

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ ДЛЯ ДЕФЕКТОСКОПИИ ИЗДЕЛИИ

В. И. ГОРБУНОВ, В. К. КУЛЕШОВ

(Представлена научным семинаром НИИ ЭИ)

В работе исследовано влияние высоты цилиндрических сцинтилляционных кристаллов NaI (Tl) и CsI (Tl) на относительный световыход. Установлено, что для дефектоскопа на максимальную энергию 70 Кэв оптимальными в отношении световыхода являются кристаллы, имеющие высоту $h = 0,8$ мм.

Заметное влияние на световыход оказывает вид обработки кристаллов.

Для измерения жестких излучений малой интенсивности сцинтилляционным методом важно определить оптимальные размеры сцинтиллятора.

В радиационной дефектоскопии сейчас эта задача решается с двух сторон, между которыми выбирается компромисс:

1) производится расчет сцинтиллятора на максимум поглощенной энергии;

2) определяются размеры сцинтиллятора с точки зрения минимума оптических потерь в нем.

Оба решения можно найти как теоретически [1, 2, 3], так и экспериментально.

Нами экспериментально исследуются зависимости световыхода сцинтилляторов от их размеров для энергий от 30 Кэв до 30 Мэв.

В настоящей статье представлены результаты по исследованию зависимости световыхода от высоты сцинтилляторов NaI (Tl) и CsI (Tl) для рентгеновского излучения от трубки УРПО-70-4.

Кристаллы CsI (Tl) обрабатывались следующим образом. У всех образцов боковая поверхность матировалась. Шлифовка торцов производилась сначала на тонкой наждачной бумаге, а затем на шелковой материи. Для лучшей шлифовки использовалась окись церия, разведенная в этиловом спирте. При шлифовке достигалась прозрачность стекла. Если необходимо было сокращать кристалл на большие толщины, то он просто распиливался нитью, смоченной в воде. Затем производилась обработка в той же последовательности.

Матирование поверхности осуществлялось наждачной бумагой.

Обработка кристаллов NaI (Tl) ничем не отличается от описанной выше для CsI (Tl). Однако имеются различия в их употреблении, связанные с тем, что NaI (Tl) обладает довольно большой гигроскопичностью. Последнее приводит к тому, что, по крайней мере, шлифованные

поверхности становится необходимым защищать на время эксперимента от попадания на них влаги из воздуха. Для этого на особо важные поверхности наклеивались стекла посредством силиконового масла, имеющего коэффициент преломления, близкий к коэффициенту преломления NaI (Tl).

Исследуемые кристаллы CsI (Tl) и NaI (Tl) помещались в светонепроницаемый пенал, соединенный со световым трактом, исключающим попадание постороннего света в регистрирующее устройство.

Блок-схема установки показана на рис. 1. В качестве детектора света сцинтиллятора использовался ФЭУ-17, спектральная чувствительность которого лежит в области, близкой к спектрам излучения исследуемых кристаллов.

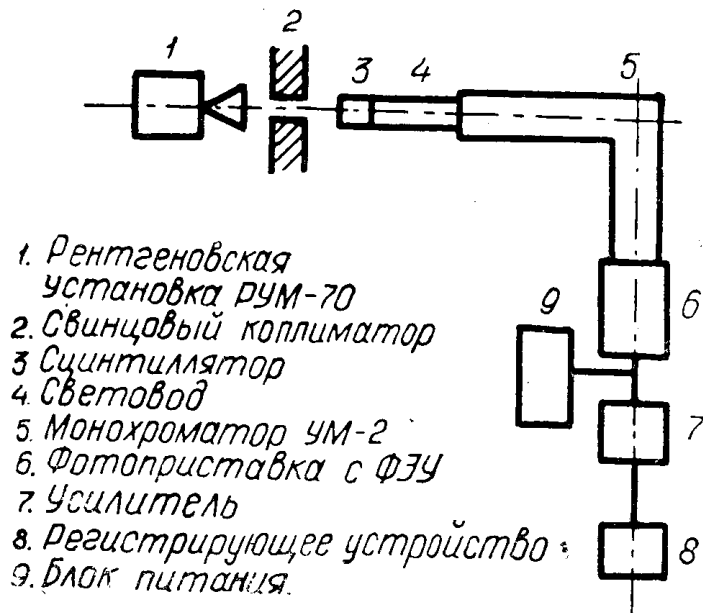


Рис. 1. Блок-схема установки.

