

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

4480/2-81

31/8-81
P16-81-330

М.М.Комочков, В.И.Цовбун

ЗАВИСИМОСТЬ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ LiF
ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ,
ПОМЕЩЕННЫХ ЗА РАЗЛИЧНЫМИ ПОГЛОТИТЕЛЯМИ,
ОТ ЭНЕРГИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

1981

Способность термолюминесцентных детекторов /ТЛД/ работать в импульсных радиационных полях с мощностями дозы до 10^9 Гй/с^{1/}, накопленный опыт работы с такими детекторами^{2-7/} ставят ТЛД в ряд основных средств дозиметрии импульсных полей излучения в диапазоне доз до 10^3 Гй электронного и гамма-излучения наряду с широким использованием их в медленно меняющихся во времени полях излучения.

Исследованию зависимости дозовой чувствительности ТЛД от энергии фотонов и материалов, окружающих детекторы, посвящено много работ^{2-5/}. Эта проблема рассматривалась с точки зрения изучения "хода с жесткостью" дозиметров и интерпретации показаний детекторов, облученных в какой-либо среде.

Энергетические зависимости функций чувствительности ТЛД с разными фильтрами обладают анализирующей способностью. Применение ТЛД для спектрального анализа рентгеновского и мягкого гамма-излучения реализовано в работах^{8-10/}.

Корректным формализмом восстановления энергетических распределений $F(E)$ по показаниям детекторов является метод статистической регуляризации^{11-12/} решения системы интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода относительно функции $F(E)$,

$$N_i + S_i = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \epsilon_i(E) \cdot F(E) \cdot dE, \quad /1/$$

где: N_i, S_i - показание и погрешность показания i -го детектора; E_{\min}, E_{\max} - границы энергетического интервала; $\epsilon_i(E)$ - энергетическая зависимость чувствительности i -го детектора.

При решении система уравнений /1/ линеаризуется

$$N_i + S_i = \sum_j \epsilon_i(E_j) \cdot F(E_j) \cdot \Delta E_j. \quad /2/$$

Программная реализация^{12/} позволяет решить некорректную задачу /1/ после линеаризации /2/ методом статистической регуляризации, если имеется набор линейно независимых функций $\epsilon_i(E)$ и функция $F(E)$ гладкая.

В нашей работе исследовались энергетические функции чувствительности $\epsilon_i(E)$ ТЛД-100 фирмы "HARSHAW"^{3-4/}, помещенных за различными поглотителями из тефлона, алюминия, железа, свинца с целью возможного их использования для восстановления энергетических распределений гамма /тормозного/-излучения.

ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Измерения значений функции чувствительности для нескольких значений энергий гамма-квантов производились на изотопных источниках. В табл.1 приведены основные характеристики использованных изотопов, заимствованные из справочника^{13/}.

Детекторы прямоугольной формы со стороной квадрата 1/8 дюйма и толщиной 0,9 мм помещались в капсулах и внутри свинцового блока на различных глубинах. Цилиндрические капсулы имели углубления диаметром 5 мм и высотой 1 мм. Толщины передних стенок, обращаемых к источнику излучения, представлены в табл.2. Толщина задних стенок капсул измерена передним, внешний диаметр около 1 см. Свинцовый цилиндрический блок имел диаметр 190 мм и толщину 70 мм. По концентрической окружности радиусом 50 мм равномерно, на разную глубину просверлено 10 углублений диаметром 5 мм. Толщины свинца от плоскости круга, обращаемого к источнику излучения, до плоского дна углубления также указаны в табл.2. Минимальная толщина 0,53 г/см² соответствует толщине листового свинца, плотно перекрывающего сквозное отверстие в блоке. Детекторы укладывались плоскостью на дно углублений, и отверстия на всю глубину затыкались свинцовыми пробками, которые фиксировали детекторы.

