

T-666



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

15-89-536

ТРЕТЬЯКОВА
Светлана Павловна

УДК 539.1.07

**ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ,
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИХ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ**

Специальность 01.04.01 - экспериментальная
физика

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук

Дубна 1989

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
профессор

И.Г.Берзина

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник, проф.

Ю.П.Попов

доктор физико-математических наук
профессор

Г.Н.Смиренкин

Ведущее предприятие:

Радиовый институт им. Хлопина (г. Ленинград)

Защита диссертации состоится " " 1989 г. в часов
на заседании специализированного совета Д.047.01.05 при Лаборатории
нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций Объединенного инсти-
тута ядерных исследований (г. Дубна, Московской области).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " 1989 г.

Ученый секретарь Специализированного совета

И.В.Таран

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

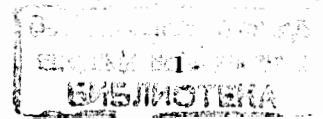
Актуальность проблемы. Физика тяжелых ионов – одна из наиболее бурно развивающихся областей современной ядерной физики. В СССР развитие этого направления было связано с созданием мощных ускорителей и получением интенсивных пучков ионов различной массы с энергией до 20 МэВ/а.е.м. Ядерные реакции под действием тяжелых ионов дали качественно новые и подчас уникальные возможности в исследованиях механизма слияния сложных ядерных систем, синтеза новых элементов и изотопов, изучении радиоактивного распада нуклидов вблизи границы нуклонной стабильности и многих других направлениях физики атомного ядра. Вместе с тем процесс взаимодействия сложных ядер характеризуется большим числом каналов реакции, и это предъявляет серьезные требования к детектирующей аппаратуре, способной регистрировать и идентифицировать заряженные частицы и осколки деления продуктов ядерных реакций, образующих с малым сечением в сложных условиях большого радиационного фона. Настоящая работа посвящена разработке новых методов регистрации заряженных частиц с помощью диэлектрических детекторов (ДД).

Основной целью настоящей работы явилась разработка методов получения воспроизводимой информации о параметрах заряженных частиц в широкой области энергий, массовых чисел в сложных радиационных условиях проведения эксперимента с целью идентификации частиц путем анализа параметров их протравленных треков в диэлектрических материалах и применение этих методов в ядерно-физических экспериментах.

Научная новизна работы. Впервые разработан и применен метод регистрации и идентификации ДД очень редких событий распада спонтанно делящихся ядер, полученных в реакциях под действием интенсивных пучков тяжелых ионов. Чувствительность и селективность данного метода позволили использовать рекордную интенсивность пучка ионов (до 10^{14} /с) и определить стабильность самых тяжелых элементов таблицы Менделеева относительно спонтанного деления.

Разработан метод регистрации тяжелых ядер в широком диапазоне энергий от 0,05 до 10,00 МэВ/а.е.м. В сочетании со спектрометром и кинематическими сепараторами метод позволяет надежно идентифицировать продукты ядерных реакций по типу их распада – альфа-эмиссии и спонтанному делению.

С помощью специально разработанных методов и детекторов проведено изучение нового типа радиоактивного распада актинидных элементов в области $Z=90+95$ с наблюдением эмиссии изотопов Ne и Mg. Количественно определены их парциальные периоды распада на уровне 10^{20} лет. С



помощью специально разработанных двухслойных детекторов удалось повысить чувствительность метода изучения кластерного распада трансураниевых ядер на три порядка и создать перспективу исследования тяжелых ядер с $Z > 95$.

Разработаны новые типы ДД с высокой химической и термической стойкостью на основе фторированных полимеров и полиарилатов, которые позволяют проводить эксперименты в агрессивной среде и при температурах до $200-250^{\circ}\text{C}$.

Впервые разработаны надежные и воспроизводимые методы регистрации и идентификации тяжелых заряженных частиц с помощью малочувствительного полимерного ДД из полиэтилентерефталата и использованы в экспериментах по изучению кластерного распада в условиях большого фона альфа-частиц (до 10^{12} см^{-2}); при исследованиях свойств составных ядер, синтезируемых в ядерных реакциях и для изготовления фильтрующего материала.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ

Разработанные ДД и методы идентификации тяжелых заряженных частиц нашли широкое использование в различных физических экспериментах таких, как изучение нового вида радиоактивности, исследование реакций полного слияния, изомерных состояний, запаздывающего деления и т.д., имеющие фундаментальное значение в изучении структуры ядер, механизмов их взаимодействия и распада, открывающие новые закономерности в свойствах синтезированных трансфермиевых элементов с $Z \geq 104$.

Разработан новый подход к проблеме долговременного изучения вариаций концентрации почвенного радона в связи с тектоническими явлениями в сейсмоактивных районах и разработкой проблемы прогнозирования землетрясений, поиска нефтегазовых месторождений и сейсмостроительства.

Созданы новые фильтрующие материалы ("ядерные фильтры"), которые нашли широкое использование в различных областях народного хозяйства.

Основные положения, представляемые к защите:

1. Проведено исследование взаимодействия ускоренных ионов различных элементов таблицы Менделеева в широком диапазоне энергий с различными диэлектрическими материалами с целью создания детекторов заряженных частиц для использования их в ядерно-физических экспериментах и других исследованиях в смежных областях науки и техники.

2. Показано, что при определенных условиях физико-химической обработки, облученных ионами диэлектрических материалов, можно получить однозначную связь между потерями энергии частиц и оптически видимым

протравленным треком и тем самым определить основные характеристики зарегистрированной частицы.

3. Проведены детальные исследования идентификационных и спектральных характеристик различного вида ДД в широком диапазоне энергий, масс и зарядов регистрируемых ионов в критических условиях высокого радиационного фона. Показано преимущество ДД перед другими методами регистрации редких событий в сложных условиях ядерно-физических экспериментов.

4. Разработаны специальные детекторы, методы регистрации и идентификации, позволившие провести уникальные эксперименты по наблюдению нового вида радиоактивного распада (кластерной эмиссии); по определению вероятности спонтанного деления новых элементов конца периодической системы таблицы Менделеева; по поиску редких событий самопроизвольного деления природных излучателей при их низкой концентрации $\sim 10^{-14} \text{ г/г}$, а также по исследованию запаздывающего деления ядер, спонтанного деления изомеров, свойств сверхнейтронноизбыточных ядер легких элементов, времен жизни составных ядер и т.д.

5. Исследованы свойства различных полимерных материалов для регистрации больших потоков заряженных частиц. Показано, что при определенных условиях облучения и обработки в полимерных структурах образуются идентичные по форме и размеру каналы треков при флюенсе ионов вплоть до $10^{10}-10^{11} \text{ см}^{-2}$. Определены параметры каналов в зависимости от массы, энергии ионов, типа материала и режима выявления треков. Эти исследования легли в основу технологии создания уникальных по своим свойствам мембранных материалов - фильтрующих матриц для тонкой очистки газообразных и жидких сред.

6. Разработан простой, экономичный и широкодоступный метод определения концентрации радона в почвенном газе и геотермальных водах, который использован при длительных временных и пространственных геофизических исследованиях в сейсмоактивных районах.

Апробация работы. Основные результаты доложены на Международных конференциях по твердотельным трековым детекторам (Клермонт-Ферран, Франция, 1969; Бухарест, СРР, 1972; Лион, Франция, 1979; Рим, Италия, 1985); Международном конгрессе по фотографической науке (Дрезден, ГДР, 1974); Международной конференции по физике тяжелых ионов (Дубна, 1986); Международной конференции по космическим лучам (Москва, 1987); Международном симпозиуме по автордиографии (Улаң-Уде, 1988); Всесоюзном совещании "Вулканизм и связанные с ним процессы" (Петропавловск-Камчатский, 1985); Всесоюзном совещании по сейсмологии (Алма-Ата, 1983; Ташкент, 1985); Всесоюзном совещании по спектроскопии (Харьков, 1986; Ташкент 1989); Всесоюзной школе по диэлектрическим детекторам

(Одесса, 1987; 1989); на заседаниях Ученого Совета ОИНИ и на заседаниях Комитета по физике тяжелых ионов в Дубне; научных семинарах в ОИНИ (Дубна); в Техническом Университете (ГДР, Дрезден); Институте экспериментальной физики САН (Кошице, ЧССР).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, содержит 195 страниц машинописного текста, 25 таблиц, 65 рисунков и список литературы из 190 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении показана актуальность развития метода ДД, изложено краткое содержание диссертации и приведены основные результаты, полученные автором за период с 1968 по 1989 г.г.

