

## Радиационные характеристики $\gamma$ -источников из $\text{Sm}^{145}$ и обогащенного $\text{Se}^{75}$

С. В. Румянцев, В. А. Добромислов, А. С. Штань, Е. Е. Кулиш

Для контроля и регулирования разнообразных технологических процессов, контроля качества изделий и т. д. большой интерес представляют источники с низкой энергией  $\gamma$ -квантов и максимально возможной удельной активностью.

В работе [1] показано, что спектр излучения  $\text{Sm}^{145}$  состоит из характеристического рентгеновского излучения с энергией 39 *кэв* ( $K_{\alpha}$ -линия прометия) и собственного  $\gamma$ -излучения  $\text{Sm}^{145}$  с энергией 61 *кэв*.

Спектр  $\gamma$ -излучения  $\text{Se}^{75}$  состоит из 10 линий различной интенсивности с энергией излучения в пределах 0,066—0,405 *Мэв*, причем наибольшей интенсивностью обладают линии с энергией 0,269 и 0,138 *Мэв*. Ожидалось, что использование источников излучения с малой энергией  $\gamma$ -квантов ( $\text{Sm}^{145}$ ) повысит по сравнению с  $\text{Tl}^{208}$  и  $\text{Eu}^{152}$  [1] эффективность контроля качества сварки, пайки, литья и других технологических процессов, применяемых при изготовлении тонкостенных изделий, а повышение удельной активности источников из  $\text{Se}^{75}$  за счет обогащения исходного сырья значительно улучшит их радиационные характеристики по сравнению с источниками из необогащенного  $\text{Se}^{75}$ .

Исследовали спектральный состав излучения, испускаемого указанными источниками. Источник из  $\text{Sm}^{145}$  был получен нейтронным облучением потоком  $7 \cdot 10^{19}$  *нейтр/см<sup>2</sup>* 0,01 г  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ , обогащенной  $\text{Sm}^{144}$ . Ниже приведены паспортные данные на источник:

Активность (в момент проведения эксперимента)	0,3 <i>мг-экв</i> Ra
Внешние размеры источника:	
диаметр . . . . .	4 <i>мм</i>
высота . . . . .	5 <i>мм</i>
Размеры активной части:	
диаметр . . . . .	2 <i>мм</i>
высота . . . . .	2 <i>мм</i>
Изотопный состав материала	92,6% $\text{Sm}^{144}$ ; 4,3% $\text{Sm}^{147}$ ; 0,8% $\text{Sm}^{148}$ ; 0,7% $\text{Sm}^{149}$ ; 0,3% $\text{Sm}^{150}$ ; 0,8% $\text{Sm}^{152}$ ; 0,5% $\text{Sm}^{154}$
Химические примеси . . . . .	Не более 0,01% железа; не более 0,005% меди

Спектральный состав излучения источника из  $\text{Sm}^{145}$  измеряли на сцинтилляционном  $\gamma$ -спектрометре, состоящем из кристалла  $\text{NaJ(Tl)}$  высотой 8 *мм* и диаметром 29 *мм*, ФЭУ-13 и стокального амплитудного анализатора типа АИ-100. Разрешающая способность спектрометра составляла 10% на линии 660 *кэв*  $\text{Cs}^{137}$ \*

\* Спектры  $\gamma$ -источников из  $\text{Sm}^{145}$  и  $\text{Se}^{75}$  измеряли в лаборатории ядерной спектроскопии Научно-исследовательского института ядерной физики при МГУ под руководством В. С. Шпинеля.

Спектр излучения, испускаемого источником из  $\text{Sm}^{145}$  в диапазоне энергий 15—180 и 180—1500 *кэв*, приведен на рис. 1. Помимо основных линий с энергией 39 и 62 *кэв*, характерных для  $\text{Sm}^{145}$ , в спектре источника наблюдаются пики от  $\gamma$ -лучей различной энергии вплоть до 1500 *кэв*. Это излучение обусловлено наличием радиоактивных примесей (вероятно,  $\text{Fe}^{55}$ ,  $\text{Fe}^{59}$ ,  $\text{Cu}^{64}$  и, возможно,  $\text{Eu}^{152}$  и  $\text{Eu}^{154}$ ). Относительная интенсивность  $\gamma$ -линий источника из  $\text{Sm}^{145}$  составляет 67; 5,4; 27,6% для энергий  $\gamma$ -квантов 39; 61; >61 (примеси) *кэв* соответственно.

