

0-809

2203/2-76

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА

14/VI-76



P7 - 9551

О.Отгонсурен, В.П.Перельгин, С.Г.Стеценко

РЕГИСТРАЦИЯ РЕДКИХ СОБЫТИЙ  
ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР В ТОНКИХ СЛОЯХ ПЛАСТИКА  
МЕТОДОМ СОВПАДЕНИЙ

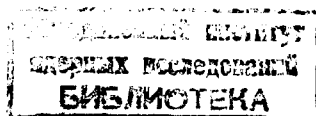
1976

P7 - 9551

О.Отгонсурен, В.П.Перелыгин, С.Г.Стеценко

РЕГИСТРАЦИЯ РЕДКИХ СОБЫТИЙ  
ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР В ТОНКИХ СЛОЯХ ПЛАСТИКА  
МЕТОДОМ СОВПАДЕНИЙ

*Направлено в ПТЭ*



Применение органических полимерных пленок в качестве детекторов заряженных частиц было впервые предложено в работе Флейшера и Прайса в 1963 г.<sup>/1/</sup>. Такие детекторы обладают относительно высокой чувствительностью к заряженным частицам по сравнению с другими типами диэлектрических детекторов - стеклами и кристаллами.

Они отличаются высокой эффективностью регистрации заряженных частиц, однородностью свойств, малым содержанием примесей делящихся веществ, простотой обработки и просмотра.

Такие детекторы находят все более широкое применение в ядерной физике, дозиметрии, исследовании тяжелых космических лучей, геологии, биологии и медицине, а также употребляются для решения целого ряда прикладных задач<sup>/2,3/</sup>.

Целью настоящей работы явилось исследование возможности применения полимерных пленочных материалов для регистрации редких событий деления ядер.

Можно указать целый ряд экспериментов, при проведении которых требуется зарегистрировать единичные события деления ядер при больших площадях исследуемых образцов. К такого рода исследованиям относятся эксперименты по поиску в природных образцах гипотетических далеких трансурановых элементов, где необходимо обеспечить регистрацию эффекта на уровне одного акта деления на 10-100 г образца в год, опыты по исследованию нуклонной компоненты космических лучей, измерение периодов спонтанного деления слабо делящихся ядер /торий, нечетные изотопы урана/, эксперименты по синтезу и исследованию свойств делящихся изомеров и трансфермиевых ядер<sup>/4/</sup>. Используемая обычно методика просмотра таких детекторов под микроскопом ограничивает возможности метода.

Если при обработке доводить диаметр треков до 7-10 мкм, скорость просмотра детекторов при поисках редких событий /при увеличении 100-150х не превышает 50-100 см<sup>2</sup> в день<sup>/5/</sup>/. Поиск редких событий /одно и менее на 10-20 дм<sup>2</sup> детекторов/ становится неэффективным.

В связи с этим начиная с 1966 года в ряде лабораторий предпринимались попытки исключить наиболее трудоемкую операцию - просмотр детекторов под микроскопом при поисках редких событий.

Одной из первых методик, позволяющих исключить просмотр детекторов под микроскопом по площади, была предложенная Флейшером и др.<sup>/6/</sup> методика, основанная на применении тонких слоев пластика с напыленным с одной стороны слоем алюминия.

После облучения детектор помещается неметаллизированной стороной в раствор травителя. Травитель проходит по трекам заряженных частиц и разрушает алюминий в области, прилегающей к сквозному каналу.

В слое алюминия образуются прозрачные круглые отверстия диаметром до 1 мм. Как показано в работе<sup>/5/</sup>, диаметр кружков определяется влажностью воздуха в процессе травления. Такая процедура существенно облегчает поиски одиночных треков, однако при наличии механических повреждений или дефектов пленки щелочь проникает на металлизированную поверхность и полностью разрушает алюминий.

В 1967 г. Капусцик и др.<sup>/5/</sup> разработали другую методику поиска редких событий деления ядер, основанную на разделении операций травления и выявления событий.

Детектор осколков /лавсан/, имевший первоначальную толщину 15-20 мкм, доводился до 6-7 мкм, затем накладывался на слой мелкозернистой эмульсии, пропитанной красителем. На поверхность лавсана наносилась азотная кислота, которая, проникая по трекам к слою желатины, обесцвечивала краситель, образуя круглые пятна диаметром около 1 мм.