Первая глава посвящена рассмотрению основных положений взаимодействия тяжелых заряженных частиц с веществом. На основе анализа известных данных, накопленных к настоящему времени по изучению размера и структуры нарушенной зоны диэлектрического материала вдоль траектории тяжелой заряженной частицы, показано, что эта область представляет собой цилиндрический канал пониженной плотности и повышенной травимости вещества по сравнению с окружающим материалом. Указанные величины меняются в зависимости от параметров частицы и типа детектора. Можно полагать, что удельные потери энергии определяют степень изменения структуры и геометрические размеры латентного трека. Вместе с тем известно, что процесс потерь энергии заряженной частицей в веществе имеет сложный характер, и не существует однозначной зависимости между ее первичной ионизацией и параметрами травимой зоны латентного трека. Используемые до настоящего времени модели описания этого процесса сильно ограничены, как областью энергии заряженной частицы, так и свойствами материала детектора. Это обстоятельство, прежде всего, обусловлено тем, что связь между начальным повреждением материала и конечными параметрами протравленного трека иона определяется многочисленными факторами не только радиационно-химических процессов, но условий, в которых находятся детекторы во время и после облучения (воздействие постороннего излучения, температуры, влажности, кислорода).

С целью получения однозначной картины для идентификации частиц по измерению параметров ее оптически видимого трека проведены исследования влияния этих факторов на регистрационные свойства диэлектрических материалов.

В общей сложности был проанализирован 2I вид диэлектрических материалов, значительно отличающихся по своей микро и макроструктуре, а

также химическими свойствами /I-I7/. С этой целью они подвергались облучению на пучках ускоренных ионов практически всей таблицы элементов Менделеева (от ${}^4\text{He}$ до ${}^{238}\text{U}$) /I8-23,28,33,36,4I-48/. В ряде случаев использовались различные изотопы одного элемента (${}^{20,22}\text{Ne}$, ${}^{40,48}\text{Ca}$, ${}^{49,50}\text{Ti}$, ${}^{52,54}\text{Cr}$, ${}^{56,58}\text{Fe}$, ${}^{74,76}\text{Kp}$ и ${}^{I29-I36}\text{Xe}$) /I8, I9/, а также монохроматические пучки радиоактивных ядер ${}^6\text{He}$ ($T_{1/2} \sim I$ с); ${}^8\text{He}$ ($0, I$ с); ${}^9\text{He}$ ($0,2$ с) и др., энергия которых варьировалась от 0, I до 50 МэВ/а. е. м. /20, 2I/. Экспозиция проводилась при различных углах входа заряженной частицы в детектор. Сам материал детектора исследовался перед и после (иногда, и во время) облучения на предмет изучения его химико-физических свойств и выбора оптимального режима выявления латентного трека при работе в условиях высокого гамма, альфа и нейтронного излучения в вакууме и на воздухе при различных температурах /2, 5, 7, I0, II, I3, I4, I5, I7, 20, 23, 28, 3I/. Изучены закономерности процесса травления в зависимости от концентрации и температуры раствора, а также от продолжительности процесса /II-2I, 52-57/. Даны рекомендации по выбору оптимального режима обработки для каждого исследуемого материала. Определены сравнительные характеристики различных партий диэлектриков в зависимости от их основных свойств (ориентации, кристалличности, молекулярного веса, добавок), что определило выбор материала в качестве ДД в физических экспериментах /3-II/. Изучена взаимосвязь параметров протравленных треков с энергией частицы, ее ионизацией, направлением движения, углом входа в ДД /2, 3, I0, II, I4, I5, I9, 20, 22, 33, 54, 55/.

В конечном итоге полученная информация может быть систематизирована в виде характерных величин, основными из которых являются статические параметры - геометрические размеры полученного изображения трека частицы после проведения соответствующего процесса травления, и динамические параметры - скорости травления неповрежденного (v_M) и поврежденного вдоль трека иона материала (v_T). Далее будет показано (гл. 2), что исследование этих двух параметров в зависимости от различных условий, перечисленных выше, позволяет получить однозначную информацию об энергии, заряде, а в некотором случае, и о массе частиц, прошедших и остановившихся в ДД.

Во второй главе представлены результаты исследования основных регистрационных свойств выбранных диэлектрических материалов - чувствительности и эффективности регистрации, а также идентификационных и спектрометрических характеристик /2-4, 7, I0, II, I3, I4, I8-23, 26-34/.

Рассмотрены вопросы порога чувствительности и его зависимости от типа и структуры материала, условий обработки, воздействия различных факторов (отжига, присутствия кислорода, радиации). Показана возмож-

ность управления порогом чувствительности в различных условиях физического эксперимента.

Таблица I

Тип детектора	Пороговая чувствительность, МэВ	Эффективность регистрации ионов при $V_T/V_M \geq 2, \%$	Предельная дозовая нагрузка излучения, кГрх)
Слюда мусковит (СМ)	10-15 МэВ Ne	~95	~5·10 ⁴
Стекло фосфатное (ФС)	10-15 МэВ Ne	70-90	~5·10 ⁴
Класс фторопластов (ФП) (II полимеров)	16 МэВ ¹⁶ O+	~95	10±50
	40 МэВ ⁴⁰ Ar		
Полиэтиленгликоль - терефталат (ПЭТФ)	12 МэВ ¹² C	~90	~5·10 ²
Полиарилаты (ПАР) (3 вида)	12 МэВ ¹² C	~90	~5·10 ²
Поликарбонат (ПК)	1-2 МэВ ⁴ He	~90	~50
Триацетат (ТАЦ)	2 МэВ ⁴ He	~90	~25
Нитрат целлюлозы (НЦ)	4,5±5,0 МэВ ⁴ He	~90	~10
Полиаллилкарбонат (АКГ)	5 МэВ H; 75 МэВ ⁴ He	~90	~3

х) При облучении на воздухе

В таблице I представлены некоторые данные по значению чувствительности и эффективности регистрации ДД, а также предельным дозовым нагрузкам диэлектрических материалов.

Выбраны наиболее благоприятные режимы использования ДД в зависимости от поставленной экспериментом задачи.

Исследованы спектрометрические характеристики ДД в различном диапазоне зарядов, энергий и масс (легкие ионы, осколки деления и ядра отдачи вблизи урана и трансураниевых элементов), и влияния на них высокого фона гамма и альфа-излучения, температуры и кислорода воздуха. Показано, что в ряде случаев ДД обладают уникальными свойствами по сравнению с другими детекторами (ППД, камерами, счетчиками и т.д.) для регистрации ультраредких событий радиоактивного распада, к числу которых относятся кластерная эмиссия, спонтанное деление, запаздывающее деление и т.д.

Из таблицы I следует, что выбранные ДД имеют различные пороги чувствительности, что позволяет, согласно требованию эксперимента, выбирать детектор (или несколько разных типов детекторов) с соответствующими свойствами. Кроме этого, использовалась возможность целенаправленного изменения порога регистрации методом обработки, воздейст-

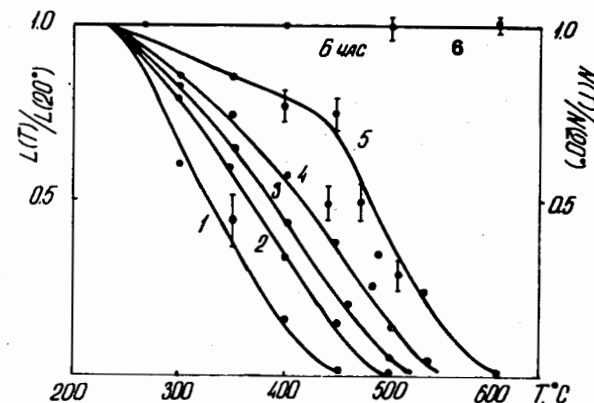


Рис. I. Зависимость от температуры нагрева относительного изменения длины треков ионов ⁴⁰Ar(1); ⁴⁸Ti(2); ⁵⁴Cr(3); ⁵⁶Fe(4) и осколков деления ядер ²⁴⁴Cm(5). Кривая 6 - относительное изменение количества осколков деления от температуры отжига.

ствием температуры и с помощью ультрафиолетового, гамма и альфа-излучения [2,4,7,14,20,33]. На рис. I представлена зависимость относительного изменения длины отожженных треков ионов и осколков деления от температуры в слюде мусковит. Избирательный отжиг позволил идентифицировать ионы с $\Delta Z = \pm 1$ вплоть до ионов железа с энергией ~1 МэВ/а.е.м. Эффективность регистрации осколков деления ядер при этом не менялась вплоть до температуры разложения слюды ($\geq 600^\circ\text{C}$). На рис. 2 показано влияние альфа-частиц различного флюенса на зависимость $V_T/V_M(dE/dx)$.