При облучении детекторов на источниках ¹⁷⁰Tm, ¹³⁷Cs и ⁶⁰Co использовался стандартный коллимационный узел^{14/} с диаметром коллиматора 60 мм, который в месте облучения детекторов обеспечивал поперечную неоднородность поля излучения в пределах до 5%. Остальные источники использовались в открытой геометрии. Бета-частицы ¹⁷⁰Tm экранировались листом алюминия толщиной 1,5 мм, если облучались детекторы в тефлоне, алюминии и за свинцовым поглотителем толщиной 0,53 г/см².

Обработка ТЛД производилась на приборе серии 2000/A+B/ фирмы "HARSHAW". Результаты измерений /и расчетов/ нормировались на чувствительность детекторов, соответствующую 1 нанокюлону показания регистрирующего прибора при облучении детекторов в тефлоне источником ¹³⁷Cs экспозиционной дозой 2,58·10⁻⁴ Кл/кг /1 рентген/. Для каждого из используемых детекторов устанавливался индивидуальный градуировочный коэффициент.

Основной вклад в погрешность результатов измерений вносили паспортные погрешности активностей используемых источников /60%-90% абсолютной среднеквадратичной погрешности определения чувствительности детекторов/.

При определении чувствительности детекторов для одного значения энергии с помощью источников, имеющих несколько линий, делалась вычитание вклада в реакцию детектора дополнительных гамма-линий с использованием абсолютных значений чувствительности, полученных на моноэнергетических изотопах, либо относитель-

Таблица 1

Источники, использованные для облучений

Изотоп	Cd ¹⁰⁹	Am ²⁴¹	Tm ¹⁷⁰	Co ⁵⁷	Cs ¹³⁷	Co ⁶⁰
T _{1/2}	453 дня	433 года	128,6 дня	271,4 дня	30,2 года	5,27 года
Основные гамма-линии (кэВ) и выхода(%)	22,5(102)	59,5(35,3)	53,6(4,1) 84,3(3,1)	14,4(9,7) 122(85,2) 136,5(11,1) 692(0,156)	662(85,1)	1173(100) 1333(100)

Таблица 2

Толщины материалов, экранирующих детекторы

Материал:	Teфлон	Al	Fe	Pb	Pb
Капсула или блок	-"	-"	-"	-"	б л о к
Толщина, г/см ²	0,22±0,01	0,23±0,02; 0,66±0,03	1,01±0,03; 0,53±0,01; 2,24±0,06; 4,31±0,06; 6,49±0,07; 9,05±0,07	10,92±0,06; 12,98±0,09; 15,1±0,09; 19,56±0,11; 21,8±0,12	

тельных значений чувствительностей для различных линий, полученных расчетным путем /см. ниже/. Чувствительность детекторов, определенная по источнику ^{60}Co , приписывалась энергии 1250 кэВ.

РАСЧЕТ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В расчетах функций $\epsilon_1(E)$ использовалось отношение поглощенной дозы, переданной ТЛД, к дозе в окружающей детектор среде $f = \frac{D_{\text{ТЛД}}}{D_c}$. В работе ^{/15/} энергетическая зависимость этого отношения $f(E)$ рассчитана для различных сред и близкого по толщине