Исследовались также источники из  $\text{Se}^{75}$ . Характеристики источников следующие:

	$\text{Se}^{75}$ (необогащенный)	$\text{Se}^{75}$ (обогащенный)
Активность (в момент проведения экспериментов)	1,5 <i>г-экв</i> Ra	0,23; 0,56; 0,82 <i>г-экв</i> Ra
Внешние размеры источника:		
диаметр . . . . .	16,5 <i>мм</i>	7,5; 7,5; 7,5 <i>мм</i>
высота . . . . .	16,5 <i>мм</i>	8,0; 8,0; 9,5 <i>мм</i>
Размеры активной части:		
диаметр . . . . .	11,5 <i>мм</i>	5,0; 5,0; 4,5 <i>мм</i>
высота . . . . .	11,5 <i>мм</i>	5,5; 5,5; 6,0 <i>мм</i>
Характеристика сырья	Селен металлический марки чистый, содержание $\text{Se}^{74}$ —0,87%	Селен металлический, содержание $\text{Se}^{74}$ —40,9%

Спектры обогащенного и необогащенного  $\text{Se}^{75}$  исследовали на сцинтилляционном  $\gamma$ -спектрометре, состоящем из кристалла  $\text{NaJ(Tl)}$  высотой 10 *мм* и диаметром 29 *мм*, ФЭУ-11 и амплитудного анализатора. Разрешающая способность спектрометра составляла 11% на линии 660 *кэв*  $\text{Cs}^{137}$ .

Результаты измерения  $\gamma$ -спектров показали, что спектры обогащенных и необогащенных источников из  $\text{Se}^{75}$  идентичны по форме и отличаются только интенсивностью излучения. Спектр источников из  $\text{Se}^{75}$  в диапазоне энергий 60—1000 *кэв* показан на рис. 2. Видны пики от  $\gamma$ -квантов с энергиями примерно 75, 130 и 280 *кэв*, присутствуют также более жесткие  $\gamma$ -кванты малой интенсивности вплоть до 1000 *кэв*. Ярко выраженных пиков в этой области не наблюдается.

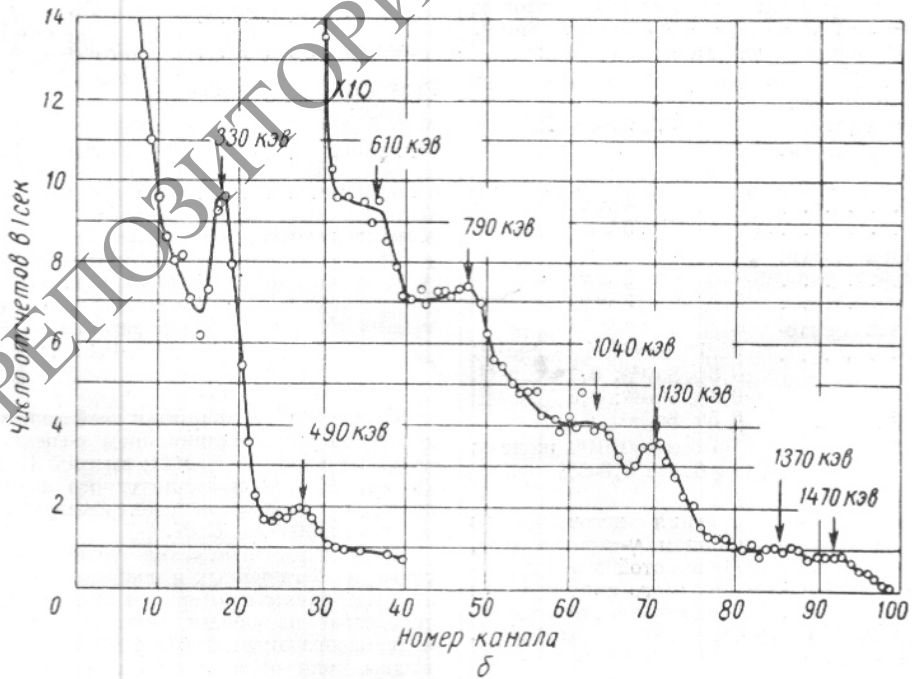
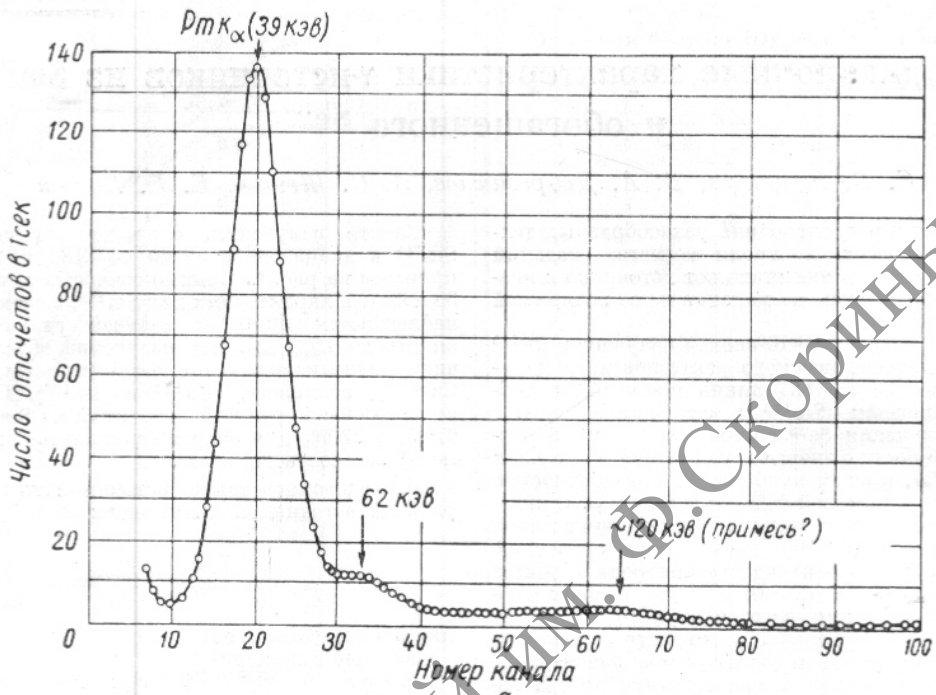


