

# Компьютерная сцинтилляционная $\gamma$ -спектрометрия (5.5.5)

Манро Эйден Б01-3036

**Цель работы:** В данной работе предполагается изучить спектр  $\gamma$ -излучений для образцов  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ , найти для них пики полного поглощения и обратного рассеяния.

## Теоретическая часть

### Введение в гамма-спектрометрию

Гамма-спектрометрия — метод ядерной физики, предназначенный для измерения энергии и интенсивности  $\gamma$ -излучения. Его основная задача — идентификация радиоактивных изотопов по характерным для них энергиям  $\gamma$ -квантов. Для этого используются детекторы, измеряющие не только факт попадания частицы, но и переданную ей энергию. Одним из наиболее распространённых типов таких детекторов является сцинтилляционный детектор на основе кристалла йодида натрия, активированного таллием ( $\text{NaI}(\text{Tl})$ ).

### Принцип работы сцинтилляционного детектора

Работу детектора можно представить как цепочку преобразований энергии:

1. **Взаимодействие  $\gamma$ -кванта с веществом.** Проходя через кристалл,  $\gamma$ -квант взаимодействует с его атомами посредством трёх основных процессов: фотоэффекта, комптоновского рассеяния и рождения электрон-позитронных пар. В результате энергия  $\gamma$ -кванта передаётся электронам (или позитронам), которые начинают движение в кристалле.
2. **Возникновение света.** Быстрые электроны, двигаясь в кристалле, возбуждают его атомы. При возвращении в основное состояние атомы испускают кванты видимого или ультрафиолетового света. Чтобы этот свет не поглощался самим кристаллом, в него вводят активатор (таллий). Уровни энергии атомов таллия позволяют испускать фотоны, слабо поглощаемые в кристалле. Таким образом, прохождение  $\gamma$ -кванта вызывает в сцинтилляторе кратковременную вспышку света — *сцинтилляцию*.
3. **Преобразование света в электрический сигнал.** Световая вспышка попадает на фотокатод фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Под действием света из фотокатода выбиваются электроны (внешний фотоэффект). Эти электроны ускоряются и, ударяясь о диноды, умножаются в числе. В результате слабый первичный ток значительно усиливается, и на выходе ФЭУ формируется измеримый электрический импульс.

4. **От импульса к спектру.** Ключевой момент: амплитуда (размер) выходного импульса пропорциональна количеству света во вспышке, которое, в свою очередь, пропорционально энергии, переданной  $\gamma$ -квантом кристаллу.

## Формирование гамма-спектра

Поскольку  $\gamma$ -кванты взаимодействуют с веществом разными способами, их энергия может передаваться детектору не полностью. В результате даже моноэнергетический источник даёт сложный спектр, состоящий из нескольких характерных областей.

- **Пик полного поглощения (Фотопик)** — наиболее важный элемент спектра. Возникает, когда вся энергия  $\gamma$ -кванта поглощается в кристалле (преимущественно за счёт фотоэффекта). Положение этого пика на энергетической шкале соответствует энергии  $\gamma$ -излучения источника. Именно по фотопикам идентифицируют изотопы.
- **Комптоновское плато и комптоновский край** образуются, если  $\gamma$ -квант испытывает комптоновское рассеяние и покидает детектор, оставив ему лишь часть энергии. Множество таких событий формирует непрерывный участок спектра — комптоновское плато. Его верхняя граница, **комптоновский край**, соответствует максимальной энергии, передаваемой электрону при рассеянии на  $180^\circ$ . Энергия комптоновского края  $E_{\text{кр}}$  связана с энергией  $\gamma$ -кванта  $E_\gamma$  соотношением:

$$E_{\text{кр}} = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{m_e c^2}{2E_\gamma}},$$

где  $m_e c^2 = 511 \text{ кэВ}$  — энергия покоя электрона.

- **Пик обратного рассеяния** возникает за счёт  $\gamma$ -квантов, рассеянных на материалах окружения (например, защите) и затем попавших в детектор. Энергия таких квантов невелика ( $\sim 200 \text{ кэВ}$ ).
- **Пики характеристического рентгеновского излучения** появляются при выбивании электронов с внутренних оболочек атомов материалов установки.

## Энергетическая калибровка и понятие канала

Электронный тракт спектрометра включает *аналого-цифровой преобразователь (АЦП)*, который измеряет амплитуду каждого импульса и присваивает ей целое число — **номер канала**.

- **Номер канала** — это цифровой аналог амплитуды импульса, а следовательно, и энергии. Меньшей амплитуде (низкой энергии) соответствует меньший номер канала, большей амплитуде (высокой энергии) — больший номер канала.
- Для перевода номеров каналов в абсолютные единицы энергии (МэВ) проводят **энергетическую калибровку**. Регистрируют спектры источников с известными энергиями  $\gamma$ -излучения (например,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $E_\gamma = 0.662 \text{ МэВ}$ ). Строится график зависимости номера канала  $N$  от энергии  $E$ , которая обычно линейна:

$$N = a \cdot E + b.$$

Коэффициенты  $a$  и  $b$  определяют из графика, что позволяет в дальнейшем вычислять энергию любого пика по его номеру канала.

## Энергетическое разрешение

Идеальный моноэнергетический источник давал бы на спектре бесконечно узкую линию. В реальности пик всегда размыт. Это размытие характеризуется **энергетическим разрешением**  $R$ .

Разрешение определяется как отношение ширины пика на половине его высоты  $\Delta E$  к энергии пика  $E$ :

$$R = \frac{\Delta E}{E}.$$

Разрешение показывает, насколько близкие по энергии  $\gamma$ -линии детектор может разделить. Чем меньше  $R$ , тем лучше разрешение. Оно обусловлено статистическим характером всех этапов преобразования энергии (флуктуации числа фотонов, фотоэлектронов и др.). Для сцинтиляционных детекторов на NaI(Tl) разрешение составляет несколько процентов (например, 7–8% для энергии 662 кэВ).

## Принципиальная схема установки

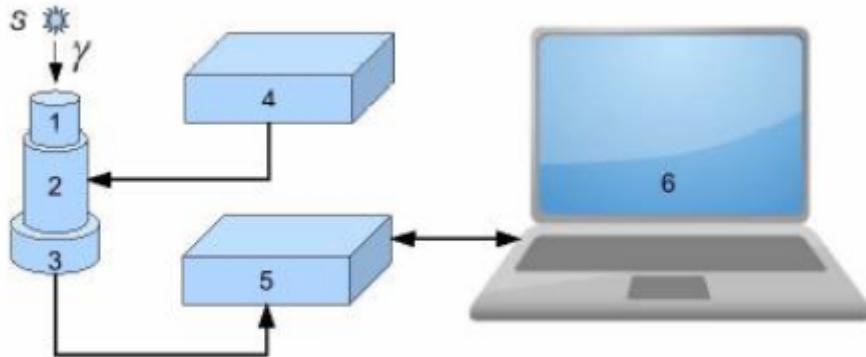


Рис. 1: 1 - сцинтилятор, 2 - ФЭУ, 3 - предусилитель импульсов, 4 - блок питания для ФЭУ, 5 - АЦП, 6 - компьютер.

## Ход работы

Образец	$N_i$	$\Delta N_i$	$E_i$ , кэВ	$\Delta E_i$ , кэВ	$R_i$
---------	-------	--------------	-------------	--------------------	-------

Таблица 1: Пики прямого поглощения