

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13-2001-9

С.П.Авдеев, В.А.Карнаухов, В.Д.Кузнецов, Л.А.Петров,  
В.К.Родионов, В.Карч<sup>1</sup>, М.Яницки<sup>1</sup>, Х.Ойшлер<sup>2</sup>

## ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИН ТОНКОСЛОЙНЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ CsI(Tl)

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

---

<sup>1</sup>Институт ядерной физики им. Г.Неводничанского, Краков, Польша

<sup>2</sup>Технический университет, Дармштадт, Германия

В данной работе описывается способ измерения толщины тонко-  
лойных ( $20-40 \text{ мг/см}^2$ ) сцинтилляторов большой площади ( $\sim 150 \text{ см}^2$ ) из  
CsI(Tl) методом активационного анализа. Сцинтилляционный детектор  
представляет собой плексигласовую пластину толщиной 2 мм, на кото-  
рую термическим вакуумным испарением наносился поликристалли-  
ческий слой CsI(Tl) по методике, разработанной и осуществленной в  
НПО “Монокристалл” (г. Харьков) [1,2]. Детекторы были созданы для  
установки “Фаза” [3,4], предназначенной для изучения множественной  
эмиссии фрагментов промежуточной массы ( $3 \leq Z \leq 20$ ) в ядро-ядерных  
соударениях [5]. Функция отклика сцинтилляторов на прохождение  
ядерных фрагментов зависит от толщины слоя CsI(Tl). Последняя  
определялась изготовителем методом взвешивания небольшого ( $20 \times 20$   
мм) контрольного образца, располагавшегося рядом с основным во  
время термического испарения. Различия в геометрии могли привести к  
получению различных толщин слоев CsI(Tl) на основном и  
контрольных образцах и, следовательно, к ошибке в расчете  
эффективности регистрации фрагментов при использовании  
паспортных данных. Кроме того, применявшаяся методика испарения  
не может гарантировать равномерное распределение сцинтилляцион-  
ного слоя по всей площади подложки. В связи с этим возникла  
необходимость произвести новое независимое измерение толщины  
таких сцинтилляторов иным способом, нежели простое взвешивание.  
Основным критерием выбора метода измерения явилось условие  
неразрушения исследуемых сцинтилляторов, а также возможность  
детально исследовать их поверхность с целью выяснения степени  
равномерности нанесенного слоя по толщине.

## Способ измерения толщины слоя поликристаллического CsI(Tl)

Образцы облучались  $\gamma$ -квантами, генерированными при бомбардировке вольфрамовой мишени электронами с энергией 23 МэВ (ток 14,5 мкА) на микротроне Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ в течение 15 минут. Расходимость пучка  $\gamma$ -квантов составляла  $15^\circ$ . На расстоянии 100 см от источника  $\gamma$ -квантов это обеспечивало равномерное облучение образцов по всей поверхности при незначительной (менее 0,5%) разности в интенсивностях потока в центре образца и на его краях. Всего облучалось 4 пакета измеряемых образцов, каждый из которых состоял из 24 исследуемых и 5 эталонных сцинтилляторов, размещенных равномерно по пакету. Эталонные и исследуемые образцы имели одинаковые размеры. На рис. 1 представлена схема

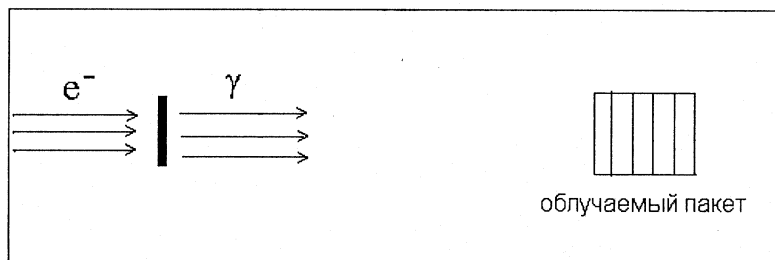


Рис. 1. Схема облучения пакета сцинтилляторов  $\gamma$ -пучком микротрона

облучения такого пакета. Эталонные образцы были специально изготовлены для этих измерений и имели известную массу однородного по толщине нанесенного сцинтилляционного слоя CsI(Tl).

Измерения активности образцов производились с помощью ФЭУ-110 и многоканального амплитудного анализатора спустя сутки после облучения, чтобы распались короткоживущие компоненты. Калибровка по энергии выполнялась с помощью  $\gamma$ -источников  $^{137}\text{Cs}$  (660 кэВ),

$^{57}\text{Co}$ (122 кэВ) и  $^{22}\text{Na}$ (511 кэВ). Облученный образец и ФЭУ были окружены свинцовой защитой толщиной 5 см, которая существенным образом понижала естественный фон, регистрируемый фотоумножителем. Измеряемый образец помещался на расстоянии 10 см от входного окна ФЭУ, так как толщина слоя CsI(Tl) могла быть неоднородной по поверхности образца.