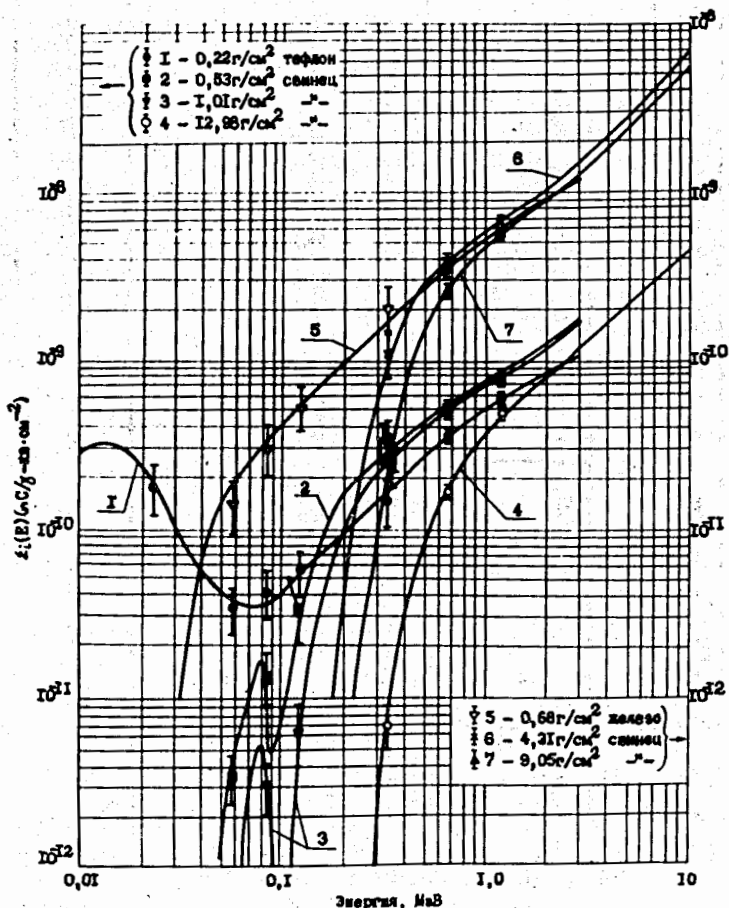


Рис.1. Функции чувствительности TLD-100 за различными поглотителями.

ТЛД ^7LiF с размерами $1 \times 1 \times 6$ мм³. Эта зависимость использовалась для расчета функций чувствительностей наших детекторов по формуле

$$\epsilon(E) = \frac{a \cdot E \cdot \mu_{\text{ac}}(E) \cdot f(E)}{K(E)},$$

/13/

где $\mu_{\text{ac}}(E)$ - коэффициент поглощения энергии гамма-излучения в среде ^{/16/}; $K(E)$ - кратность ослабления поглощенной дозы в среде поглотителя для энергии E ; a - градуировочный коэффициент. $K(E) = e^{\mu_t(E) \cdot x}$, где $\mu_t(E)$ - массовый коэффициент ослабления гамма-излучения в среде поглотителя, а x - его толщина. Полагалось, что дозовые факторы накопления в нашем случае отлича-

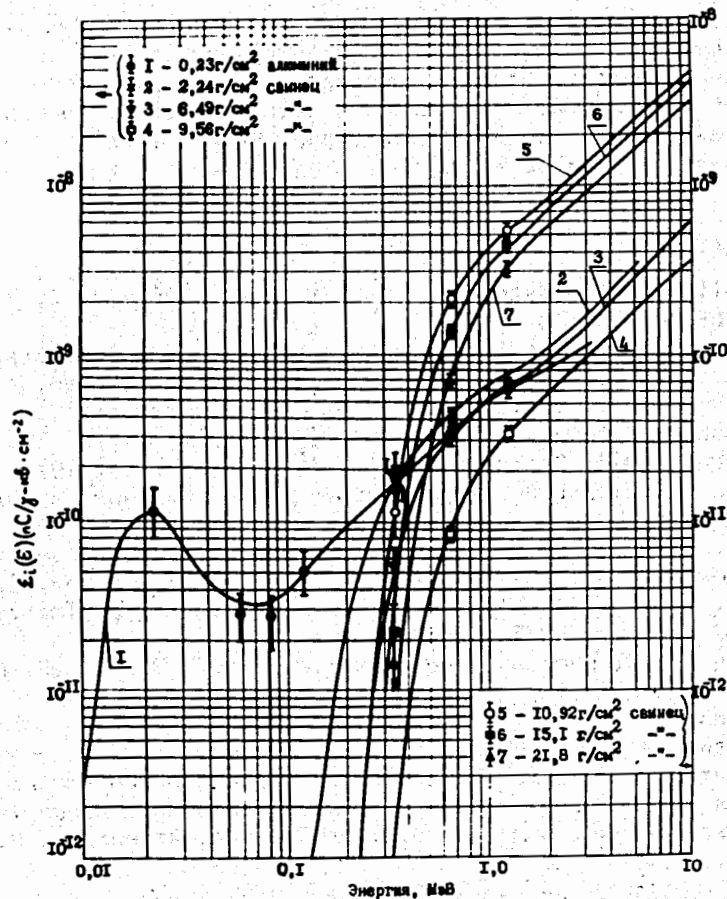


Рис.2. Функции чувствительности TLD-100 за различными поглотителями.