Для идентификации слабоионизирующих частиц с $E \geq 2$ МэВ/а.е.м. в методе $V_T/V_M(R_{\text{ост}})$, где $R_{\text{ост}}$ - остаточный пробег иона, использовалась связь между V_T и dE/dx в данной точке трека [21,30,33]. На рис. 3 показана зависимость V_T/V_M от $R_{\text{ост}}$ для калибровочных экспериментов по идентификации ионов в условиях высокого альфа-фона. Можно видеть улучшение спектрометрических характеристик детектора из ПЭТФ. Точность измерения параметров ионов составила: $\Delta Z = \pm(0,15 \pm 0,20)$ и $\Delta A = \pm 1$. Рис.4 иллюстрирует возможность идентификации продуктов реакции по заряду и массе согласно их спектральному распределению. Экспериментально показано, что метод упрощается, если использовать магнитный спектрометр.

Представлены методы идентификации сильноионизирующих частиц с энергией в области $E \leq 1$ МэВ/а.е.м. по их пробегам в ДД ¹⁸I, ¹⁹I. Для по-

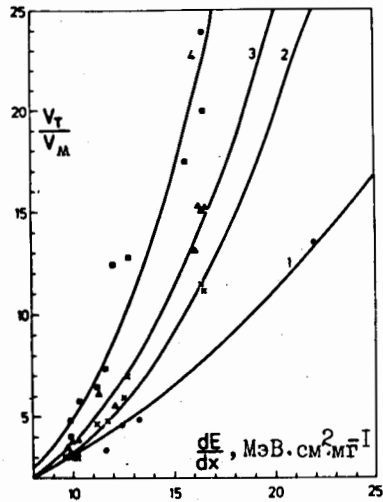


Рис. 2
Зависимость избирательности травления треков различных ускоренных ионов V_T/V_M от dE/dx в ПЭТФ с дополнительным облучением флюенсом альфа-частиц равным для кривой
1(•) - $0 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$
2(x) - $7 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$
3(Δ) - $4 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$
4(\square) - $1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$.
Кривые получены при фитировании экспериментальных данных (точки).

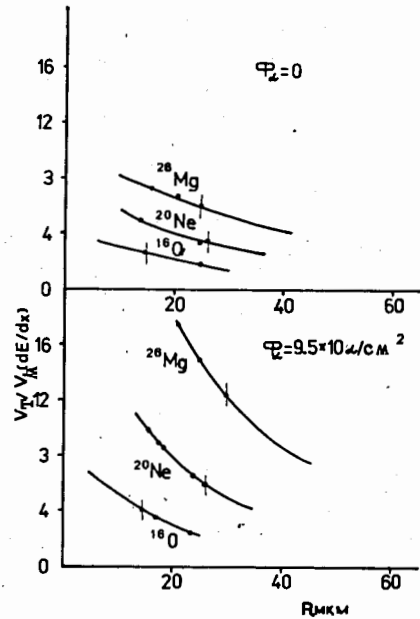


Рис. 3
Зависимость избирательности травления треков ионов V_T/V_M от их остаточного пробега R без альфа-излучения и в присутствии его ($\sim 10^{12} \text{ см}^{-2}$) в комнатных условиях. Точки - экспериментальные данные, полученные при многократном травлении треков ускоренных ионов ^{16}O , ^{20}Ne , ^{26}Mg с $E=1,6+2,5 \text{ МэВ/а.е.м.}$

лучения массовых и энергетических распределений использовалась следующая зависимость пробега иона R от его энергии и массового числа A : $R \sim E^{1/2} \cdot A^{-1/6}$, калибровочные кривые $R(E)$ для ускоренных ионов с $E \sim 1 \text{ МэВ/а.е.м.}$ и сепарированных осколков деления ядер. На рис. 5 представлены энергетическое и массовое распределение парных осколков вынужденного деления нейтронами ядер урана-235 в ДД из ПК при облучении в геометрии 4π . Метод использован для идентификации составных

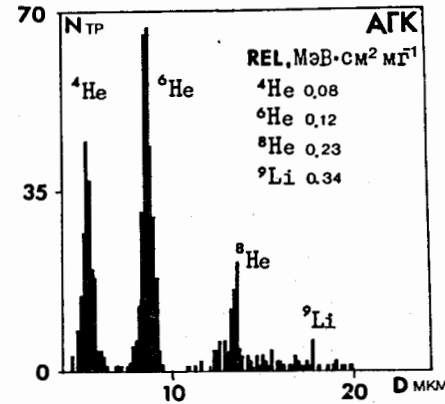


Рис. 4
Распределение по диаметрам треков изотопов $^4, ^6, ^8\text{He}$ и ^9Li (с разными ионизационными потерями), входящих нормально в поверхность ДД из АГК и полученных в ядерной реакции ионов ^{11}B ($E=18 \text{ МэВ/а.е.м.}$) с ядрами Та.

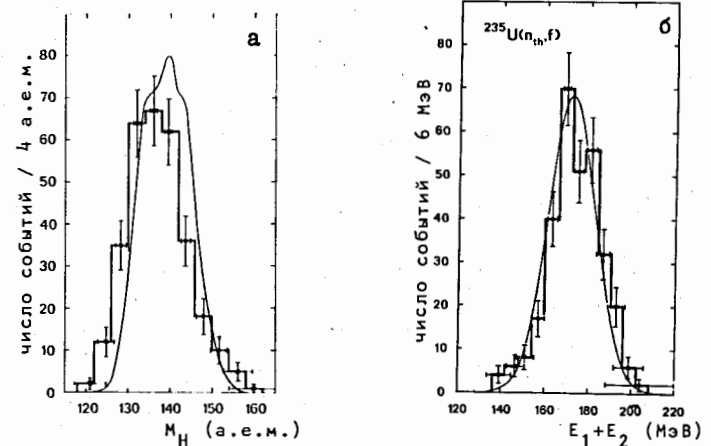


Рис. 5. Массовое (а) и энергетическое (б) распределения осколков деления ядер ^{235}U , полученных с помощью ДД (гистограммы), и аналогичные результаты, полученные с помощью полупроводниковых детекторов (тонкие линии). Облучение детекторов осколками деления ядер урана проводилось в геометрии 4π . Толщина источника урана, нанесенного на $0,3 \text{ мкм}$ пленку лавсане, составляла $\sim 50 \text{ мкг/см}^2$. Травление проводилось в 20% растворе едкого натра при 70°C в течение 40 мин.

ядер, полученных в реакциях с тяжелыми ионами, по характеристикам продуктов их распада (альфа-частицам и осколкам деления) в фокальной

плоскости кинематических сепараторов. На рис. 6 показан пример такого распада ядра ^{244}Fm , полученного в реакции $^{206}\text{Pb} + ^{40}\text{Ar}$.



Рис. 6
Микрофотография трека составного ядра ^{244}Fm (из реакции $^{206}\text{Pb} + ^{40}\text{Ar}$), входящего перпендикулярно в детектор (круг), и коррелированных треков осколков его спонтанного деления. Детектор из ПЭТФ располагался в фокальной плоскости газонеполненного сепаратора. Травление 1,5 часа при 70°C в 20% растворе едкого натра.

В третьей главе показано непосредственное использование ДД в некоторых физических экспериментах, в которых этот метод наблюдения являлся основным.