На рис.2 показана часть спектра  $\gamma$ -квантов облученного образца CsI(Tl), полученного за 30 мин измерения. Пики в спектре соответствуют  $\gamma$ -линиям, приведенным в табл. 1. Заштрихованная часть

Таблица 1

Реакция	$T_{1/2}$ , сут	$E_\gamma$ , кэВ
$^{127}\text{I}(\gamma, n) ^{126}\text{I}$	13	666,3
$^{133}\text{Cs}(\gamma, n) ^{132}\text{Cs}$	6,47	667,7

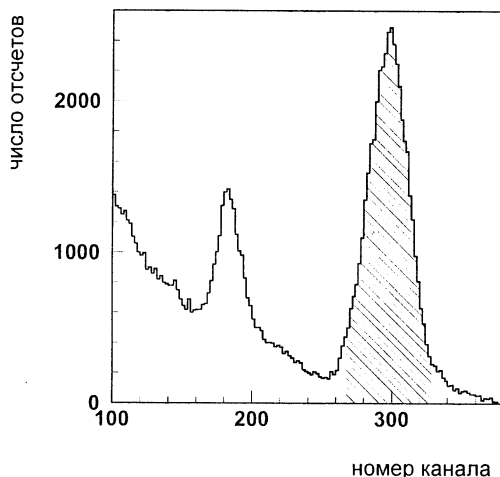


Рис. 2. Участок  $\gamma$ -спектра с выбранной областью измерения

спектра относится к выбранной области измерения, отвечающей  $\gamma$ -переходам с  $E_\gamma \approx 667$  кэВ в  $^{127}\text{I}$  и  $^{133}\text{Cs}$ .

В общем случае площадь под пиком ( $S$ ) определяется тремя факторами:

- а) массой (толщиной) нанесенного на плексигласовую подложку скintилляционного слоя  $\text{CsI(Tl)}$ ;
- б) положением образца в пакете;
- в) сдвигом по времени между концом облучения и началом измерения образца.

Зависимость скорости счета от положения скintиллятора связана с тем, что интенсивность  $\gamma$ -квантов спадает по толщине пакета образцов за счет рассеяния, и это учитывалось. Из-за того, что измерения образцов проводились длительное время, вводились поправки на распад наведенной активности к моменту начала измерения. Для этого использовалась измеренная кривая распада для одного из эталонных образцов, которая состоит из двух экспонент. Одна из них отвечает  $T_{1/2} = 6,47$  дней ( $^{132}\text{Cs}$ ), а другая соответствует  $T_{1/2} = 13,0$  дней ( $^{126}\text{I}$ ). Ввиду того, что примесь иных изотопов в суммарную активность не превышала 2%, а периоды полураспада основных компонент активности отличаются всего в 2 раза, полученная распадная кривая (в логарифмическом масштабе - прямая) хорошо аппроксимируется суммарной линией, соответствующей усредненному периоду полураспада  $\langle T_{1/2} \rangle = 7,04$  дня. В дальнейшем для получения итогового результата использовался именно этот экспоненциальный параметр. Важно отметить, что любые неточности, связанные с полученной параметризацией, для наших целей несущественны, т.к. производится относительное сравнение активностей исследуемого и эталонного (ближайшего по пакету) образцов.

Вес  $\text{CsI(Tl)}$  на каждом из исследованных скintилляторов находился

путем сравнения наведенных активностей на нем и ближайшем (по ходу пучка  $\gamma$ -квантов) эталонном образце, то есть для первых 6-ти исследуемых образцов пакета их активности сравниваются с активностью 1-го контрольного образца, для следующих 6-ти исследуемых образцов сравнение ведется с 2-м контрольным образцом, и т.д. При введении поправки на распад отношения активностей исследуемого и эталонного образцов равно отношению весов образцов. Различием в потоках  $\gamma$ -квантов, падающих на исследуемый и эталонный сцинтиллятор, можно пренебречь. Вес сцинтилляционного слоя  $i$ -го образца определяется из соотношения

$$(1/P_i)A_i \exp[(t_i-t_\alpha)\ln 2 / \langle T_{1/2} \rangle] = A_\alpha(1/P_\alpha), \quad (1)$$