Однако, как показал опыт просмотра больших площадей детектора, и в этом случае дефекты в слое пластика приводят к появлению значительного числа ложных событий.

Еще одним примером применения индикаторной методики может служить предложенная Ширком и др.<sup>/7/</sup> методика выявления сквозных треков с помощью фотокопировальной бумаги "Озалид" и паров аммония, проникающих по каналам к фотобумаге. Идентификация следов также требует просмотра под микроскопом областей пластика вблизи окрашенных участков бумаги.

Другая методика поисков редких следов была предложена в 1967 г. почти одновременно Н.Ларком и Кроссом и Томмашино<sup>/9/</sup>. Согласно этой методике, тонкая пленка пластика со сквозными треками, образованными осколками деления, помещается между двумя электродами, находящимися под напряжением в несколько сотен вольт. Искровой пробоя происходит вдоль сквозных каналов, что позволяет производить поиски и подсчет событий. Однако в результате пробоя сквозные каналы разрушаются, что не позволяет различать следы осколков деления от пробоев в местах, содержащих структурные дефекты или механические повреждения пленки.

Таким образом, известные методики выявления треков редких событий не свободны от фона, отличаются значительной трудоемкостью и, как показал опыт<sup>/10/</sup>, не обеспечивают регистрации редких событий при площадях препаратов свыше 1 м<sup>2</sup>.

В связи с этим нами были предприняты опыты по усовершенствованию методики регистрации редких событий с помощью полимерных пленок.

Предлагаемая методика основывается на исследовании двойных или тройных слоев полимерного детектора, один из которых /прилегающий к исследуемому препарату/ имеет толщину, существенно меньшую, чем средняя длина следов в данном пластике /рис. 1/. Как следует из рисунка, осколки деления ядер могут быть зарегистрированы в двух или трех слоях пластика. Треки в тонком слое пластика обнаруживаются методом искрового пробоя, а затем производится просмотр следующего слоя пластика в местах пробоя первого слоя детектора. Используя такую методику, можно полностью избавиться от фона, обусловленного механическими повреждениями пластика, а под микроскопом просматриваются участки диаметром до 1 мм, площадь которых составляет 10<sup>-2</sup> - 10<sup>-3</sup> % общей площади детектора.

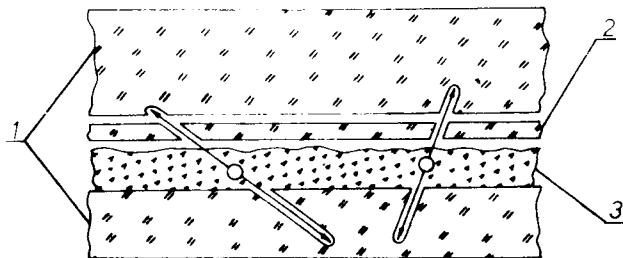


Рис. 1. Расположение слоев детектора и препарата /3/ при регистрации актов деления ядер.

Слой лавсана толщиной до 50 мкм /1/, тонкий слой лавсана или поликарбоната /2/.

Очевидно, что чем меньше толщина первого слоя пластика, тем выше эффективность регистрации осколков деления. Так, при толщине слоя 3-4 мкм эффективность регистрации достигает 75-80% и приближается к максимальному значению эффективности регистрации для поликарбоната и лавсана, равному 88%<sup>15</sup>. Таким образом, применение двухслойного детектора позволяет исключить просмотр по площади при поисках редких событий, причем эффективность регистрации уменьшается незначительно.

Рассматриваемая величина эффективности относится к случаю бесконечно тонкого плоского препарата. Однако применение очень тонких слоев пленки при площадях детектора в несколько квадратных метров затруднено из-за относительно большого числа повреждений пленки /до 10 на  $\text{дм}^2$ /, а применение пленок толщиной 10 мкм существенно уменьшает эффективность регистрации.

Для опытов по поиску далеких трансурановых элементов была выбрана пленка толщиной 6 мкм; она наклеивалась по периметру на слой лавсана или поликарбоната толщиной около 50 мкм, что обеспечивало возможность точного совмещения и облегчало процедуру химической обработки детекторов.

Травление слоев пленки производилось в 25%-ном растворе NaOH при температуре 20°C, при этом для уменьшения числа фоновых событий тонкие слои травились только с одной стороны.