А. Изучение нового вида радиоактивного распада (кластерный распад) актинидных элементов с $z=90+95/26-34/$. В представленной работе впервые обнаружен и изучен распад ядер ^{230}Th , ^{231}Pa , ^{233}U с вылетом ионов Ne , ^{236}Pu с эмиссией ионов Mg , а также одновременный вылет ионов Ne и Mg из ядер ^{234}U . Установлены верхние границы вероятности изучаемого процесса для ядер $^{235,236}\text{U}$, ^{237}Np и ^{241}Am . В таблице 2 при-

Таблица 2

Нуклид	Кластер	Количество вещества, мг	$t_{\text{экс}}$, сут	$N_{\text{кл}}$, шт	$\lambda_{\text{кл}}/\lambda_{\alpha}$, $\times 10^{-12}$	$(T/2)_{\text{кл}}$, лет
^{230}Th	^{24}Ne	210	64	165	0,56	$1,3 \times 10^{17}$
^{231}Pa	^{24}Ne	7 ± 10	138	252	3,8	$8,6 \times 10^{15}$
^{233}U	$^{24,25}\text{Ne}$	75	28	16	0,75	$2,2 \times 10^{17}$
^{237}Np	^{30}Mg	320	122	0	0,04	$5,4 \times 10^{19}$
^{241}Am	^{34}Si	3,7	30	0	0,005	$1,4 \times 10^{17}$
^{234}U	$^{24,26}\text{Ne}$	$11,5+18,5$	$233+420$	$7+24$	0,39	$6,3 \times 10^{17}$
	^{28}Mg			$3+13$	0,23	$1,1 \times 10^{18}$
^{236}Pu	^{25}Mg	$3,4 \cdot 10^{-4}$	689	2	0,02	$1,5 \times 10^{14}$
	$^{25,26}\text{Ne}$	1200	233	0	$< 5,0$	$> 10^{20}$
^{235}U	^{28}Mg				$< 0,79$	$> 3 \times 10^{20}$
	Ne	25,3	233	0	$< 4,0$	$> 6 \times 10^{18}$
^{236}U	Mg					

ведены условия эксперимента и полученные результаты. В качестве детектора использовался ДД из ПЭТФ нечувствительный к альфа-частицам, но способный регистрировать и идентифицировать ионы с $Z > 6$ в интервале расчетных энергий $35+85$ МэВ. Эффективность регистрации кластеров при облучении в геометрии 2π составила $\sim 66\%$ на площади ДД до 1000 см^2 . Время экспозиции ограничивалось флюенсом альфа-частиц $\sim 10^{12} \text{ см}^{-2}$,

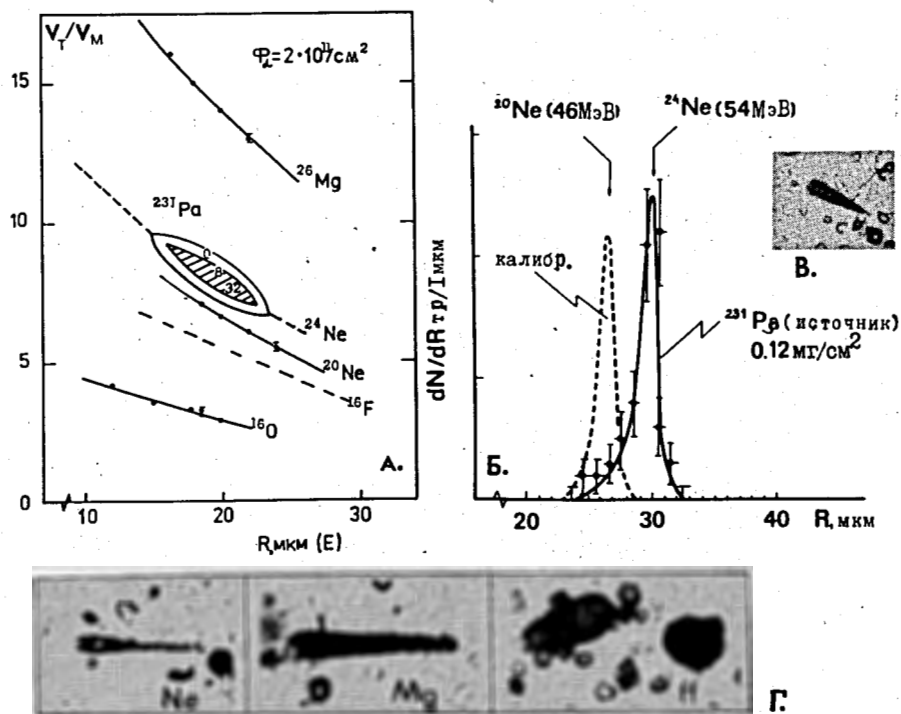


Рис. 7. А. Расчетные кривые зависимости V_T/V_M от $R_{\text{ост}}$. Точки и очерченный район относятся к экспериментальным результатам калибровочных экспериментов по облучению ДД ускоренными ионами ^{16}O , ^{20}Ne и ^{26}Mg с энергией $E=1,6+2,5$ МэВ/а.е.м. и по изучению кластерного распада ядер ^{231}Pa , соответственно. Б. Распределение пробегов (R) зарегистрированных кластеров распада ядер ^{231}Pa с указанием пробега ожидаемой энергии кластера ^{24}Ne с $E=54$ МэВ и калибровочных ускоренных ионов ^{20}Ne с $E=46$ МэВ. На врезке (В) микрофотография трека кластера Ne распада ядра ^{231}Pa . Г. Микрофотографии треков кластеров Ne , Mg и осколков деления, зарегистрированных при распадае ^{234}U в ПЭТФ.

превышение которого создавало большой фон травимых треков ядер отдачи углерода и кислорода (материала ДД), затрудняющий поиск треков кластеров и измерение их параметров.

Идентификация кластеров по Z и A осуществлялась методом V_T/V_M ($R_{ост}$) при многократном травлении детектора. Точность определения заряда составила $\Delta Z = \pm 0,15$; $\Delta A = \pm 1$. Энергия кластера определялась по длине полностью протравленного трека с точностью $\pm 2\%$. На рис. 7 представлены расчетные идентификационные кривые V_T/V_M ($R_{ост}$) и экспериментальные результаты, полученные в калибровочных экспериментах с ускоренными ионами и с зарегистрированными из распада ^{231}Pa кластерами; спектральное распределение длин найденных кластеров в сравнении с калибровочными данными и микрофотографии треков кластеров Ne , Mg и осколка, вылетающих одновременно из ядер ^{234}U . Показана возможность /34/ увеличения чувствительности метода на три порядка при использовании специально разработанного для этих целей 2-слойного детектора, который позволяет проводить надежную идентификацию кластеров от короткопробежных ядер отдачи за счет удаления верхнего слоя детектора при специальной обработке (рис. 8).

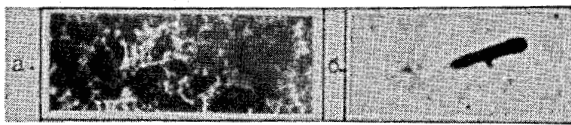


Рис. 8. Микрофотография треков кластеров, вылетевших при распаде ^{231}Pa и зарегистрированных а) в однослойном детекторе на фоне треков ядер отдачи и б) в 2-слойном (верхний слой удален после травления вместе с треками ядер отдачи) при флюенсе альфа-частиц $\sim 10^{13} \text{ см}^{-2}$ на ДД.

Метод 2-слойного детектора был использован в экспериментах при изучении распада ^{231}Pa , ^{236}Pu и ^{241}Am и является перспективным для наблюдения эмиссии более тяжелых кластеров из ядер с $Z > 95$ в условиях высокого фона альфа-частиц вплоть до 10^{15} см^{-2} и осколков деления ядер до $10^6 - 10^7 \text{ см}^{-2}$.

Разработанные в данной работе методы регистрации и идентификации редких событий кластерного распада с помощью ДД позволили наблюдать новое физическое явление в области недоступной другим способом регистрации заряженных частиц.

Б. Изучение редких событий спонтанного деления тяжелых ядер, синтезированных в ядерных реакциях $^{20,35-51}\text{I}$ на пучках ускорителей тяжелых ионов. С использованием радиоактивных мишеней трансурановых элементов были синтезированы ядра с атомным номером $Z=102-104$ и исследованы вероятности их спонтанного деления. В другой серии опытов, в реакциях холодного слияния, при облучении изотопов Ta , Pb и Bi более тяжелыми ионами, от Ar до Fe , исследовалась стабильность трансфермиевых элементов с $Z=104-110$. Показано, что в области актинидных ядер вероятность спонтанного деления возрастает с атомным номером синтезируемого ядра (или параметром делимости $\chi \sim Z^2/A$), а у трансфермиевых элементов вплоть до $Z=110$ период полураспада спонтанного деления практически не меняется. Это является прямым указанием на стабилизирующую роль эффекта ядерных оболочек в энергии деформированного ядра, для которых жидкокапельный барьер деления близок или равен нулю. В свою очередь этот результат является подтверждением теоретических представлений о стабильности СТЭ в области дважды магических чисел $110-114$ с числом нейтронов ~ 180 . В экспериментах этого типа сечение образования составных ядер в реакциях слияния ядер мишени и ускоренных ионов с испарением некоторого числа нейтронов, составляет очень малую величину до $\sim 10^{-35} \text{ см}^2$. Время жизни этих ядер также мало и равняется $\sim 10^{-3} \text{ с}$, поэтому в условиях физического эксперимента их получения доставка к ДД должна осуществляться экспрессно.



Рис. 9. Микрофотография треков рассеянных ионов ^{54}Cr в слюде до отжига (а) и после него (460°C , 6 час) (б). На рис. 8б виден осколок деления элемента 106 из реакции $^{207}\text{Pb} + ^{54}\text{Cr}$.