Регистрация производилась по среднему току. Сигнал с ФЭУ через усилитель постоянного тока подавался на отсчетное устройство — ламповый вольтметр типа В2—3.

Для избежания шумов, связанных с непосредственным попаданием рентгеновского излучения на ФЭУ использовался монохроматор УМ-2. Применение монохроматора в данном случае полезно еще и в том смысле, что позволяет ослаблять световой поток и не перегружать ФЭУ.

Основная погрешность при снятии зависимости световыхода сцинтилляторов по указанной схеме связана с нестабильностью сети и, следовательно, значительной нестабильностью интенсивности излучения рентгеновской трубки. Поэтому, несмотря на то, что питание ФЭУ и усилителя стабилизировано, отсчеты на регистрирующем приборе значительно изменяются во времени. Во избежание этой погрешности нами снимались зависимости световыхода сцинтилляторов от интенсивности возбуждающего рентгеновского излучения для различных толщин (рис. 2). Поскольку элементы схемы: сцинтиллятор, ФЭУ, усилитель, регистрирующий прибор — линейны, зависимость световыходов от интенсивности рентгеновского излучения тоже линейна. Наклон прямых зависит только от длины кристалла.

По точкам равной интенсивности, взятым с этих прямых, строятся зависимости световыхода от длины кристалла (рис. 3, 4). Из графиков

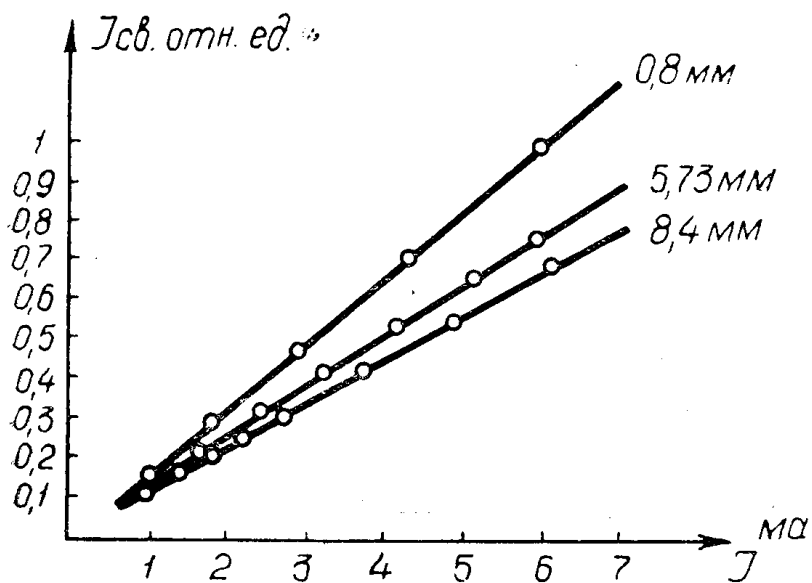


Рис. 2. Зависимость световыхода сцинтиллятора CsI(Tl) от интенсивности возбуждающего рентгеновского излучения для различных толщин (цифрами обозначены толщины сцинтиллятора; по оси абсцисс отложены интенсивности возбуждающего излучения; по оси ординат — световыход в относительных единицах).