Выбор времени травления тонкого слоя обусловлен необходимостью надежной регистрации трека методом искрового пробоя, что требует получения сквозного отверстия в пленке при диаметре трека 1-2 мкм.

При длительном травлении тонкого слоя возрастает число фоновых пробоев. На рис. 2 приведена зависимость

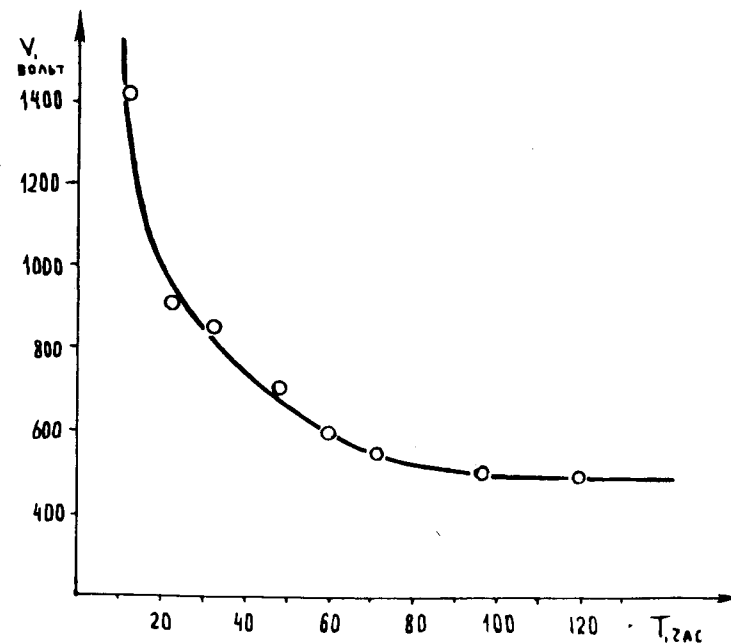


Рис. 2. Зависимость эффективного напряжения пробоя от времени травления пленки толщиной 6 мкм.

эффективного напряжения пробоя для 6 мкм пленки от времени травления. Опыт работы с детекторами большой площади показал, что оптимальное время травления составляет 40-60 ч. Важной проблемой является определение толщины эффективного работающего слоя препарата исследуемого вещества. Выбор оптимальной толщины слоя особенно важен в тех случаях, когда в распоряжении экспериментатора имеется ограниченное количество вещества.

Как показали наши предыдущие исследования /11/, толщина слоя препарата  $R_{эфф}$  зависит от химического состава вещества, чувствительности и эффективности регистрации детектора. Для полимерных детекторов она определяется соотношением  $R_{эфф} = 0,46 + \sum a_i R_i$  в  $мг/см^2$ , где  $a_i$  - атомная концентрация  $i$ -го элемента,  $R_i$  - эффективная толщина слоя этого элемента, 0,046 - экспериментальная константа.

В нашем случае при определении эффективности регистрации двойного слоя пластика и геометрии "2π" необходимо учитывать поглощение части осколков в тонком слое. В геометрии "2π" применима формула, учитывающая зависимость  $R_{эфф}$  от толщины препарата  $d$ ,

$$R_{эфф} = \int_a^{a+d} \left(1 - \frac{x}{R}\right) dx = d - \frac{d}{R} \left(a + \frac{d}{2}\right),$$

где  $R$  - пробег осколков деления в поликарбонате,  $a$  - толщина пленки, прилегающей к препарату.

Для случая, когда препарат помещался между тонким и толстым слоями пластика /геометрия "4π"/,

$$R_{эфф} = \int_a^{a+\frac{d}{2}} \left(1 + \frac{x-a+d}{R}\right) dx + \int_{\frac{2a+d}{2}}^R \left(1 - \frac{x}{R}\right) dx.$$

Результаты расчета  $R_{эфф}$  для окиси свинца в зависимости от толщины препарата  $d$  представлены на рис. 3.

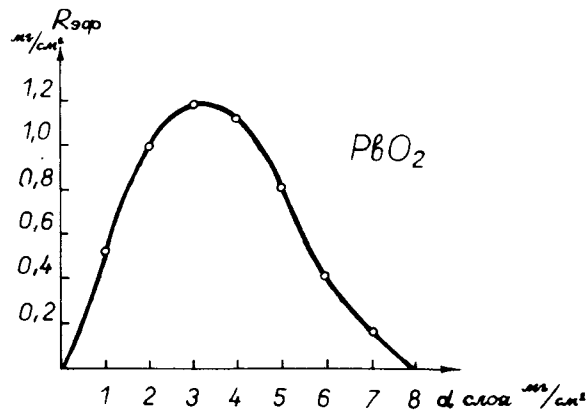


Рис. 3. Зависимость толщины эффективно работающего слоя препарата от толщины препарата.

