

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

Т 666

P7-88-711

С.П.Третьякова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДЕТЕКТОРОВ  
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ РЕДКИХ СОБЫТИЙ  
РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА  
ТРАНСФЕРМИЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1988

## ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение у некоторых диэлектриков способности регистрировать тяжелые заряженные частицы <sup>1-3/</sup> значительно увеличило эффективность проведения экспериментов по синтезу новых элементов в реакциях с тяжелыми ионами. Синтез элементов осуществляется за счет полного слияния бомбардирующей частицы с ядром мишени <sup>4/</sup>. Поэтому образование нового элемента является весьма редким процессом и соответствует сечению  $10^{-34} \div 10^{-36}$  см<sup>2</sup>. Увеличение Z синтезируемых ядер приводит к понижению их времен жизни, при этом значительно возрастает фон от короткоживущих спонтанно делящихся изомеров, образующихся с большим сечением в реакциях многонуклонных передач.

Для трансформированных элементов характерны два вида радиоактивного распада: альфа-распад и спонтанное деление. В ЛЯР ОИЯИ изучают новые элементы по их спонтанному делению.

Получение препаратов для изучения свойств синтезированных ядер связано с отделением продуктов ядерных реакций от вещества мишени. За счет большого импульса тяжелого иона атомы нового элемента летят почти строго вперед. При использовании толщины мишени не более величины пробега можно обеспечить полное их выбивание. Трудностью выделения составного ядра является совпадение направления вылета составного ядра из мишени с направлением ионов. Радиохимические методы не всегда пригодны в силу их недостаточного быстрого действия. Выделение составных ядер из зоны пучка производится либо чисто механическим способом, при котором атомы отдачи вбиваются во вращающийся диск илидвигающуюся ленту, которые переносят их к детекторам, либо транспортируют атомы отдачи газовой струей или производят разделение с помощью электрических и магнитных полей. Все методы имеют свои временные пределы регистрации. В данной работе уделяется внимание первому способу, хотя во втором тоже можно использовать для регистрации осколков деления синтезируемых ядер диэлектрические детекторы, устанавливая их в фокальную плоскость сепаратора.

## 2. СХЕМЫ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗА

На рис. 1-3 для примера представлены схемы устройств для синтеза новых элементов. В первых трех случаях мишень, уда-

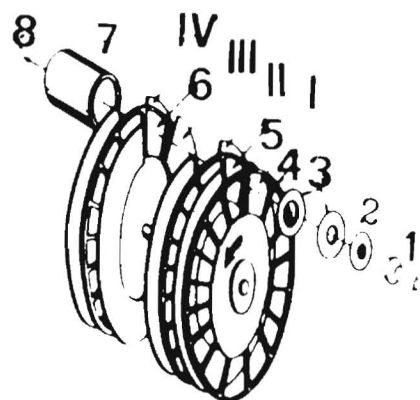


Рис. 1. Схема установки "Диски". Цифрами обозначены: 1 - пучок ионов, 2 - мишень, 3 - коллиматоры ядер отдачи, 4 - диск-"маска", 5 - первый диск-сборник ядер отдачи, 6 - второй диск-сборник ядер отдачи, 7 - цилиндр Фарадея, подключенный к интегратору тока /8/. Римскими цифрами I-IV обозначены трековые детекторы осколков деления.

Рис. 2. Схема установки для регистрации осколков деления синтезируемых ядер с тяжелыми ионами.

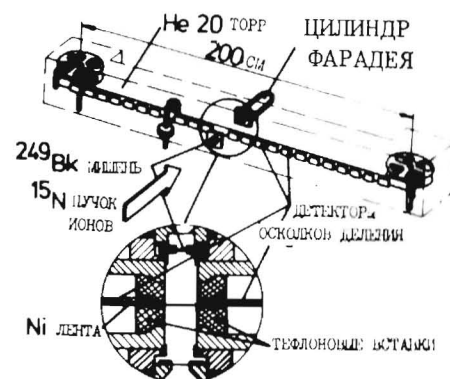
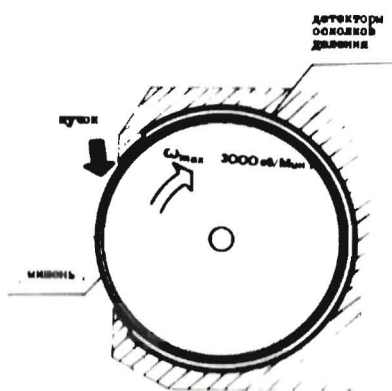


Рис. 3. Схема установки для регистрации короткоживущих спонтанно делящихся ядер.