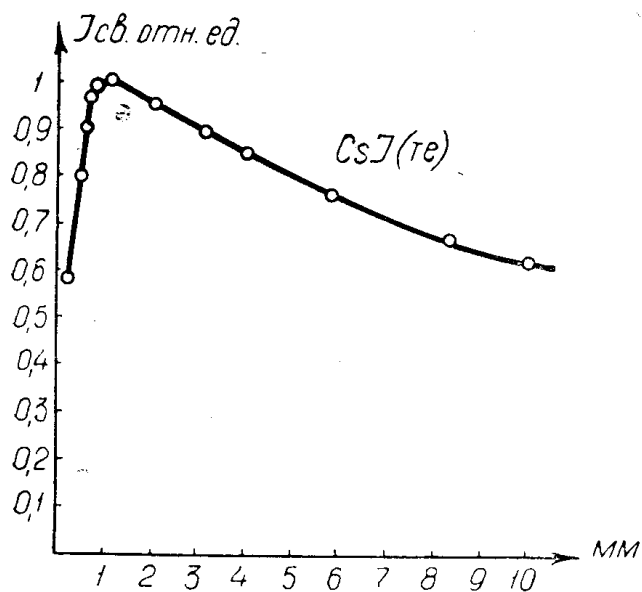


Рис. 3. Зависимость световыхода сцинтиллятора CsI(Tl) от его толщины (по оси абсцисс отложены толщины; по оси ординат — световыход в относительных единицах).

в рис. 3, 4 можно определить оптимальную высоту сцинтилляторов CsI (Tl) и NaI (Tl) для дефектоскопа на базе УРПО-70-4.

В пределах ошибки эксперимента оптимальной можно принять высоту $h = 0,8$ мм для обоих видов сцинтилляторов. Как видно, кривые получаются с резко выраженным максимумом. Возрастание световыхода на малых длинах можно объяснить увеличением поглощенных и зарегистрированных квантов излучения, в то время как спадание световыхода при дальнейшем увеличении высоты объясняется чисто светотехническими свойствами сцинтилляционных кристаллов: коэффициентом поглощения собственного излучения, реабсорбцией, эффектом полного внутреннего преломления, поглощением в отражателе.

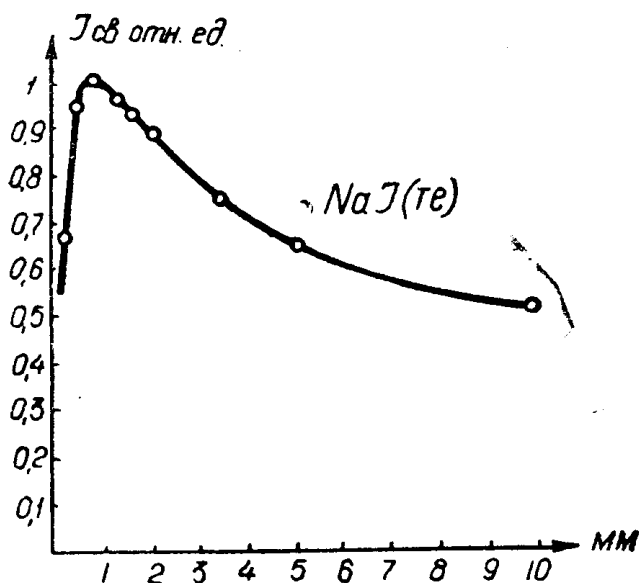


Рис. 4. Зависимость световыхода сцинтиллятора NaI(Tl) от его толщины (по оси абсцисс отложены толщины; по оси ординат — световыход в относительных единицах).

Полученные результаты позволяют в первом приближении определить эффективные коэффициенты собственного поглощения для исследуемых кристаллов.

Для расчета вводятся следующие ограничения:

а) излучение считается монохроматическим, имеющим энергию, соответствующую эффективной энергии рентгеновского излучения трубки, определяемому по общепринятому соотношению

$$E_{\text{эфф}} = \frac{2}{3} E_{\text{max}},$$

где $E_{\text{эфф}}$ — эффективная энергия рентгеновского излучения трубки;

E_{max} — максимальная энергия в энергетическом спектре трубки.

