образцах детекторами множественной эмиссии нейтронов. Сочетанием пассивной (бетон, полиэтилен и кадмий) и активной (пластические сцинтилляционные детекторы большой площади) защиты при отборе событий множественной эмиссии нейтронов с учетом пространственного расположения сработавших счетчиков нейтронов чувствительность установки доведена до уровня, позволяющего обнаруживать активность спонтанного деления от примеси делящегося нуклида 10^{-13} г/г при периоде полураспада 10^9 лет за 10 суток измерений для образцов массой 10 кг.

3. Разработан модуль для регистрации множественной эмиссии γ -квантов сцинтилляционными детекторами из германата висмута. При использовании этого модуля в низкофоновой установке для регистрации редких событий спонтанного деления без снижения чувствительности обнаружения активности спонтанного деления масса исследуемых образцов снижена в 50 раз - с 10 до 0,2 кг. Определены условия отбора по кратности γ -совпадений, энергиям отдельных γ -квантов и суммарной энергии γ -излучения на событие деления.

Указанные установки в течение 8 лет были основными при проведении исследований по поиску СТЭ в природе, которые выполнялись в ЛЯР ОИЯИ. Были проведены измерения активности

спонтанного деления сотен образцов, полученных на геотермальных источниках полуострова Челекен, Байкальской рифтовой зоны, в Калифорнии, со дна Красного моря, геологических образцов из ряда районов бывшего СССР.

5. Измерены характеристики распределения по множественности мгновенных нейтронов спонтанного деления ^{256}Fm . В трех сериях измерений было зарегистрировано 24251 событие спонтанного деления. Среднее число мгновенных нейтронов и дисперсия составили $\bar{\nu}_n = 3,91 \pm 0,03$, $\sigma_n^2 = 2,02 \pm 0,13$, определены вероятности испускания от 0 до 7 нейтронов.

6. Относительно эталонных значений для ^{252}Cf выполнены измерения характеристик мгновенного γ -излучения при спонтанном делении ^{248}Cm , ^{254}Cf и ^{256}Fm . Экспериментально показано, что основные свойства γ -излучения (форма энергетических спектров, средняя полная энергия γ -излучения на деление, средняя энергия отдельных γ -квантов, среднее число γ -квантов, дисперсия и форма распределения по множественности) для всех указанных нуклидов близки. Проведенный анализ возможностей измерений абсолютных значений указанных характеристик показал, что на установках типа "crystal ball" требуется внимательный учет эффектов, связанных с перерассеянием γ -квантов в соседние элементы сборки, наложениями и регистрацией нейтронов γ -детекторами. Эти обстоятельства требуют увеличения размеров сборок при уменьшении отдельных элементов, использования различных типов детекторов и организации комбинированных совпадений.

7. Измерены характеристики нейтронного и γ -излучений при спонтанном делении ^{259}Md . Было зарегистрировано 34 события спонтанного деления этого нуклида, полученного в реакции $^{248}\text{Cm}(^{18}\text{O}, \alpha 3n)^{259}\text{Md}$.

8. Проведены эксперименты по синтезу изотопа ^{263}Ku в реакции

$^{248}\text{Cm}(^{22}\text{Ne}, \alpha 3n)^{263}\text{Ku}$. Сделаны выводы, что ветвь α -распада не является главной для ^{263}Ku , если главной ветвью распада является спонтанное деление, то период полураспада ^{263}Ku составляет менее 20 мин.

9. Измерены вероятности испускания различных чисел нейтронов после β -распада нейтроноизбыточных изотопов легчайших ядер.

10. Оценены параметры детектора для регистрации распада нуклона или осцилляции внутриядерного нейтрона по наблюдению множественной эмиссии нейтронов из массивных образцов, проведены расчеты эффективности регистрации и пространственных распределений точек регистрации нейтронов, испущенных из точечного источника для различных вариантов геометрии детектора. Проведены оценки фоновых характеристик детектора.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ter-Akopian G.M., Popeko A.G., Sokol E.A., Chelnokov L.P., Smirnov V.I., and Gorshkov V.A. A Neutron Multiplicity Detector for Rare Spontaneous Fission Events // Nucl. Instr. & Meth. - 1981. - Vol. 190, №1. - P. 119-124.
2. Sokol E.A., Pham Ngok Chuong, Smirnov V.I., Ivanov M.P., Ter-Akopian G.M., Chelnokov L.P. Study of Methods for Reducing the Intrinsic Background of a Neutron Detector for Rare Spontaneous Fission Events // Nucl. Instr. & Meth. - 1984. - Vol. A219, №2. - P. 336-338.
3. Флеров Г.Н., Тер-Акопьян Г.М., Сокол Е.А., Шаро Ш., Зейналов Ш.С. и Иванов М.П. О регистрации редких ядерных превращений по множественным нейтронным событиям // Яд. физ. - 1986. - Т. 43, Вып. 6. - С. 1345-1350.
4. Sokol E.A., Zeinalov Sh.S., Smirnov V.I., Ter-Akopian G.M.,

and Chelnokov L.P. A System for Correlation Measurements of the Products of Rare Spontaneous Fission Events // Nucl. Instr. & Meth. - 1986. - Vol. A245, №2/3. - P. 481-484.