ленная от зоны детектирования, облучалась выведенным из циклотрона пучком ионов. Продукты реакции внедрялись в поверхность транспортера-сборника. В устройстве, изображенном на рис. 1, в качестве сборника использовались металлические фольги (Al, C), которые укреплялись на двух дисках диаметром 30 см, установленных друг за другом, и вращались с одинаковой скоростью. В устройстве рис. 2 использовалась металлическая лента. Вбитые в сборник ядра с заданной скоростью переносились к детекторам, которые регистрировали их распад.

На рис. 3 представлена схема установки, предназначенной для работы на внутренней пучке ускорителя, чтобы использовать максимальную интенсивность потока ускоренных ионов /4/. Пучок падал по касательной  $\sim 120^\circ$  к боковой поверхности вращающегося цилиндра, на которую был нанесен слой вещества мишени толщиной  $2 \div 3$  мг/см<sup>2</sup>. Продукты реакции образовывались в мишени и при ее вращении переносились к детекторам, которые располагались по всему периметру мишени, исключая зону облучения. При использовании в экспериментах веществ, испытывающих вынужденное деление вторичным излучением /нейтронами/, мишени толщиной до 2 мкм располагались в непосредственной близости от цилиндра, служившего сборником ядер отдачи. За счет наклона мишени-сборника к пучку глубина вбивания основной части ядер отдачи оказывалась существенно меньше пробегов осколков деления, что позволяло регистрировать осколки деления с эффективностью  $\sim 65\%$ . Скорости движения сборников достигали  $10^3 \div 10^4$  об./мин. Это позволяло регистрировать распад ядер в устройствах рис.1 более 1 мс, рис.2 - более 20 мс, а рис.3 - более 0,4 мс.

В реакциях синтеза возникают спонтанно делящиеся продукты с временем жизни больше, чем у искомым. При выделении короткоживущей активности на фоне долгоживущей в качестве сборника устройства рис. 2 использовалась лента длиной до 800 м. Это значительно снижало удельную активность долгоживущего изотопа.

Для идентификации синтезируемых изотопов использовался метод перекрестных облучений, снимались функции возбуждения, применялся коллимационный метод /4/. В экспериментах синтеза с помощью диэлектрических детекторов получали количественное и пространственно-временное распределение редких актов спонтанного деления, подобное тому, которое, для примера, представлено на рис. 4 /4/. Анализ временных распределений треков проводился согласно программе, разработанной на языке ФОРТРАН-4 для данных с малой статистикой /5/.

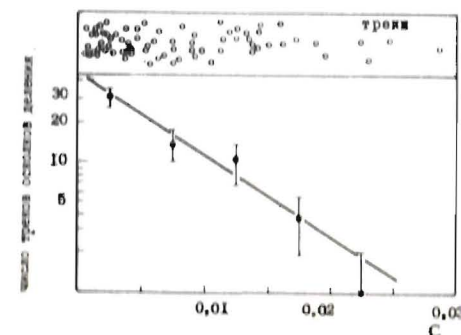


Рис. 4. Временное распределение треков осколков спонтанного деления в реакции  $^{208}\text{Pb} + ^{50}\text{Ti}$ , полученных на установке рис. 3.

### 3. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА ДЕТЕКТОРОВ

А. Эксперимент. В связи с малыми сечениями реакции синтеза необходимо проводить длительные облучения /до нескольких суток/ в вакууме в условиях высокого фона радиационного излучения /интегральный поток ионов на мишень достигает  $10^{18}$ / при повышенной температуре. Используемые для регистрации осколков деления ядер детекторы должны иметь достаточно большие площади с одинаковыми и воспроизводимыми свойствами, сохранять длительное время информацию, иметь высокую эффективность и низкую чувствительность к радиационному фону, низкий собственный фон, быть термически и радиационно стойкими.