В нашем случае $E_{\text{max}} = 70$ Кэв, следовательно, $E_{\text{эфф}} = 47$ Кэв;

б) основным механизмом взаимодействия является фотоэффект;

в) фотоэлектроны, образовавшиеся в результате фотоэффекта, поглощаются в точке.

При учете приведенных допущений на рис. 5 можно получить следующие выражения для светового потока $I_{\text{свет}}$ с задней стенки кристалла:

$$I_{\text{свет}} = \alpha \mu \cdot I_0 \cdot \int_0^L e^{-\mu x} \cdot e^{-\nu(L-x)} \cdot dx, \quad (1)$$

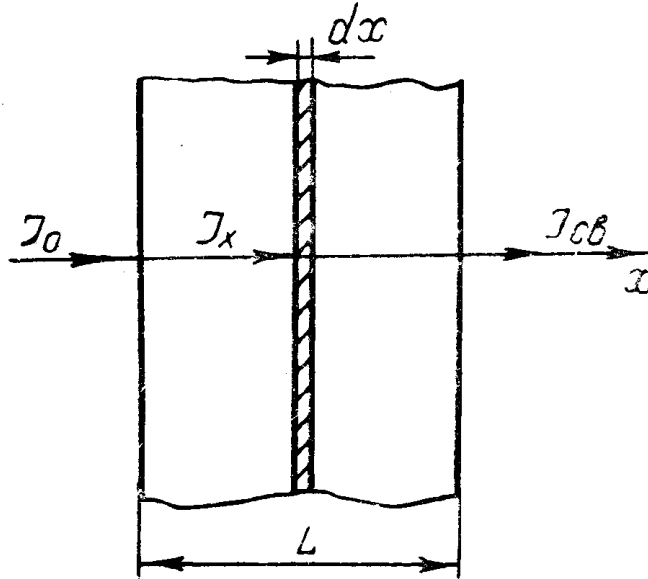


Рис. 5. Зависимость отношения световых выходов матированного сцинтиллятора CsI(Tl) к световых выходов нематированного от его толщины (по оси абсцисс отложены толщины; по оси ординат — отношение световых выходов).

где I_0 — поток γ -квантов, падающих на переднюю стенку кристалла;

$I_0 \cdot e^{-\mu x}$ — поток γ -квантов, прошедших расстояние x внутри кристалла;

$\mu \cdot I_0 \cdot e^{-\mu x} \cdot dx$ — количество поглощенных γ -квантов на участке dx ;

α — конверсионная эффективность кристалла;

μ — коэффициент поглощения рентгеновского излучения для данной энергии;

ν — эффективный коэффициент поглощения собственного излучения сцинтиллятора;

$e^{-\nu(L-x)}$ — коэффициент ослабления светового потока на пути $(L-x)$;

L — длина кристалла.

В результате интегрирования выражения 1 получаем

$$I_{\text{свет}} = \alpha \cdot \mu \cdot I_0 \frac{\exp(-\nu L)}{(\mu - \nu)} \cdot [1 - e^{-L(\mu - \nu)}], \quad (2)$$

из которого видно, что максимум световых выходов получается при выполнении условия

$$\nu \cdot e^{-\nu L_0} = \mu \cdot e^{-\mu L_0}, \quad (3)$$

где L_0 — длина кристалла, на которой наблюдается максимальный световой выход сцинтиллятора для данных μ и ν .

Задаваясь известными значениями L_0 ($\approx 0,8$ мм), находим, например, для NaI(Tl) $\nu \approx 0,380$ см⁻¹.

Ясно, что полученный коэффициент весьма далек от истинного значения, и определение его подобным образом интересно, скорее всего, только с методической стороны.

Основная погрешность в расчете главным образом получается за счет неучета спектрального распределения рентгеновских γ -квантов по энергиям.