Рис. 1. Спектр излучения источника из  $\text{Sm}^{145}$  в диапазоне 15–180 кэв (а) и 180–1500 кэв (б).

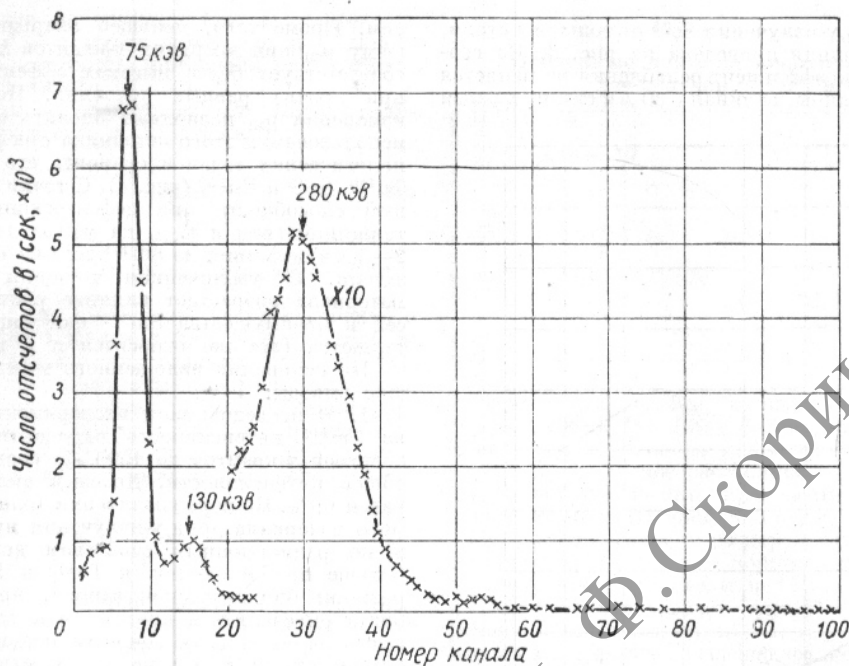


Рис. 2. Спектр излучения источника на  $Se^{75}$  (обогащенного) в диапазоне энергий 60—1000 кэв.

Ниже приведена относительная интенсивность  $\gamma$ -линий  $Se^{75}$ , %:

Энергия $\gamma$ -квантов, кэв	$Se^{75}$ (обогащенный)	$Se^{75}$ (необогащенный)
65—95	56,5	56,5
120—140	12,5	12,8
240—280	21,0	20,7
> 280	10,0	10,0

Одна из основных характеристик источника излучения, определяющая эффективность использования его в приборах технологического контроля, — степень ослабления  $\gamma$ -излучения различными материалами. Ее можно характеризовать линейным коэффициентом ослабления  $\gamma$ -излучения.