Для регистрации осколков были выбраны детекторы: слюда - мусковит, фосфатное стекло, полиэтилентерефталат, поликарбонат. Последний использовался для определения энергетического и массового распределения осколков деления синтезируемых ядер <sup>6</sup>/ . Изучались чувствительность и эффективность регистрации к многозарядным ионам и осколкам, а также методы их дискриминации. Для этого проводилось облучение образцов ионами с  $Z = 2 \div 30, 32, 36, 40, 42, 54$  с энергиями  $1 \div 10$  МэВ/нуклон под различными углами и осколками деления ядер урана, кюрия, калифорния, фермия в вакуумной камере  $/10^{-3} \div 10^{-5}$  Торр/ и на воздухе. Поток частиц составлял  $10^2 \div 10^6$  /см<sup>2</sup>. Партии облученных детекторов хранились на воздухе и в вакуумной камере. Дополнительно образцы облучались быстрыми и тепловыми нейтронами,  $\gamma$ -излучением на воздухе и в вакууме от источника <sup>137</sup>Cs мощностью дозы 0,8 Гр/с; УФ-светом с  $\lambda \sim 320$  нм и потоком квантов  $\sim 10^{16}$  см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> в комнатных условиях. Отжиг облученных образцов проводился в термостатированном сушильном шкафу /до 200°C/ и в муфельной печи с электронным модулем поддержания температуры  $/\pm 2^\circ\text{C}/$ . Для травления использовали водный раствор гидроксида натрия. Изменяли концентрацию, температуру и продолжительность. Скорость травления необлученного детектора определяли по изменению веса детектора, толщины пленки, изменению диаметра перпендикулярно входящего в детектор трека ксенона или осколка деления. Скорость травления полимера вдоль трека  $V_T$  определяли по травимой длине, отнесенной к единице времени, из соотношения диаметра иона и стравленного слоя кондуктометрическим методом <sup>15</sup>/ . Параметры треков измерялись на оптическом телевизионном анализаторе MOP /Австрия, фирма Рейхерт/ и оптическом микроскопе с точностью  $\pm 0,3$  мкм, диаметры сквозных треков - "пузырьковым" методом <sup>17</sup>/ . Просмотр детекторов проводился с помощью оптического микроскопа при увеличении 100х. Кроме химического травления использовалось электрохимичес-

кое <sup>18</sup>/ в специальном режиме, при котором не искажались входные параметры треков /диаметр, угол входа/. Это позволяло треки надежно отличать от фоновых событий.

Б. Результаты исследования. В таблице приводятся данные о свойствах детекторов, используемых в экспериментах синтеза. Результаты исследований, касающиеся чувствительности, избирательности травления этих детекторов, были опубликованы <sup>8-18</sup>/ .

В этой работе основное внимание уделяется вопросам фона и действию на регистрационные свойства детекторов условий облучения.

#### 1. Собственный фон детекторов

Собственным фоном детекторов могут служить протравленные дефекты структуры материала /царапины, различного вида включения, дислокации, пузырьки воздуха/, имитирующие треки и треки осколков спонтанного или индуцированного деления тяжелых элементов, содержащихся в детекторе или находящихся в контакте с его поверхностью. Фон первого рода выясняли путем просмотра больших площадей протравленных образцов необлученного материала, он составлял 1 дефект на  $10^3$  см<sup>2</sup>. Фон, накопившийся в слюде от спонтанного деления урана и тория за геологический период существования, удалялся с помощью отжига при 600°C и длительного травления 3-4 суток. При контрольном просмотре отожженных образцов с начальной плотностью  $10^7$  тр./см<sup>2</sup> и площадью  $10^3$  см<sup>2</sup> не обнаружено ни одного события, имитирующего трек осколка. Использовалась индийская слюда, возраст которой значительно меньше возраста отечественных слюд.