Как уже говорилось выше, коэффициент ν , взятый нами для расчета, учитывает не только собственное поглощение кристалла, но и поглощение в отражателе, реабсорбцию и т. д. Таким образом, ν зависит от типа отражателя. Естественно предположить, что на значения ν сказывается вид обработки поверхностей сцинтиллятора. В литературе неоднократно [4] указывалось на то, что световыход сцинтилляторов заметно зависит от обработки их поверхностей. Нами установлено, что наиболее заметное влияние оказывает обработка переднего основания исследуемых образцов. Так, например, световыход матированных кристаллов CsI (Tl) 30×6 увеличивается в 2,5 раза по сравнению со световыходом того же образца, имеющего прозрачное переднее основание.

Для кристаллов NaI (Tl) 30×5 в аналогичном эксперименте световыход изменяется в 1,5 раза.

Но наиболее интересным оказывается то, что для различно обработанных образцов ход зависимости световыхода от высоты изменяется.

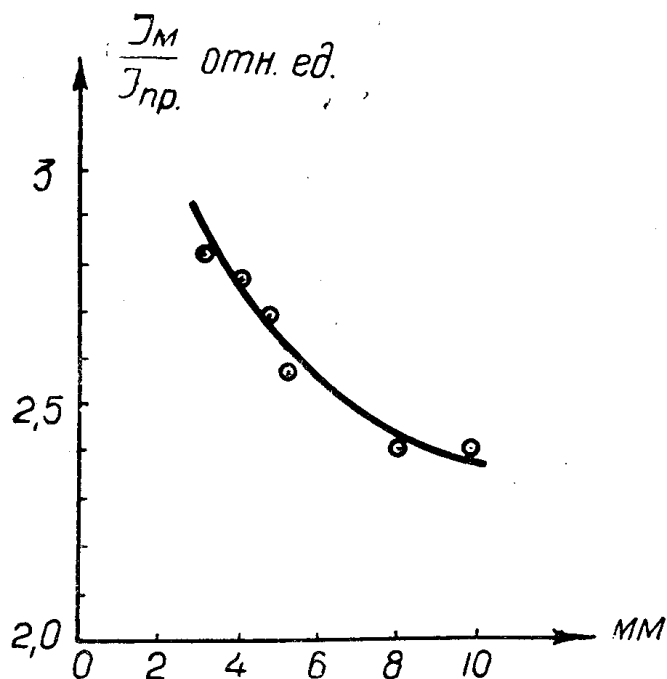


Рис. 6. Пояснительная схема для вывода формулы (3).

На рис. 6 представлена зависимость отношения световыходов образцов CsI (Tl), передние основания которых матированы к световыходам тех же образцов с прозрачными передними основаниями.

Как видно, это отношение увеличивается с уменьшением высоты, что наглядно подтверждает предположение о зависимости ν от вида обработки сцинтилляторов.

Из вышеизложенного можно сделать выводы.

Световыход сцинтилляторов зависит определенным образом от высоты и вида обработки.

Для каждой энергии регистрируемого излучения имеется определенная высота, являющаяся оптимальной с точки зрения максимального световыхода. Она определяется коэффициентами μ и ν . Коэффициент ν зависит помимо всего прочего от вида обработки поверхностей сцинтилляторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Горбунов, В. Б. Кузнецов, В. К. Кулешов, Ю. Б. Янкелевич. Расчет оптимальных параметров сцинтилляционного кристалла в бетатронной дефектоскопии материалов. Доклады на Всесоюзном совещании по ядерной спектроскопии, 1964. 14—21 февраля. Тбилиси.
 2. Л. С. Кукушкин и А. М. Ратнер. ЖТФ, XXVIII, 2, 345—350, 1958.
 3. А. М. Ратнер и Л. С. Кукушкин. XXVIII, 5, 1121—1125, 1958.
 4. Д. Биркс. Сцинтилляционные счетчики. Издательство иностранной литературы, 1955.
-