Мощность физической дозы измерялась в условиях «широкого пучка». В качестве детектора использовался дозиметр «Найтус» с алюминиевой камерой объемом 1 л. Точность измерения составила  $\pm 10\%$ .

Расчет линейного коэффициента ослабления широкого пучка  $\gamma$ -лучей проводился по формуле

$$\mu_{\text{ш}} = -\frac{\ln \frac{P_d}{P_0}}{d},$$

где  $P_0$  — мощность дозы  $\gamma$ -излучения в отсутствие поглотителя;  $P_d$  — мощность дозы  $\gamma$ -излучения за поглотителем толщиной  $d$ . Было обнаружено, что влияние излучения примесей с высокой энергией  $\gamma$ -квантов в спектре  $Sm^{145}$  начинает сказываться уже на толщинах стали 5—10 мм. Непрерывная фильтрация мягких квантов приводит на толщине 30 мм стали к эффективной энергии 1250 кэв.

Линейные коэффициенты ослабления широкого пучка  $\gamma$ -излучения обогащенного и необогащенного  $Se^{75}$

измерялись на различных толщинах стали, титана и дюралюминия. Измерения показали, что результаты совпадают в пределах погрешности эксперимента. Это указывает на малое самопоглощение в источниках из  $Se^{75}$  и подтверждает идентичность радиационных характеристик источников из обогащенного и необогащенного  $Se^{75}$ .

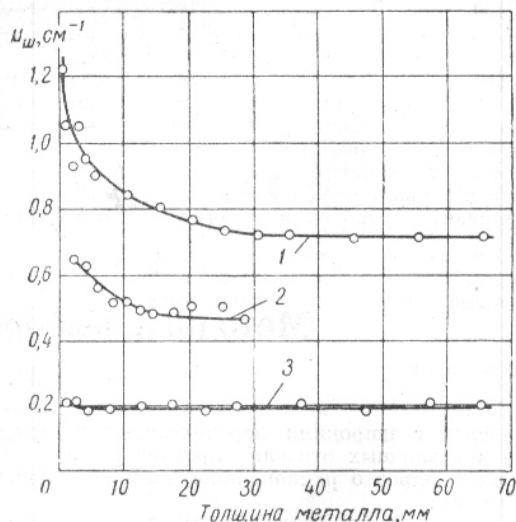


Рис. 3. Зависимость линейного коэффициента ослабления широкого пучка  $\gamma$ -излучения  $Se^{75}$  от толщины металла: 1 — сталь; 2 — титан; 3 — дюралюминий.

Зависимость  $\mu_{\text{ш}} \gamma$ -излучения  $\text{Se}^{75}$  от толщины стали, титана и дюралюминия приведена на рис. 3. Из графика следует, что коэффициент ослабления не меняется с увеличением толщины, начиная с 30 мм стали, и равен

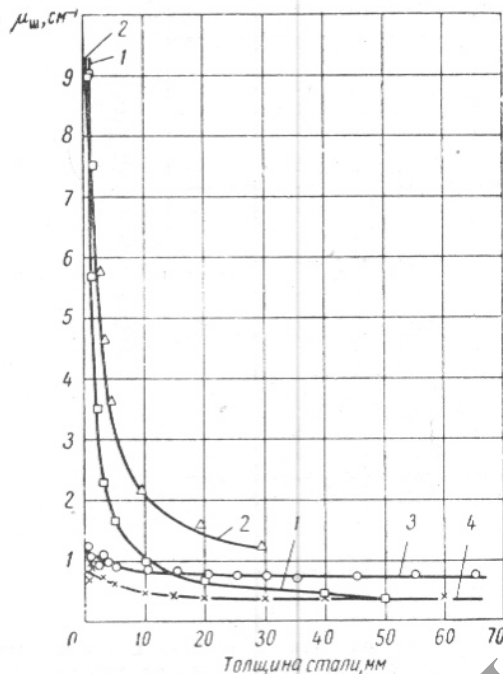


Рис. 4. Зависимость линейного коэффициента ослабления широкого пучка  $\gamma$ -излучения различных источников от толщины стали: 1 —  $\text{Sm}^{145}$ ; 2 —  $\text{Tl}^{208}$ ; 3 —  $\text{Se}^{75}$ ; 4 —  $\text{Eu}^{152}$ .