В связи с возникновением в процессе облучения тяжелыми ионами потоков нейтронов проводилось определение концентрации примесных делящихся ядер в детекторах и конструкционных материалах устройств для облучения методом нейтронной радиографии урана. Концентрация примесных ядер урана в детекторах представлена в таблице. Использовались конструкционные материалы, в которых концентрация урана не превышала  $10^{-6}$  г/г. На рис. 5 показано для примера измеренное в реакции <sup>249</sup>Cf + <sup>14</sup>C (энергия углерода 70 МэВ, поток ионов  $\sim 10^{17}$  /см<sup>2</sup>) угловое распределение нейтронного фона в устройстве рис. 1, выраженное в плотностях треков осколков деления, отнесенных к 100 мкг/см<sup>2</sup> U. Для измерения использовались препараты <sup>235</sup>U и <sup>238</sup>U толщиной 100 мкг/см<sup>2</sup> и 12,5 мкг/см<sup>2</sup> соответственно, в качестве детекторов - лавсан. Можно видеть, что поток нейтронов состоит в основном из быстрых, вблизи мишени достигает в зависимости от интенсивности и Z налетающих ионов  $10^{11} \div 10^{13}$  /см<sup>2</sup> и быстро падает при удалении от мишени.

Таблица  
Свойства детекторов, используемых в физических экспериментах

Детектор	Режим обработки	Эффективность регистрации	Порог чувствительности по Z иона деления, °C	Температура отжига осколков деления, °C	Концентрация урана, г/г
Слюда-мусковит $K_2Al_3Si_3O_{10}(OH)_2$ (Индия)	HF конц. 1÷3 час t°С-комн.	90 ± 3	10	650	$10^{-7} - 10^{-8}$
Стекло фосфатное $P_2O_5$	HF конц. 1÷2 час t°С-комн.	90 ± 3	10	300	$10^{-7} - 10^{-9}$
Полиэтилентерефталат $C_5H_4O_2$ Лавсан	20% NaOH 1 час 60°	90 ± 1	5 - 6	160	$10^{-10}$
Поликарбонат $C_{16}H_{14}O_3$ Макрофоль-Е	20% NaOH 1 час	90 ± 1	3 - 4	160	$10^{-10}$

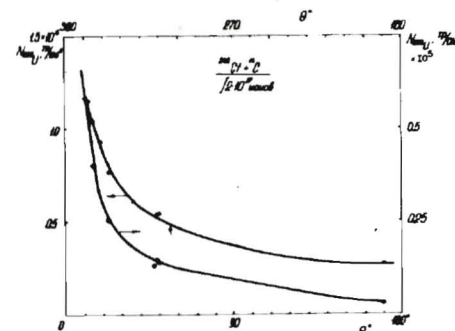


Рис. 5. Угловое распределение /от мишени/ количества треков осколков деления ядер  $^{235,238}U$  в установке рис. 1 при проведении реакции  $^{249}Cf + ^{14}C$ .

Примесный фон детекторов дополнительно контролировался просмотром обратной стороны детектора, которая была защищена от материала конструкции лавсановой пленкой. При потоке ионов  $\sim 10^{17}/\text{см}^2$  общий фон составлял не более 1 тр. на  $500 \text{ см}^2$  детектора.

## 2. Радиационный фон

Быстрые нейтроны и  $\alpha$ -частицы при взаимодействии с веществом вызывают появление ядер отдачи, удельная ионизация которых для полимерных детекторов превышает пороговую. Их пробеги достигают 3÷5 мкм, а ширина треков в 2-3 раза меньше треков осколков деления. Нейтронная чувствительность по ядрам отдачи используемых детекторов экспериментально определялась на потоках нейтронов  $\sim 10^{12}$  и составила  $10^{-5} \div 10^{-6}$  на нейтрон. Альфа-чувствительность определялась методом радиографии ядер отдачи на калиброванном источнике  $^{238}Pu$  /ОСАИ/ и составила  $2 \div 4 \cdot 10^{-6}$  на  $\alpha$ -частицу /с энергией 5,5 МэВ/.