где  $P$  – вес сцинтиллятора,  $A$  – измеренная активность,  $t$  – время начала измерения. Индексы  $i$  и  $\alpha$  относятся к исследуемому и эталонному образцам соответственно. Измеренная активность определяется как отношение площади под пиком  $E_\gamma \approx 667$  кэВ к длительности измерения  $A=S/\Delta t$ . Отсюда следует, что

$$P_i = (A_i/A_\alpha)P_\alpha \exp[(t_i-t_\alpha)\ln 2 / \langle T_{1/2} \rangle]. \quad (2)$$

Так был найден вес 64 сцинтилляторов, используемых в детекторе множественности установки “Фаза”. Средние толщины слоев CsI(Tl) находились делением веса на площадь подложки. На рис.3 представлено распределение сцинтилляторов по средней толщине согласно этим измерениям. Показано также (пунктиром) распределение тех же образцов по толщине в соответствии с паспортными данными. Видно, что оценка толщины “рабочего” сцинтиллятора, полученная взвешиванием

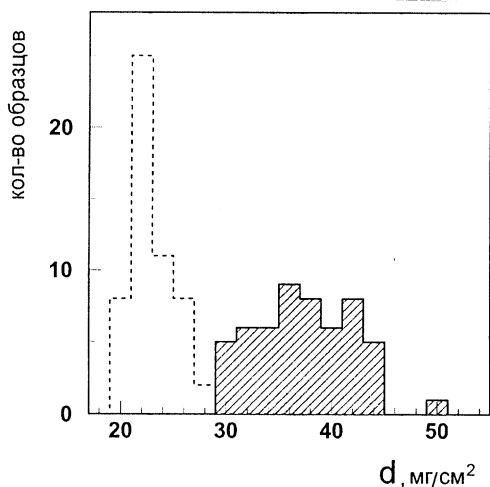


Рис. 3. Распределение образцов по толщине слоя поликристаллического CsI(Tl). Заштрихованная область – данные, полученные методом активации

контрольного образца, дает существенно заниженные значения, чем полученные активационным методом. В чем причина столь сильного различия? Дело в том, что контрольные образцы располагались во время вакуумного испарения CsI(Tl) у кромки основного на расстоянии 70-80 мм от его центра, при этом подложка сцинтиллятора удалена от центра испарителя на 180 мм. Известно, что при получении тонких слоев вещества методом испарения в высоком вакууме толщина слоя довольно быстро уменьшается по мере удаления от оси атомного потока: толщина слоя  $\sim \cos^4\Theta$ , где  $\Theta$  - угол между вертикалью из центра испарителя и лучом в данную точку. Поэтому получение однородных слоев на большой площади является непростой задачей. Изготовители исследуемых сцинтилляторов предприняли специальные усилия для подавления этого эффекта. Ими применялся испаритель, эффективный размер которого был примерно равен размеру подложки

основного сцинтиллятора. Однако желаемая однородность слоя на большой площади не была достигнута, что привело к получению существенно меньшей толщины слоя на контрольном образце, чем на основном. Справедливость этого объяснения следует из измерения распределения  $\beta$ -активности по поверхности сцинтиллятора.

### Измерение однородности слоя CsI(Tl)

Измерения проведены для одного из сцинтилляторов (толщиной 38 мг/см<sup>2</sup>) на участках, показанных на рис.4 штриховкой. С помощью счетчика Гейгера с входным окном 7,5х30 мм эти участки сканировали

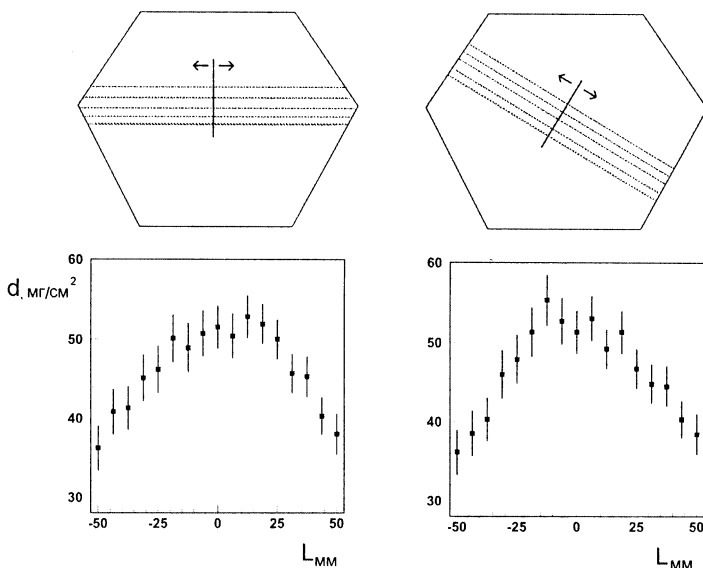


Рис. 4. Распределение по толщине слоя поликристаллического CsI(Tl), нанесенного на плексигласовую подложку. Область измерения заштрихована. Сканирование ведется от центра в выделенных направлениях