Для этих экспериментов были выбраны 2 типа ДД - слюда мусковит и фосфатное стекло. Их выбор был обусловлен, во-первых, высоким управляемым путем специального режима отжига порогом чувствительности по отношению к рассеянным ионам (рис. 9) ^{207}Pb и, во-вторых, низкой концентрацией урана (до $10^{-8} - 10^{-9} \text{ г/г}$) ввиду высокого флюенса нейтронов во время облучения.

В окончательном итоге были разработаны условия обработки ДД т.о., чтобы использование их в эксперименте позволяло зарегистрировать одиночные случаи спонтанного деления (одиночные и парные осколки) в течение многосуточных облучений на мощном пучке ионов ($\sim 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$). В опытах по холодному слиянию наблюдение одного события соответствовало сечению образования искомого ядра $\sim 10^{-36} \text{ см}^2/20$.

В экспериментах подобного рода были определены не только предельные возможности данного метода синтеза, но и исследованы сечения образования тяжелых ядер трансфермиевых элементов от E и Z иона, Q-реакции, числа испаряющихся нейтронов и т.д. Все эти исследования были проведены на уровне сечений реакции $10^{-35}-10^{-36} \text{ см}^2$.

В. Изучение редких событий спонтанного деления в природных образцах^{/52,53/}. Исследования по синтезу новых элементов и поиск редких событий спонтанного деления ядер потребовали просмотра больших площадей ДД в длительных экспозициях на пучках ускоренных ионов. Это явилось основой создания ДД сверхбольшой площади $\sim 100 \text{ м}^2$ для регистрации редких событий естественной радиоактивности - самопроизвольного деления природных ядер, не обусловленного спонтанным распадом актинидных элементов.

Необходимость подобного рода экспериментов была вызвана независимым измерением эффекта, наблюдавшегося ранее на нейтронном детекторе с указанием на чрезвычайно редкие события распада (по нейтронной вспышке при распаде нуклида, концентрация которого была чрезвычайно мала $\sim 10^{-14} \text{ г/г}$). Для определения вероятности самопроизвольного деления неизвестного излучателя с помощью ДД было выбрано наиболее детально исследованное вещество метеорита Алленде. Для достижения чувствительности, соответствующей концентрации $\sim 10^{-14} \text{ г/г}$ потребовалось $\sim 850 \text{ г}$ вещества, которое в виде слоя, толщиной $1-2 \text{ мг/см}^2$, было распределено на площади $\sim 100 \text{ м}^2$. Экспозиция составила ~ 10 мес. в условиях подавленного космического фона для исключения деления под действием космических лучей. Для снижения фона от дефектов ДД использовался низкофоновый метод регистрации парных осколков деления ядер в геометрии 4л двумя противоположными полимерными детекторами, между которыми находился изучаемый препарат, нанесенный на поверхности одного из детекторов. После травления поиск треков в одном из детекторов толщиной $10-12 \text{ мкм}$ осуществлялся с помощью искрового метода; в другом детекторе - под оптическим микроскопом находился коррелированный осколок. Зарегистрировано 6 парных событий спонтанного деления за 10 мес экспозиции, что соответствует концентрации элемента с самопроизвольным делением $\sim 10^{-14} \text{ г/г}$, в предположении, что его период полураспада составляет $\sim 10^9$ лет. Это не противоречит результатам, полученным ранее в

подобных экспериментах на нейтронном детекторе и пропорциональном счетчике.

Отвлекаясь от физической интерпретации данного явления, можно констатировать, что данный метод может быть использован для создания крупногабаритных детекторов в сочетании с современными методами автоматического сканирования, используемые для распознавания образа по треку.

В четвертой главе представлены результаты исследований по применению методов ДД для решения некоторых прикладных задач, таких как а) создание на основе диэлектрических материалов микропористых мембран^{/54-65/} и б) использование методов ДД для изучения долговременных вариаций радона в почвенном газе и геотермальных водах^{/61-71/}.

В первой части гл. 4 исследовались свойства ДД при высокой загрузке ионами различного типа путем прямого облучения пучком ускоренных ионов. Показано, что трек сохраняет свою индивидуальность до предельных значений флюенса ионов на детектор $10^{10}-10^{12} \text{ см}^{-2}$ в зависимости от A и E ионов, материала детектора, режима обработки, параметров трека. Такие высокие плотности треков без видимых искажений их формы использованы для создания уникальных материалов мембранного типа, получившие название "ядерные фильтры" (ЯФ).

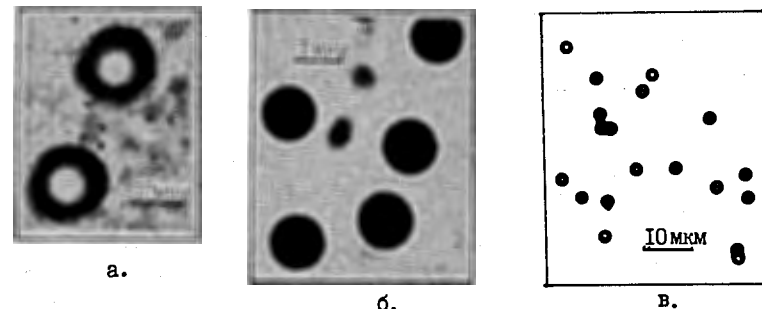


Рис. 10. Микрофотографии входных отверстий треков, перпендикулярно входящих в слой ионов: а) аргона с $E=220 \text{ МэВ}$ в ФП; б) ксенона с $E=124 \text{ МэВ}$ в ПЭТФ; в) альфа-частиц с $E=2 \text{ МэВ}$ в НЦ.

На рис. 10 представлены микрофотографии входных отверстий каналов пор в ЯФ из ПЭТФ, ФП, НЦ. ЯФ широко используются в смежных областях науки и техники, а сам процесс станет самостоятельной отраслью промышленного производства.

Во второй части гл. 4 рассмотрены вопросы применения метода ДД для регистрации альфа-частиц радона в исследованиях, где требуется не-

прерывный длительный анализ его концентрации в почвенном газе и геотермальных водах на больших площадях и в труднодоступных районах. Этот метод использован для определения динамики движения массивных горных пород, сопровождающееся изменением потока глубинных газов, радиационным метчиком которого является радон. Разработанный метод максимально прост, поэтому является широкодоступным и экономичным. Для иллюстрации корреляции тектонических явлений с эманацией радона на рис. II представлена динамика затухания Карымского вулкана. Падение активности радона во времени совпадает с уменьшением количества и интенсивности, происходивших в это время землетрясений. Разработанный метод используется для постоянных наблюдений с 1980 г. в сейсмоактивных районах Средней Азии и Камчатки.

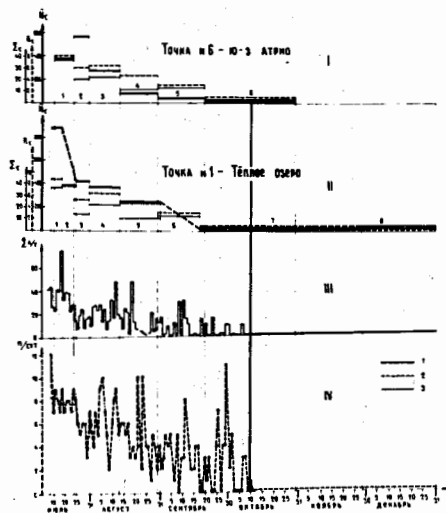


Рис. II.

Результаты измерения радона в т. №1 и №6 Карымского вулкана в 1982 г. I, II - графики средних значений за время экспонирования детекторов τ (границы τ - тонкие вертикальные линии на точках №6 и №1); I - плотность треков (\bar{N}_T), приведенная к шт/сут. мм²; 2 - среднее количество взрывных землетрясений (\bar{n}_τ), регистрируемых на с/ст. "Карымская" за время τ , шт/сут; 3 - среднее значение энергии ($\bar{\Sigma}(A/T)$), выделенной в сутки

за время τ , (мкм/с/сут). Арабские цифры в границах τ - номера детекторов 6/I, I/I - №1 на точке №6, №1 - на точке №1 и т.д. III - ежесуточное выделение энергии при взрывных землетрясениях, $\Sigma(A \text{ мкм}/T_c)$, IV - ежесуточное количество взрывных землетрясений на с/ст. "Карымская" (шт/сут). Жирная вертикальная линия (10 октября 1982 г.) - окончание извержения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

I. Проведено исследование взаимодействия ускоренных ионов различных элементов таблицы Менделеева в широком диапазоне энергий с

различными диэлектрическими материалами с целью создания детекторов заряженных частиц для использования их в ядерно-физических экспериментах и других исследованиях в смежных областях науки и техники.