Из расчета следует, что фон сборника за счет альфа-активных продуктов, получающихся в результате ядерных реакций /сечение  $10^{-25} \text{ см}^2$ /, составляет  $10 \div 100 \text{ а/см}^2$ . Однако при использовании альфа-активных мишеней /с  $Z \geq 90$ / на сборник попадают упруго рассеянные ядра мишени, и фон возрастает до  $10^3 \div 10^5 \text{ а/см}^2$ . С помощью детектора из нитрата целлюлозы /малочувствительного к вакуумным условиям /18// был измерен фон  $\alpha$ -частиц при проведении реакции  $^{249}Cf + ^{12}C$  /устройство рис. 1/. При потоке ионов  $\sim 10^{17}/\text{см}^2$  он был равен  $2 \cdot 10^3 \text{ а/см}^2$ . Сопоставление измерений параметров треков, проведенных на контрольных образцах, облученных на воздухе  $\alpha$ -частицами с  $E = 5 \text{ МэВ}$ , показало, что треки не изменили своих параметров.

Таким образом, фон ядер отдачи в экспериментах синтеза в основном обусловлен потоком быстрых нейтронов. Вблизи мишени он достигает  $10^5 \div 10^7 \text{ тр./см}^2$  и падает до  $10 \div 50 \text{ шт./см}^2$  в 10 см от мишени.

В экспериментах по синтезу изотопов поток бомбардирующих ионов достигал  $10^{17} \div 10^{18}/\text{см}^2$ . Фон от рассеянных на первых

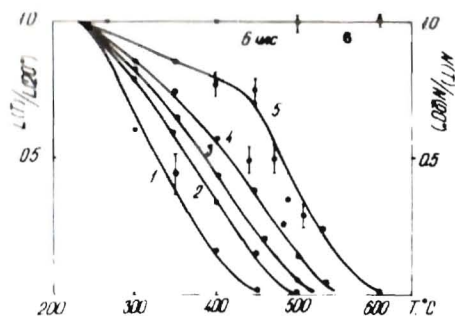


Рис. 6. Зависимость изменения регистрируемой в слюде длины трека от температуры ионов  $^{40}\text{Ar}$  (1);  $^{48}\text{Ti}$  (2);  $^{54}\text{Cr}$  (3);  $^{56}\text{Fe}$  (4) и осколков деления ядер  $^{244}\text{Cm}$  (5). Кривая 6 — эффективность регистрации осколков деления ядер как функция температуры.

5 см от мишени значительно превышал  $10^6/\text{см}^2$ , поэтому при больших потоках ионов использовались неорганические детекторы, однако большой поток рассеянных ионов с  $Z \geq 10$  сильно усложнял поиск событий и снижал эффективность регистрации до 2 раз.

При облучении мишеней ионами с  $Z \geq 10$  для дискриминации треков осколков деления ядер от рассеянных ионов на слюде использовался метод избирательного отжига. В основе метода лежит различие в удельной ионизации ионов и осколков. На рис. 6 показаны результаты экспериментов по отжигу слюды, облученной ионами с энергиями вблизи максимальной ионизации на кривой Брэгга ( $0,5 \div 1,5$  МэВ/нукл.) и осколками деления  $^{244}\text{Cm}$  (толщина источника  $1 \text{ мг}/\text{см}^2$ ).

Треки осколков деления при отжиге  $>500^\circ\text{C}$  сохраняют при травлении свою характерную форму, и эффективность регистрации не меняется. На рис. 7 представлена зависимость остаточной длины треков различных ионов в зависимости от температуры отжига. Микрофотография рис. 8 демонстрирует результат отжига  $460^\circ$  — 6 ч/ ионов  $^{54}\text{Cr}$  и дис-

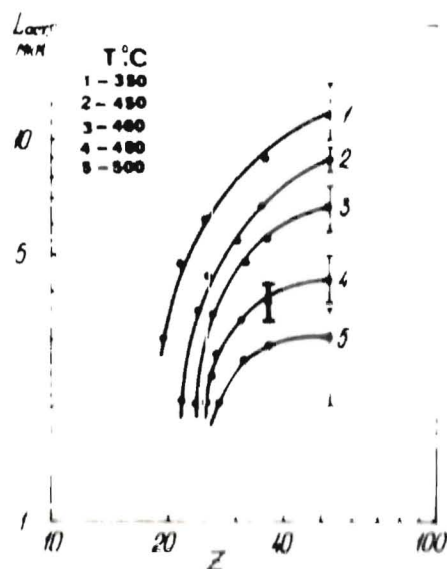


Рис. 7. Изменение остаточной регистрируемой длины трека иона после отжига при различной температуре в зависимости от  $Z$  иона. Время отжига — 6 ч. Травление 1 ч в 40% HF.