Как можно видеть,  $R_{эфф}$  достигает максимума при толщине слоя  $PbO$  от 2 до  $4,5 мг/см^2$ .

Проверка эффективности методики была произведена с помощью препаратов  $PbO$  и  $WO_3$ , содержащих около 0,1% урана. Площадь препаратом составляла около  $10 дм^2$ . В геометрии "2π" получено совпадение числа зарегистрированных осколков деления с расчетным значением для периода спонтанного деления урана  $/8 \cdot 10^{15} лет/$ .

Методика совпадений нашла применение при поиске эффекта спонтанного деления далеких трансурановых элементов /10/, выполненных в 1972-1973 гг., в экспериментах по исследованию короткоживущих спонтанно делящихся изомеров /4/. С помощью этой методики была определена вероятность деления ядер свинца космическими лучами  $/15 \pm 4$  делений на грамм свинца в год на уровне моря/.

Следует отметить, что в 1973 году Гейзлером и др. была предложена другая методика регистрации треков от редких событий, основанная на применении двух  $3,5 мкм$  слоев поликарбоната, каждый из которых травился, а затем подвергался искровому пробою /12/. Если через такие слои проходил осколок деления, то пробивались в одном и том же месте оба слоя. С помощью этой методики проводился поиск эффекта спонтанного деления далеких трансурановых элементов в некоторых минералах и горных породах. Однако регистрация редких событий этой методикой не обеспечивает столь однозначной идентификации актов спонтанного деления, как наблюдение совпадения искрового пробы и следов осколков деления.

Таким образом, разработанная нами методика детектирования редких событий, основанная на регистрации совпадений в слоях пластика, обладает рядом преимуществ по сравнению с существующими методиками.

1. Методика обеспечивает однозначную идентификацию событий деления ядер по наблюдению геометрического совпадения искрового пробы и продолжения трека в следующем слое детектора.

2. Методика имеет высокую эффективность регистрации /до 75-80%/ , приближающуюся к эффективности детекторов из лавсана и поликарбоната.

3. Методика позволяет исключить трудоемкий просмотр всей площади детекторов в экспериментах, где

плотность следов осколков деления заключена в пределах  $1-10^{-5}$  тр/см<sup>2</sup>.

Авторы выражают благодарность Г.Н.Флерову за внимание к работе и полезные обсуждения, а также Ю.А.Виноградову, принявшему участие в начальной стадии этих исследований.

### Литература

1. R.L.Fleischer, P.B.Price. *Science*, 140, 1221 (1963).
2. R.L.Fleischer, P.B.Price, R.M.Walker. *Science*, 178, 257 (1972).
3. Г.Н.Флеров, В.С.Барашенков. Сообщение ОИЯИ, P14-7060, Дубна, 1973.
4. V.P.Perelygin. *Proc. VIII Intern. Conf. on Nuclear Photography and Solid State Track Detectors, IFA, Bucharest, 1972, v. 2, p. 53.*
5. А.Капусцик, В.П.Перелыгин, С.П.Третьякова, В.И.Свидерский. ПТЭ, №1, 43 /1968/.
6. R.P.Fleischer, P.B.Price, R.M.Walker. *Rev.Sci., Instr.*, 37, 525 (1966).
7. P.B.Price et al. *Phys.Rev.*, 7, 11 (1973).
8. N.L.Lark et al. *Nucl.Instr.Meth.*, 67, 137 (1968).
9. L.Tommasino, W.G.Cross. *Health Phys.*, 15, 196 (1968).
10. Г.Н.Флеров, В.П.Перелыгин, О.Отгонсурэн. АЭ, 33, 979 /1972/.
11. Х.Абдуллаев, А.Капусцик, О.Отгонсурэн, В.П.Перелыгин, Д.Чултэм. ПТЭ, №2, 78 /1972/.
12. F.H.Geisler, P.R.Phillips, R.M.Walker. *Report SPP-48* (1973).

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 февраля 1976 года.