2. Показано, что при определенных условиях физико-химической обработки, облученных ионами диэлектрических материалов, можно получить однозначную связь между потерями энергии частиц и оптически видимым протравленным треком, и тем самым определить основные характеристики зарегистрированной частицы.

3. Проведены детальные исследования идентификационных и спектральных характеристик различного вида ДД в широком диапазоне энергий, масс и зарядов регистрируемых ионов в критических условиях высокого радиационного фона. Показано преимущество ДД перед другими методами регистрации редких событий в сложных условиях ядерно-физических экспериментов.

4. Разработаны специальные детекторы, методы регистрации и идентификации, позволившие провести уникальные эксперименты:

а) Изучен новый вид радиоактивного распада (кластерный распад) актинидных элементов с $Z=90+95$. Впервые обнаружен и изучен распад ядер ^{230}Th , ^{231}Pa , ^{233}U с вылетом ионов Ne; ^{236}Pa с эмиссией ионов Mg и распад ^{234}U с одновременным вылетом двух кластеров - Ne и Mg. Применение для регистрации двухслойных ДД позволило поднять чувствительность метода на три порядка и работать в условиях фона альфа-частиц и осколков деления до 10^{15} см^{-2} и $10^6-10^7 \text{ см}^{-2}$, соответственно. Это позволило проводить исследования в области недоступной для других способов регистрации.

б) На пучках ускорителей тяжелых ионов с использованием радиоактивных мишеней и специально выбранных ДД были синтезированы и исследованы ядра с атомным номером $102+104$. В реакциях холодного слияния при облучении изотопов Ta, Pb и Bi тяжелыми ионами от Ar до Fe с использованием ДД с регулируемым порогом чувствительности была исследована стабильность трансураниевых элементов с $Z=104+110$. Методика обеспечила изучение реакций с сечением вплоть до 10^{-36} см^2 .

в) Определена вероятность самопроизвольного деления неизвестного излучателя из вещества метеорита Алленде с чувствительностью $\sim 10^{-15} \text{ г/г}$, с применением низкофоновой методики и использованием больших площадей ($\sim 100 \text{ м}^2$) ДД.

г) Исследовано запаздывающее деление ядер, спонтанное деление изомеров, изучены свойства сверхнейтронноизбыточных ядер легких элементов, определены времена жизни составных ядер и т.д.

5. Исследованы свойства различных полимерных материалов для регистрации больших потоков заряженных частиц. Определены параметры

каналов сквозных треков в тонкопленочных материалах в зависимости от массы, энергии ионов, типа материала и режима выявления. На основе этих исследований создана технология получения фильтрующих матриц с заданной формой и размером пор (вплоть до 0,03 мкм), нашедшая применение при массовом производстве ядерных фильтров для тонкой очистки газообразных и жидких сред в различных областях народного хозяйства.

6. Разработан простой, экономичный и широкодоступный метод определения концентрации радона в почвенном газе и геотермальных водах, который используется при длительных временных и пространственных геофизических исследованиях в сейсмоактивных районах.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Абдуллаев Х., Перельгин В.П., Третьякова С.П., Шадиева Н.Х. Регистрация заряженных частиц с помощью нитрата целлюлозы//ИТЭ.- 1968. - №6. - С. 64-67.
2. Perelygin V.P., Tretyakova S.P., Shadieva N.H., Cieslak E. The Discrimination of Heavy Particles in Phosphate Glass and Muscovite Mica//Proc. Int. Conf. Nucl. Track Registration in Insulating Solids, Clermont-Ferrand, 6-9 May 1969. - V.1. - Clermont-Ferrand, 1969. P. 28-39.
3. Веприк Я.М., Перельгин В.П., Романенко В.Л., Третьякова С.П., Виноградов Ю.А. Влияние химических факторов на изменение чувствительности полимерных детекторов//ИТЭ.- 1970. - №4. - С. 51-53.
4. Отгонсурен О., Перельгин В.П., Третьякова С.П. Свойства стеклянных детекторов и их применение// Proc. 8-th Int. Conf. SSTD.-Bucharest 10-15 July, 1972. - V.2. - Bucharest, 1972, p. 231-240.
5. Веприк Я.М., Перельгин В.П., Романенко В.П., Третьякова С.П. Влияние степени полимеризации на свойства детекторов из нитрата целлюлозы//Труды ЛИКИ. 1973. Вып. XXIII. С. 130-137.
6. А.С. 448411 СССР Детектор тяжелых заряженных частиц./Третьякова С.П. Паншин Ю.А., Малкевич С.Г., Веприк Я.М. Бюлл. ОИПОТЭ.- 1974. - №40, С. 89.
7. Третьякова С.П., Меркина К.И. Изменение чувствительности слюдяных детекторов заряженных частиц методом отжига//Межд. конгресс по фотогрф. науке, Дрезден, 1-8 сент. 1974. - т. 2. - Дрезден, 1974, С. 125-126.
8. Веприк Я.М., Романенко В.П., Третьякова С.П. Влияние пластификаторов на свойства детекторов на основе нитрата целлюлозы//Труды ЛИКИ. 1975. Вып. XXVI. С. 145-148.
9. Веприк Я.М., Романенко В.П., Третьякова С.П. Влияние эфиров фталевой кислоты на регистрирующие свойства нитрат-целлюлозных детекторов//Труды ЛИКИ. 1978. Вып. XXXII. С. 70-73.

10. Третьякова С.П., Мамонова Т.И. Влияние гамма-лучей на детектирующие свойства лавсановой пленки//АЭ.- 1979. - №47, вып. 4. - С. 261-262.
11. Третьякова С.П., Джолос Л.В. Детекторы тяжелых заряженных частиц на основе фторопластов//ИТЭ.- 1978. - №1. - С. 36-41.
12. Апель П.Ю., Третьякова С.П. Изучение процесса травления следов тяжелых заряженных частиц кондуктометрическим методом//ИТЭ.- 1980. - №3. - С. 59-61.
13. Tretyakova S.P., Shirkova V.V., Khitrova N.B., Borcea C. Polyvinylidene fluoride (PVF) as a charged particle detector.//Nucl. Tracks.- 1986. - V.12, N1-6. - P.75-76.
14. Tretyakova S.P., Apel P.Yu., Jolos L.V., Mamonova T.I., Ahirkova V.V. A study of the registration properties of polyethyleneterephthalate//Nucl. Tracks, Suppl.- 1980. - N2. - P. 282-289.
15. Апель Ю.П., Титова Ш.А., Третьякова С.П. Изучение процесса травления треков заряженных частиц в полиарилате.- Дубна, 1986. - 10 с. - (ОИЯИ 16-86-788).
16. Третьякова С.П., Джолос Л.В. Электрохимическое усиление следов осколков деления ядер//ИТЭ.- 1982. - №3. - С. 52-56.
17. Третьякова С.П., Ширкова В.В. Радиолит сополимера поливинилиденфторида с тетрафторэтиленом под действием тяжелых ионов.- Дубна, 1988. - 8 с. - (ОИЯИ 12-88-387).
18. Оганесян Ю.Ц., Михеев В.Л., Меркина К.И., Третьякова С.П. Определение энергии осколков деления ядер диэлектрическими детекторами. Труды Межд. симпозиума по синтезу и свойствам новых элементов.- Дубна, 1980. - (ОИЯИ Д7-80-556). Дубна 1988, с. 31.
19. Sagaidak R.N., Tretyakova S.P. Use of Polycarbonate Detectors for Spectrometry of Fission Fragments.//Nucl. Tracks.- 1986. - V. 12, N 1-6. - С. 317-320.
20. Третьякова С.П. Использование диэлектрических детекторов для регистрации редких событий радиоактивного распада трансураниевых элементов. - Дубна, 1988. - 13 с. - (ОИЯИ Р7-88-711).
21. Tretyakova S.P., Borcea C., Kalpakchieva R. The Use of CR-39 Plastic Detector for the Detection and Identification of Ions with $2 < Z < 5$ //Nucl. Instrum. Methods.- 1984. - V. 221, N2. - P. 371-377.
22. Оганесян Ю.Ц., Пенионжквич Ю.Э., Герлик А., Калпакчиева Р., Павлак Т., Борча К., Белозеров А.В., Харитонов Ю.П., Третьякова С.П. Эксперименты по поиску ядер ^{10}Ne в реакциях с тяжелыми ионами//ЖЭТФ. Письма.- 1982. - т. 36, вып. 3. - С. 104-106.