Рис. 8. Микрофотография рассеянных ионов  $^{54}\text{Cr}$  в слюде до отжига /а/ и после отжига /б/. На рис. 8б виден осколок деления элемента 106.

криминацию при этом режиме отжига осколков деления ядер из реакции  $^{207}\text{Pb} + ^{54}\text{Cr}$  /устройство рис. 3/.

При отжиге треков осколков деления вбитых в сборник на определенную глубину составных ядер эффективность регистрации может падать. Для учета этого эффекта слюдяные детекторы облучались осколками деления ядер  $^{235}\text{U}$ , тепловыми нейтронами за поглотителем из висмута различной толщины. На рис. 9 пред-

ставлено расчетное распределение количества вбитых на различную глубину сборника из висмута составных ядер из реакций  $^{209}\text{Bi} + ^{58}\text{Fe}$  и  $^{209}\text{Bi} + ^{50}\text{Ti}$  /гистограмма 1 и 2/, а также распределение относительного количества отоженных треков осколков деления за поглотителем различной толщины.

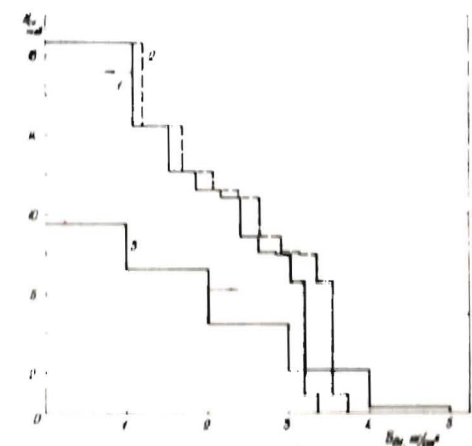


Рис. 9. Распределение /расчет/ количества /относ.ед./ вбитых на различную глубину сборника из висмута составных ядер 1 —  $^{209}\text{Bi} + ^{58}\text{Fe}$ ; 2 —  $^{209}\text{Bi} + ^{50}\text{Ti}$ ; 3 — распределение /эксперимент/ относительного количества отоженных треков осколков деления за различной толщиной поглотителя Bi.

### 3. Влияние гамма-излучения, вакуума и температуры

Дозиметрические измерения наведенной  $\gamma$ -активности установки, осуществленные после облучения на выведенном пучке ионов, показали, что суточная доза не превышает 1 Гр.

Известно, что критические дозы  $\gamma$ -излучения для изменения избирательности скорости травления в ПЭТФ находятся в районе 50 кГр и скорости травления самой пленки - 500 кГр при облучении на воздухе<sup>/13/</sup>. Для ПК эти значения на порядок ниже<sup>/19/</sup>.

Экспериментальное изучение воздействия  $\gamma$ -излучения на детекторы в вакууме показало, что этот эффект выражен слабее<sup>/13/</sup>. При работе на пучках ионов внутри ускорителя трудно определить дозу  $\gamma$ -излучения во время эксперимента. Дополнительное изменение детектирующих свойств может быть вызвано облучением в вакууме при повышенной температуре.

Исследовалось влияние вакуума на свойства полимерных детекторов. Детекторы облучались в вакуумной камере ускорителя, на воздухе и в детекторной камере устройства рис. 3 в течение 2 суток осколками деления ядер  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ . Использовались нейтроны, возникающие при проведении реакций синтеза. Кроме этого, изучалось влияние вакуума при хранении детекторов после облучения ионами  $^{20}\text{Ne}$  с энергией 46 МэВ.

Облучение в вакууме  $/10^{-5}$  Торр/ в течение 2 суток изменяло избирательность травления осколков деления в ПК и ПЭТФ примерно в 1,5 раза, пребывание облученных детекторов в течение 46 суток в вакуумной камере  $/10^{-3}$  Торр/ - примерно в 1,7 раза.