с шагом 7,5 мм. Для получения абсолютных значений толщины слоя интенсивность счета  $\beta$  - частиц каждого участка исследуемого образца сравнивалась с интенсивностью счета аналогичного участка эталонного образца. В связи с тем, что время измерения как для каждого участка, так и всего процесса сканирования было значительно меньше периода полураспада (7,04 дня), выражение для определения усредненной по данному участку толщины упрощается по сравнению с (2) и имеет вид

$$\langle d \rangle = \langle d_{\alpha} \rangle A_{\beta} / A_{\beta\alpha},$$

где  $A_{\beta}$  и  $A_{\beta\alpha}$  - измеренная активность исследуемого и эталонного образцов.

Измеренное распределение по толщине сцинтиллятора показано в нижней части рис.4. Неоднородность слоя значительно больше, чем паспортные значения (<15%): при перемещении от центра сцинтиллятора к периферии толщина уменьшается на  $\sim(25-30)\%$ .

В заключение отметим, что в настоящей работе предложен  $\gamma$ -активационный метод измерения толщины слоя поликристаллического CsI(Tl), нанесенного на подложку большой площади ( $\sim 150 \text{ см}^2$ ). Была измерена партия сцинтилляторов, специально изготовленных для использования в установке “Фаза” в качестве детектора множественности фрагментов промежуточной массы. С помощью сканирования  $\beta$ -активности удается прследить и распределение толщины сцинтиллятора. Найдено, что в использованной методике термического испарения разброс по толщине центр-периферия (при линейном размере сцинтиллятора 140 мм) составляет  $\approx 25\%$ .

Авторы выражают признательность Ю.П. Гангрскому, О.В. Бочкареву за полезные обсуждения и А.Г. Белову за помощь в проведении облучений на микротроне. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант No 00-02-16608) и гранта NATO PS.CLG.976861.

#### Список литературы

1. Выдай Ю.Т., Цирлин Ю.А., Чайковский Э.Ф. // Изв. АН СССР, сер. физ. 1974. Т. 38. С. 1307.
2. Авдеев С.П., Карнаухов В.А. и др. // ПТЭ. 1993. N 3. С. 104.
3. Avdeyev S.P., Karnaukhov V.A. et al. // NIM. 1993. V. 332. P.149.
4. Авдеев С.П., Карнаухов В.А. и др. // ПТЭ. 1996. N 2. С. 7.
5. Avdeyev S.P., Karnaukhov V.A. et al. // Eur. Phys. Journal. 1998. V. A3. P.75.

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 января 2001 года.

Авдеев С.П. и др.

P13-2001-9

### Измерение толщин тонкослойных сцинтилляторов CsI(Tl)

В настоящей работе предложен  $\gamma$ -активационный метод измерения толщины слоя поликристаллического CsI(Tl), нанесенного на подложку большой площади ( $\sim 150 \text{ см}^2$ ). Была измерена партия сцинтилляторов, специально изготовленных для использования в установке «Фаза» в качестве детектора множественности фрагментов промежуточной массы. С помощью сканирования  $\beta$ -активности удается проследить и распределение толщины сцинтиллятора. Найдено, что в использованной методике термического испарения разброс по толщине центр–периферия (при линейном размере сцинтиллятора 140 мм) составляет  $\approx 25\%$ .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2001

### Перевод авторов

Avdeyev S.P. et al.

P13-2001-9

### Measuring of Thickness of Thin CsI(Tl)-Scintillators

The  $\gamma$ -activation method was developed to measure the thickness of thin CsI(Tl) films thermally evaporated on plexiglass backing of large area ( $\sim 150 \text{ cm}^2$ ). The number of scintillators was measured to be used in the fragment multiplicity detector of  $4\pi$ -setup FASA. The distribution of the thickness along the surface of the scintillator has been also determined by the  $\beta$ -activity scanning. It was found that the density of CsI(Tl) film is decreased  $\approx 25\%$  from the middle of backing to the edge.

The investigation has been performed at the Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2001

Редактор Е.Ю.Шаталова. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 01.03.2001

Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 0,95

Тираж 330. Заказ 52528. Цена 1 р. 14 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
Дубна Московской области