23. Григоров Н.Л., Бобровская В.В., Кондратьева М.А., Папина Л.П., Подгурская А.В., Журавлев Д.А., Третьякова С.П., Третьякова Ч.А. Потоки ионов группы сно с энергиями 4+20 МэВ/а.е.м. в окрестности земли в период минимума солнечной активности.- М.- 1988.- 39 с.- (НИИЯФ МГУ-88-48/69).
24. Grigorov N.L., Alekseev V.V., Bobrovskaya V.V., Gordeyev Yu.P., Kondratyeva M.A., Nymnik R.A., Papina L.A., Podgurskaya A.V., Sechinov V.R., Shcherbakov N.A., Shiryaeva V.K., Sokolov M.G., Tatko M.G., Tretyakova Ch.A., Trigubov Yu.V., Vakulov P.V., Yakovlev B.M., Zhuravlev D.A. Detection of the Fluxes of 5-20 MeV/nucleon Medium Nuclei at Altitudes of 300-400 km in the Earth's vicinities//Proc. 20-th ICRC, Moscow, 1987.- Т. 3SH.- August 2-15.- Т. 3SH.- Moscow, Nauka, 1987. P. 264-266.
25. Perehygin V.P., Shadieva N.H., Tretiakova S.P., Boos A.H., Brandt R. Fission Produced in Au, Bi, Th, and U with Ar Ions//Nucl.Phys.- 1969.- V. 127. P. 577.
26. Сэндулеску А., Замятнин Ю.С., Лебедев И.А., Мясоедов В.Ф., Третьякова С.П., Хашеган Д. Спонтанный распад ^{231}Pa с испусканием ядер неона//Краткие сообщ. ОИЯИ.- 1984.- №5.- С. 5-9; Изв. АН СССР, серия физ.- 1985.- Т. 49, Вып. II.- С. 2104-2106.
27. Третьякова С.П., Сэндулеску А., Замятнин Ю.С., Короткин Ю.С., Михеев В.Л. Испускание ядер неона при распаде ^{233}U //Краткие сообщ. ОИЯИ.- 1985.- №7.- С. 23-26.
28. Tretyakova S.P., Sandulescu A., Mikheev V.L., Hasegan D., Lebedev I.A., Zamyatnin Yu.S., Korotkin Yu.S., Myasoedov B.F.//On the Spontaneous Emission of Clusters by the ^{230}Th , ^{237}Np and ^{241}Am Nuclei//Краткие сообщ. ОИЯИ.- 1985.- №13.- С. 34-40.
29. Третьякова С.П., Сэндулеску А., Михеев В.Л., Замятнин Ю.С., Лебедев И.А., Мясоедов В.Ф., Хашеган Д., Короткин Ю.С. Спонтанный распад ядер тяжелых элементов с испусканием нуклонных кластеров//Изв. АН СССР, сер. физ.- 1986. Т. 50. Вып. 10.- С. 1925-1928.
30. Третьякова С.П., Сэндулеску А., Михеев В.Л., Замятнин Ю.С., Короткин Ю.С., Лебедев И.А., Мясоедов В.Ф., Хашеган Д. Спонтанный распад тяжелых ядер с испусканием частиц с $Z > 10$ //Труды Межд. школы-семинара по физике тяжелых ионов.- Дубна, сент. 1986.- Д-7-87-68.- Дубна, 1987, С. 184-189.
31. Tretyakova S.P., Zamyatnin Yu.S., Kovantsev V.N., Korotkin Yu.S., Mikheev V.L., Timofeev G.A. Observation of Nucleon Clusters in the Spontaneous Decay of ^{234}U .- Dubna, 1988.- 12 p.- (JINR E7-88-803).
32. Оглоблин А.А., Третьякова С.П., Веников Н.И., Лисин С.К., Михеев В.Л., Пирожков С.В., Пчелин В.А., Родионов Ю.Ф., Семочкин В.М., Шабров В.А., Швецов И.К., Шубко В.М. Обнаружение радиоактивного распада ^{236}Pu с вылетом ядер ^{28}Mg //Краткие сообщ. ОИЯИ. 1989.- №2.- С. 43-46.
33. Particle Emission from Nuclei. Ed. Poenaru D.N., Ivascu M.S.- Boca Raton, Florida CRC Press, 1 nc, 1989.- P. 233-257.
34. А.С. I279384 (СССР). Способ регистрации заряженных частиц с помощью твердотельных трековых детекторов/Третьякова С.П., Михеев В.Л. ОИ.1988.№24. С. 273.
35. Диплом на открытие № 194 (СССР). Явление образования радиоактивного изотопа с атомным номером 106"/Третьякова С.П., Пенионжкевич Ю.Э., Плотко В.М., Иванов М.П., Данилов Н.А., Короткин Ю.С., Флеров Г.Н., Оганесян Ю.Ц., Третьяков Ю.П., Ильинов А.С., Демин А.Г., Плева А.А. ОИПОТЗ, 1978. №9. С. 3.
36. Флеров Г.Н., Оганесян Ю.Ц., Лобанов Ю.В., Плева А.А., Тер-Акопьян Г.М., Демин А.Г., Третьякова С.П., Чепигин В.И., Третьяков Ю.П. Эксперименты по синтезу сверхтяжелых ядер в реакциях с ионами германия.//ЯФ.- 1974.- Т. 19, №3.- С. 492-502.
37. Флеров Г.Н., Карамян С.А., Пенионжкевич Ю.Э., Третьякова С.П., Шелаев И.А. Некоторые эксперименты по изучению взаимодействия ускоренных ионов ксенона с ядрами.- Дубна.1972.- 18с.- (ОИЯИ Р7-6262).
38. Oganessian Yu.Ts., Iljinov A.S., Demin A.G., Tretyakova S.P.// Experiments on the Production of Fermium Neutron-Deficient Isotopes and New Possibilities of Synthesizing Elements with $Z > 100$ // Nucl. Phys.- 1975.- vol. A230, N2.- С. 353-364.
39. Oganessian Yu.Ts., Demin A.G., Iljinov A.S., Tretyakova S.P., Pleva A.A., Penionzhkevich Yu.E., Ivanov M.P., Tretyakov Yu.P. Experiments on the Synthesis of Neutron-Deficient Kurchatovium Isotopes in Reactions Induced by ^{50}Ti Ions//Nucl.Phys.- 1975. V. A239, N1.- С. 157-171.
40. Flerov G.N., Oganessian Yu.Ts., Lobanov Yu.V., Lasarev Yu.A., Tretiakova S.P., Kolesov I.V., Plotko V.M. On the Synthesis of Element 105//Nucl.Phys.-1970.- Vol. A160.- P. 181-201.
41. Ter-Akopian G.M., Iljinov A.S., Oganessian Yu.Ts., Orlova O.A., Popeko G.S., Tretyakova S.P., Chepigin V.I., Shilov B.V., Flerov G.N. Synthesis of the New Neutron-Deficient Isotopes $^{250}\text{102}$, ^{242}Fm and ^{254}Ku //Nucl.Phys.- 1975.- V. A255, N2.-С. 509-522.