Экспериментально определено, что в используемых устройствах температура не превышала 60°C. Специально поставленные опыты по отжигу треков осколков деления ядер в используемых детекторах показали, что критической для слюды является температура -750°C /обезвоживание слюды/, для фосфатного стекла -250°C, для полимерных - 160°C при облучении в течение 3 суток /рис. 10/. Однако треки начинают укорачиваться при более низкой температуре, что затрудняет просмотр.

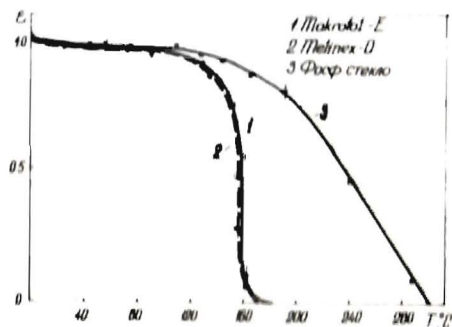


Рис. 10. Зависимость эффективности регистрации осколков деления ядер  $^{244}\text{Sm}$  от нагревания /после облучения/ полимерных детекторов - Макрофоль - Е (1) и Мелинекс - О (2) и фосфатного стекла (3).

### 4. Сенсibilизация УФ-излучением и эффект "старения"

УФ-излучение и хранение облученных образцов полимерных детекторов на воздухе способны усиливать латентное изображение треков<sup>/12/</sup>. Особенно важную роль играет кислород воздуха при хранении после вакуумного облучения. Достижение таких же параметров треков, как при облучении на воздухе, происходит для осколков деления за 15 суток, а для ионов Ne с энергией 46 МэВ - за 30 суток /рис. 11/.

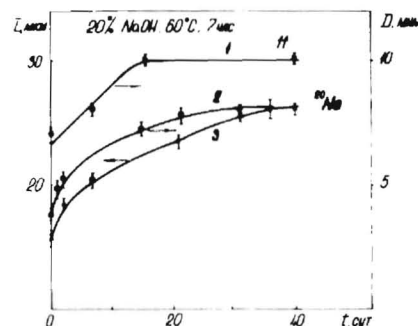


Рис. 11. Диаметр и длина треков осколков деления  $^{244}\text{Sm}$  и  $^{20}\text{Ne}$   $/E = 46$  МэВ/ в Мелинекс - О, как функция от времени хранения на воздухе после облучения в вакууме  $/10^{-5}-10^{-3}$  Торр/.

При воздействии на полимерные детекторы ионизирующего излучения наблюдается сдвиг края оптического поглощения с  $\lambda = 275$  нм в область  $\lambda \sim 310$  нм /рис. 13/. Поэтому УФ-излучение с  $\lambda \geq 315$  нм действует только на разрушенную область и не меняет свойств необлученного полимера.

При облучении УФ-светом растет избирательность травления и при определенной дозе УФ-излучения в зависимости от Z и E частицы наступает насыщение<sup>/12/</sup>. Ионизационные потери осколков значительно превосходят потери бомбардирующих частиц, поэтому УФ-облучение использовалось для улучшения дискриминационной способности детектора.

Исследовалось влияние УФ-излучения на сенсibilизацию латентных треков после облучения в вакууме и при повышенной температуре. При УФ-облучении в течение 1 часа полимерных детекторов после 3-суточного облучения осколками деления в вакууме и при температуре 100°C удалось восстановить параметры треков до уровня облученных на воздухе.

В экспериментальных условиях проведена проверка влияния вакуума,  $\gamma$ -излучения и температуры на эффективность регистрации осколков деления полимерными детекторами в устройствах рис. 1-3. На весь период 2-суточного облучения вблизи мишени /под рабочие детекторы/ были помещены образцы полимеров, облученные заранее ионами ксенона с энергией -1 МэВ/аэи /хранившиеся на воздухе в темноте/ и образцы, на которые были

наклеены тонкие препараты урана-238. Подобные образцы и сэндвичи с ураном находились в вакуумной камере ускорителя вдали от пучка ионов, на воздухе в зале ускорителя и в комнатных условиях. После облучения ионами (поток  $\sim 10^{17}/\text{см}^2$ ) 1/2 часть каждого образца экспонировалась УФ-светом. Измерения показали, что эффективность регистрации не изменилась по сравнению с контрольными значениями, однако параметры треков на 20% отличались от контрольных /облученных на воздухе/. Засветка УФ-светом в течение 1 часа восстанавливала изображение.