$0,72 \text{ см}^{-1}$ . Этому значению  $\mu_{\text{ш}}$  соответствует эффективная энергия  $\gamma$ -излучения около  $400 \text{ кэВ}$ , что подтверждает данные спектральных исследований.

Известно, что точность технологического контроля с использованием радиоактивных изотопов определяется степенью ослабления излучения изотопов контролируемым материалом. В работе [1], в частности, показано, что минимальный выявляемый размер дефекта в материале обратно пропорционален линейному коэффициенту ослабления  $\gamma$ -излучения этим материа-

лом. Кроме того, меньшей энергии  $\gamma$ -квантов (большему  $\mu_{\text{ш}}$  при энергиях  $\gamma$ -квантов  $h\nu \leq 2000 \div 3000 \text{ кэВ}$ ) соответствует более высокая эффективность контроля при прочих равных условиях. Поэтому результаты измерений  $\mu_{\text{ш}}$  позволяют оценить возможные области использования этого источника при решении ряда технологических задач и сравнить его с источниками из  $\text{Tl}^{208}$ ,  $\text{Se}^{75}$  и  $\text{Eu}^{152}$  (рис. 4). С точки зрения разрешающей способности при дефектоскопическом контроле, толщинометрии и т. д. на малых толщинах стали (до 2—3 мм) источник из  $\text{Sm}^{145}$  должен иметь лучшие показатели. С увеличением толщины контролируемого материала возрастает влияние радиоактивных примесей и преимущества  $\text{Sm}^{145}$  как мягкого  $\gamma$ -излучателя теряются (это же относится и к вопросам защиты).

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. В исследованном экспериментальном источнике из  $\text{Sm}^{145}$  интенсивность радиоактивных примесей с энергией  $\gamma$ -квантов до  $1500 \text{ кэВ}$  составляет более 27% общей интенсивности. Дозовый вклад этих примесей равен 60%. По мере увеличения толщины контролируемого материала доля  $\gamma$ -излучения примесей возрастает и по радиационным свойствам источник из  $\text{Sm}^{145}$  больше приближается к  $\text{Tl}^{208}$  и  $\text{Se}^{75}$ . В частности, размеры биологической защиты при работе с  $\text{Sm}^{145}$  будут определяться примесями в источнике. Поэтому, несмотря на низкую энергию основного  $\gamma$ -излучения, источник из  $\text{Sm}^{145}$  мало чем отличается от более дешевых источников, например  $\text{Tl}^{208}$  и  $\text{Se}^{75}$ .

Чтобы сохранить преимущества  $\text{Sm}^{145}$  как источника мягкого  $\gamma$ -излучения, необходимо значительно уменьшить долю  $\gamma$ -излучения примесей в спектре источника.

2. По спектральному составу излучения источника из  $\text{Se}^{75}$  с обогащением исходного сырья  $\text{Se}^{74}$  до 41,0% не отличаются от серийно выпускаемых источников из природной смеси изотопов, содержащей 0,87%  $\text{Se}^{74}$ . Поэтому качественные изменения спектрального состава обогащения  $\text{Se}^{75}$  не вносит. Основное преимущество источников из обогащенного  $\text{Se}^{75}$  — их высокая удельная активность. Это позволяет повысить активность источников, увеличив тем самым производительность контроля.

Поступило в Редакцию 13/III 1963 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. В. Румянцев. Применение радиоактивных изотопов в дефектоскопии. М., Атомиздат, 1960.

УДК 621.039.84

## Методика выбора изотопов для $\gamma$ -реле

М. Л. Гольдин

В связи с широкими перспективами применения  $\gamma$ -реле в различных отраслях промышленности [1, 2] возникает вопрос о рациональном выборе источников  $\gamma$ -излучения.

Как показано в работе [3], активность источника излучения  $A$  (в  $\text{мг-экв Ra}$ ) определяется по формуле

$$A = 3,4 \cdot 10^{-7} \frac{2^{t/T_{1/2}} J R^2 m}{q \epsilon S} \exp(\mu d), \quad (1)$$

где  $t$  — время, в течение которого активность  $\gamma$ -излучателя обеспечивает такой поток  $\gamma$ -квантов при облучении детектора, когда наблюдается надежное срабатывание контактов выходного реле (время до замены источника излучения);  $T_{1/2}$  — период полураспада;  $J$  — оптимальная величина скорости счета детектора, исключающая ложные срабатывания  $\gamma$ -реле;  $R$  — расстояние между источником излучения и приемником;  $m$  —  $\gamma$ -эквивалент изотопа (без начального фильтра);