42. Оганесян Ю.Ц., Демин А.Г., Данилов Н.А., Иванов М.П., Ильинов А.С., Колесников Н.Н., Марков Б.Н., Плотко В.М., Третьякова С.П., Флеров Г.Н. О спонтанном делении нейтронодефицитных изотопов элементов 103, 105 и 107//Nucl. Phys.- 1976.- v. A273. Nucl. Phys.- 1976.- v. A273. N2.-С. 505-522.
43. Оганесян Ю.Ц., Третьяков Ю.П., Ильинов А.С., Демин А.Г., Плева А.А., Третьякова С.П., Плотко В.М., Иванов М.А., Данилов Н.А., Короткин Ю.С., Флеров Г.Н. Синтез нейтронодефицитных изотопов фермия, курчатовия и элемента с атомным номером 106//ЖЭТФ. Письма.- 1974- т. 20.- С. 580-585.
44. Демин А.Г., Третьякова С.П., Утенков В.К., Широковский И.В.//О свойствах изотопов 106-го элемента, образующихся в реакциях $Pb+^{54}Cr$ //Z.Phys. A.- 1984. V. 315.- С. 197-200.
45. Oganessian Yu.G., Demin A.G., Hussonnois M., Tretyakova S.P., Kharitonov Yu.P., Utyonkov V.K., Shirokovsky I.V., Constantinescu O., Bruchertseifer H., Korotkin Yu.S. On the Stability of the Nuclei of Element 108 with A=263-265//Z.Phys. A.- 1984.- V. A319.- С. 215-235.
46. Oganessian Yu.Ts., Hussonnois M., Demin A.G., Kharitonov Yu.P., Bruchertseifer H., Constantinescu O., Korotkin Yu.S., Tretyakova S.P., Utyonkov V.K., Shirokovsky I.V., Estevez J.//Experimental Studies of the Formation and Radioactive Decay of Isotopes with Z=104-109//Radiochimica Acta.- 1984.- V. 37.- С. 113-120.
47. Оганесян Ю.Ц., Лобанов Ю.В., Косонуа М., Харитонов Ю.П., Горски Б., Константинеску О., Попеко А.Г., Брухертсайфер Х., Сагайдак Р.Н., Третьякова С.П., Букланов Г.Н., Рыхлюк А.В., Гульбекян Г.Г., Плева А.А., Иванов Г.Н., Плотко В.М. Эксперименты по синтезу элемента 110.- Дубна, 1987.- 24 с.- (ОИЯИ Д6-87-392).
48. Oganessian Yu.Ts., Bruchertseifer H., Buklanov G.V., Chepigin V.I Choi Val Sek., Eichler B., Gavrilov K.A., Gaeggeler H., Korotkin Yu.S., Orlova O.A., Reetz P., Seidel W., Ter-Akopian G.M., Tretyakova S.P., Zvara I.//Experiments to Produce Isotopes of Superheavy Elements with Atomic Numbers 114-116 in ^{48}Ca Ion Reactions//Nucl. Phys.- 1978.- v. A294.- С. 213-224,
49. Бугров В.Н., Каменин В.В., Карамян С.А., Третьякова С.П. Измерение времени протекания ядерной реакции $^{238}U(^{27}Al, S, f)$ //Ядерная физика.- 1978.- Т. 28. №2.- С. 303-307.
50. Lazarev Yu.A., Lobanov Yu.V., Sagaidak R.N., Utyonkov V.K., Hussonnois M., Kharitonov Yu.P., Shirokovsky I.V., Tretyakova S.P. Oganessian Yu.Ts. Study of the Stability of the Ground States and K-Isomeric States of ^{250}Fm and $^{254}102X$ Against Spontaneous Fission//Physica Scripta.- 1989.- v. 39.-P. 422-435.
51. Lazarev Yu.A., Oganessian Yu.Ts., Shirokovsky I.V., Tretyakova S.P., Utyonkov V.K., Burklanov G.V. Observation of Delayed Nuclear Fission in the Region of ^{180}Hg //Europhysics Letters.- 1987 - v. 4, N 8 - P. 893-898.
52. Отгонсурен О., Перелыгин В.П., Третьякова С.П., Виноградов Ю.А., О поисках следов осколков спонтанного деления далеких трансуранных элементов в природных минералах//АЭ.- 1972.- Т. 32, вып. 4.- С. 344-347.
53. Третьякова С.П., Джолос Л.В., Пономаренко В.А. Регистрация спонтанно делящегося нуклида в метеорите Алленде. Дубна, 1983.- 8 с.- (ОИЯИ 15-83-888).
54. А.С. № 520778 (СССР) Способ изготовления ядерных фильтров//Флеров Г.Н., Барашенков В.С., Третьякова С.П., Щеголев В.С. ОИПОТЗ, 1977, № 27, с. 200.
55. Акапьев Г.Н., Барашенков В.С., Самойлова Л.И., Третьякова С.П., Щеголев В.А. К методике изготовления ядерных фильтров.- Дубна. 1974.- 20 с.- (ОИЯИ Б1-14-8214).
56. Третьякова С.П., Акапьев Г.Н., Барашенков В.С., Самойлова Л.И., Щеголев В.А. Применение ионов аргона для изготовления ядерных фильтров//Ат. энергия.- 1977.- Т. 42.- С. 395-397.
57. Третьякова С.П., Козлова Т.И., Акапьев Г.Н. Получение ядерных фильтров с помощью ускоренных ионов углерода, кислорода, неона. Дубна. 1976.- 9 с.- (ОИЯИ Р14-10235).
58. Мчедlishvili Б.В., Бреслер С.Е., Коликов В.М., Молодкин В.М., Флеров Г.Н., Барашенков В.С., Третьякова С.П., Щеголев В.А., Козлова Т.И., Аксенова Т.А., Королев М.Б. Изучение процессов фильтрации коллоидных и биологических суспензий через ядерные фильтры//Коллоидн. ж.- 1978.- Т. 40.- С. 59-63.
59. Булыгин А.Н., Третьякова С.П., Козлова Т.И., Потокин И.Л., Черкасов А.Н., Жемков В.П., Мчедlishvili Б.В., Самохина Г.Д., О влиянии соотношения размеров частицы и поры на селективность мембран//Коллоидн. журнал.-1978.-Т.4С.-С. 1155-1160.
60. Барашенков В.С., Козлова Т.И., Третьякова С.П. Ядерные фильтры с ультрамалыми порами.- Дубна. 1975.- 10 с.- (ОИЯИ, Б1-14-8802).
61. Акапьев Г.Н., Барашенков В.С., Боцан В.Я., Гудима К.К., Монохова Л.И., Ропот В.М., Самойлова Л.И., Смирнова В.А., Смирнова В.А. Третьякова С.П., Флеров Г.Н., Щеголев В.А. Использование ядерных фильтров в виноделии. Дубна, 1975.- 5 с.- (ОИЯИ Б1-14-8376).
62. А.С. № 498836 (СССР) Экран слоисто-вакуумной изоляции//Флеров Г.Н. Веркин Б.И., Барашенков В.С., Михальченко Р.С., Павлюк В.А., Перелыгин В.П., Третьякова С.П., Щеголев В.А. Ю, 1977, № 21.

63. Барашенков В.С., Задорожный А.М., Самойлова Л.И., Третьякова С.П., Хитрова Н.Б. Определение пористости ядерных фильтров электролитическим методом.- Дубна, 1976. - 10 с.- (ОИЯИ БЗ-14-9367).
64. Фетина А.П., Барашенков В.С., Третьякова С.П., Акапьев Г.Н., Козлова Т.И. Применение ядерных фильтров для очистки воды в системе коммунального водоснабжения.- Дубна, 1977.- 5 с.- (ОИЯИ Б1-14-8802).
65. Флеров Г.Н., Щеголев В.А., Акапьев Г.А., Барашенков В.С., Евдокимова Л.Н., Завальский Ю.П., Кузнецов В.А., Петров Л.А., Полянин К.П., Третьякова С.П., Самойлова Л.И., Ишмыкаев А.Е. Использование ядерных фильтров для очистки технологической воды в производстве полупроводниковых приборов.- Дубна, 1974.- 8 с.- (ОИЯИ БЗ-14-8292).
66. Флеров Г.Н., Третьякова С.П., Джолос Л.В., Пазылов М.С., Султанходжаев А.Н., Латипов С.У., Беляев А.Д., Муминов А.И., Усмандиаров А.М. Методика измерения радона в почве и термальных водах. Дубна, 1983.- 8 с.- (ОИЯИ 18-83-388).
67. Флеров Г.Н., Чирков А.М., Третьякова С.П., Джолос Л.В., Меркина К.И. Использование радона в качестве индикатора вулканических процессов//Известия АН СССР, физика Земли.- 1986.- №3.- С. 58-61.
68. Аширов Т.А., Ишанкулиев Д., Джолос Л.В., Меркина К.И., Третьякова С.П. Эманиационные исследования в Ашхабадской сейсмоактивной зоне. - Дубна.- 1986.- 10 с.- (ОИЯИ, 18-86-452).
69. Ишанкулиев Д., Третьякова С.П., Аширов Г.А., Ниязов А.М., Ишанкулиев Г., Меркина К.И., Джолос Л.В. Эманиационные исследования на нефтеносной площади Кум-Даг и структуре Кобек.- Дубна.- 1988.- 6 с.- (ОИЯИ 18-88-712).
70. Войтов Г.И., Абувалиев А.К., Сткмянин Ю.Ц., Третьякова С.П., Аширов Г., Атаев С., Именкулиев Д., Рудаков В.П., Бабаханов А.О., Кравцов А.А., Султанхаджаев А.Н., Закиров Т., Латипов С.У. Некоторые вопросы техники и методики измерений радона в сейсмически активных зонах//Прогноз землетрясений.- 1986.- №6.- С. 107-117.
71. Третьякова С.П., Пономаренко В.А. Изучение возможности использования диэлектрических детекторов для измерения активности почвенного радона. Труды Совещания по использованию новых яд.физ.методов для решения научно-техн. и народно-хоз. задач.- Дубна, 1982.- 6 с.- (ОИЯИ, 18-82-117).

Рукопись поступила в издательский отдел
27 июля 1989 года.