5. Флеров Г.Н., Тер-Акопьян Г.М., Иванов М.П., Сокол Е.А., Попеко Г.С., Смирнов В.И., Фам Нгок Чыонг, Рундквист Д.В., Бурков Ю.К., Жидков А.Я., Соболев О.А. и Черепанов В.А. О поиске сверхтяжелых элементов в геологических объектах // Радиохимия. - 1982. - Т. 24, Вып. 6. - С. 782-789.

6. Dmitriev S.N., Flerov G.N., Azarov V.A., Shishkin S.V., Lebedev V.Ya., Krasnov A.V., Shishkina T.V., Pokrovsky V.K., and Sokol E.A. Search for the Spontaneously Fissioning Nuclide in Cheleken Hot Brines // JINR Rapid Communication. - 1988. - №5 [31]-88. - P. 13-20.

7. Ter-Akopian G.M., Sokol E.A., Fam Ngok Chuong, Ivanov M.P., Popko G.S., Molzahn D., Lund T., Feige G., and Brandt R. Search for Spontaneous Fission Activity in Salton Sea and Atlantic II Hot Brines // Z. Phys. - 1984. - Vol. A316, №2. - P. 213-215.

8. Тер-Акопьян Г.М., Букланов Г.В., Зейналов Ш.С., Сокол Е.А., Черепанов В.А., Шаро Ш., Брухертзайфер Х., Юссонуа М. и Константинеску О. Регистрация множественных нейтронных событий и изучение спонтанного деления тяжелых ядер в экспериментах по синтезу и поиску в природе сверхтяжелых ядер // Материалы межд. школы-семинара по физике тяжелых ионов, 23-30.09.1986, Дубна - ОИЯИ, Дубна. 1987. Д7-87-68. С. 212-216.

9. Сокол Е.А., Тер-Акопьян Г.М. и Душин В.Н. Расчет характеристик детекторов нейтронов для регистрации редких событий ядерных превращений // Нейтронная физика: Материалы 6-й Всесоюзной конференции по нейтронной физике. 1983, Киев-ЦНИИАтоминформ, 1984. Т. 47. С. 174-178.

10. Sokol E.A., Duchin V.N., Daniel A.V., Zeinalov Sh.S., and Ter-Akopian G.M. Assessment of the Parameters of a Setup for Searches for Nucleon Decay and Neutron Oscillation in Massive Samples // Nucl. Instr. & Meth. - 1986. - Vol. A249, №2/3. - P. 257-260.

11. Сокол Е.А., Зейналов Ш.С. и Тер-Акопьян Г.М. Множественность мгновенных нейтронов при спонтанном делении ^{256}Fm // Атомная энергия. - 1989. - Т. 67, Вып. 5. - С. 357.

12. Сокол Е.А., Зейналов Ш.С., Шаро Ш., Юссонуа М., Брухертзайфер Х., Букланов Г.В., Иванов М.П., Короткин Ю.С., Смирнов В.И., Челноков Л.П., Тер-Акопьян Г.М. и Флеров Г.Н. Предварительные результаты изучения характеристик спонтанного деления ^{259}Md // Краткие сообщения ОИЯИ. - 1986. - №19-86. - С. 45-49.

13. Брухертзайфер Х., Букланов Г.В., Иванов М.П., Константинеску О., Муzychка Ю.А., Оганесян Ю.Ц., Пустыльник Б.И., Сокол Е.А., Тер-Акопьян Г.М. и Юссонуа М. Эксперименты по изучению стабильности ^{263}Ku // Краткие сообщения ОИЯИ. - 1989. - № 1[34]-89. - С. 50-54.

14. Сокол Е.А., Тер-Акопьян Г.М., Крупман А.И., Катков В.П., Никонова Л.Ф., Еремин Н.В. Эксперименты по изучению γ -квантов спонтанного деления ^{248}Cm , ^{252}Cf , ^{254}Cf , ^{256}Fm и ^{259}Md // Атомная энергия. - 1991. - Т. 71, Вып. 5. - С. 422-426.

15. Skobelev N.K., Lukyanov S.M., Penionzhkevich Yu.E., Sokol E.A., Tretyakova S.P. Investigation of β -Delayed Neutron Emission and Elastic Scattering of Neutron-Rich Isotopes of He and Li : Preprint JINR E7-91-365. Dubna, 1991.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 декабря 1992 года.