ются от единицы не более, чем на погрешность расчета и измерений.

Результаты расчетов и измерений, представленные на рис. 1 и 2, согласуются в пределах ошибок измерений. В наборе функций $\epsilon_1(E)$ имеется ряд существенно линейно-независимых в диапазоне энергий от десятков кэВ до нескольких МэВ. Все функции имеют пониженную чувствительность в районе 100 кэВ. Это ухудшает возможности восстановления энергетических распределений в широком диапазоне энергий. Использование функций $\epsilon(E)$ термолуминофоров с большими атомными номерами, например $\text{CaSO}_4(\text{Dy})^{17/}$ и $\text{BaSO}_4(\text{Eu})^{18/}$, видимо, улучшит возможность восстановления спектров в области энергий до нескольких сот кэВ и в области 10 МэВ.

Авторы считают перспективными возможности использования функций чувствительности $\epsilon_1(E)$ рассмотренного класса для восстановления энергетических распределений гамма /тормозного/ излучения в диапазоне от нескольких десятков кэВ до нескольких МэВ применительно к задачам дозиметрии, защиты и оценкам радиационных нагрузок на материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tochilin E., Goldstein N. Health Phys., 1966, v.12, No.12, p.1705.
2. Proc. of the Third Int. Conf. on Luminescence Dosimetry, held at the Danish AEC Research Establishment, Risø, 11-14 October, 1971, Risø report No.249, Part I-II, December 1971.
3. Baker K. Solid State Dosimetry, CRC press, Ohio, 1973.
4. Франк М., Штольц В. Твердотельная дозиметрия ионизирующего излучения. Пер. с нем., Атомиздат, М., 1973.
5. Proc. of the Fourth Int. Conf. on Luminescence Dosimetry, Krasow, Poland, 23-31 August, 1974, vol.1-3, Krasow, 1974.
6. Proc. of the Fifth Int. Conf. on Luminescence Dosimetry, 14-17 February 1977, Sao Paulo, Brasil.
7. Шварц К.К. Термолуминесцентная дозиметрия. "Зинатне", Рига, 1968.
8. Куделин К.М. ПТЭ, 1976, №6, с.187-188.
9. Зверев С.А. и др. Препринт ФИАН СССР, №96, 1980.
10. Дементьев В.Н. и др. Измерение спектров рентгеновского излучения импульсных установок. В кн.: Экспериментальные методы ядерной физики. Под ред. В.М.Колобашкина. Атомиздат, М., 1979, вып.5.
11. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. "Наука", М., 1979.

12. Туровцева Л.С. Решение обратных некорректно поставленных задач методом статистической регуляризации. Изд-во ИПМ АН СССР, М., 1975.
13. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Квантовое излучение радиоактивных нуклидов. Справочник. Атомиздат, М., 1977.
14. Установки поверочные дозиметрические рентгеновского и гамма-излучения. Методы и средства аттестации. ГОСТ 8-087-73, Изд-во "Стандарт", М., 1974.
15. Simons G.G., Emmons L.L. Nucl. Instr. and Meth., 1979, с.160, No.1, p.79-85.
16. Сторм Э., Исраэль Х. Сечения взаимодействия гамма-излучения. Пер. с англ. Атомиздат, М., 1973.
17. Szabo P.P., Felszerfalvi J., Lenart A. KFKI-1980-51, Budapest, 1980.
18. Бочвар И.А., Томбак М.И. ПТЭ, 1980, №6, с.37-41.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 мая 1981 года.