Изучение свойств детекторов показало, что в зависимости от задачи эксперимента можно выбрать тип детектора и способы его обработки, чтобы определять синтезируемый элемент по спонтанному делению с чувствительностью  $\sim 10^{-20}$  г/г.

Разработанный метод регистрации спонтанного деления диэлектрическими детекторами с использованием проведенных конструкций установок позволил изучать продукты ядерных реакций с сечением выхода  $2 \div 5 \cdot 10^{-36}$  см<sup>2</sup> и периодом полураспада  $\geq 0,4$  мс.

С помощью описанного метода на циклотронах ЛЯР ОИЯИ было проведено большое количество ядерных реакций синтеза с использованием мишеней с  $Z = 81 \div 98$  и налетающих ионов с  $Z = 4 \div 32^{1/4}$ .

Настоящая работа является составной частью широкого цикла экспериментов по синтезу новых элементов, проводимых большим коллективом научных сотрудников ЛЯР ОИЯИ.

Считаю своим долгом поблагодарить академика Г.Н.Флерова и профессора Ю.Ц.Оганесяна за большую поддержку, постоянную помощь и ценные советы при проведении всего цикла работ; научных сотрудников Ю.В.Лобанова, А.Г.Демина, Р.Н.Сагайдака, В.К.Утенкова и И.В.Широковского за помощь в проведении большого числа контрольных и калибровочных экспериментов на пучках тяжелых ионов и полезные замечания при анализе и обработке данных; инженеров К.И.Меркину и Л.В.Джолос за большую помощь при обработке детекторов, а также группу эксплуатации ускорителя У-300 за обеспечение прецизионных облучений тяжелыми ионами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Price P.B., Walker R.M. - J.Appl.Phys., 1962, 33, p.3400.
2. Перельгин В.П., Третьякова С.П., Звара И. - ПТЭ, 1964, ч.78.
3. Перельгин В.П., Третьякова С.П. - ЖЭТФ, 1963, 45, с.869.
4. Оганесян Ю.Ц. и др. - Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов, Д7-87-68, Дубна: ОИЯИ, 1987, с.103; препринт ОИЯИ Д7-9734, Дубна, 1975; Д7-83-644, Дубна, 1983; Д7-84-736, Дубна, 1984; Е7-84-307, Дубна, 1984; Д7-87-68, Дубна, 1986; АЭ, 1970, т.28, вып.5, с.393-40.

5. Злоказов В.Б. Препринт ОИЯИ Р10-10855, Дубна, 1977.
6. Сагайдак Р.Н., Третьякова С.П. Сообщение ОИЯИ Д7-84-736, 1984.
7. Григоров О.Н. и др. - В кн.: Электротехнические свойства капиллярных систем, 1956, М.: Изд. АН СССР, с.30.
8. Третьякова С.П., Джолос Л.В. - ПТЭ, 1982, №3, с.52-56.
9. Отгонсурен О. и др. - АЭ, 1974, т.37, с.164.
10. Перельгин В.П. и др. Препринт ОИЯИ 1923, Дубна, 1963.
11. Третьякова С.П. - ПТЭ, 1968, №6, с.64.
12. Третьякова С.П. и др. Доклад на 10-й Международной конференции по трековым детекторам. Лион, Пергамон Пресс, Оксфорд, 1980, с.262.
13. Третьякова С.П. и др. - АЭ, 1979, т.47, с.261-262.
14. Третьякова С.П. - В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ № 13-85, Дубна: ОИЯИ, 1985, с.34.
15. Апель П.Ю. и др. Препринт ОИЯИ 13-11611, Дубна, 1978.
16. Третьякова С.П. и др. Сообщения ОИЯИ 15-85-888, Дубна, 1983.
17. Tretyakova S.P. et al. Preprint JINR E7-83-391, Dubna, 1983.
18. Третьякова С.П. и др. - В сб.: Международный Конгресс по фотографической науке, Дрезден, 1974, т.11, с.125-126.
19. Enge N. et al. In Proc. VI Int.Congress Soc.Radioprotection, Bondeaux, France, 1972, p.459-474.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 сентября 1988 года.