

Измерение коэффициента ослабления потока γ -лучей в веществе и определение их энергии (5.5.1)

Манро Эйден B01-3036

Цель работы: с помощью сцинтилляционного счетчика измерить линейные коэффициенты ослабления потока γ -лучей в свинце, железе и алюминии; по их величине определить энергию γ -квантов.

Теоретическая часть

Гамма-излучение относится к виду электромагнитного излучения с очень высокой энергией квантов (от десятков кэВ до нескольких МэВ). Оно возникает при переходах атомных ядер из возбужденного состояния в основное. В отличие от заряженных частиц, гамма-кванты не имеют ни массы покоя, ни электрического заряда, благодаря чему они способны проникать через значительные толщи вещества. При этом интенсивность излучения уменьшается за счёт взаимодействия фотонов с атомами вещества.

Закон ослабления

Эксперимент показывает, что уменьшение интенсивности гамма-излучения при прохождении через вещество подчиняется экспоненциальному закону:

$$I = I_0 e^{-\mu l}, \quad (1)$$

где I_0 — интенсивность излучения до поглотителя, I — интенсивность после прохождения слоя толщиной l , μ — линейный коэффициент ослабления. Для разных веществ удобнее использовать массовый коэффициент ослабления μ' , связанный с μ через плотность вещества ρ :

$$\mu' = \frac{\mu}{\rho}. \quad (2)$$

Механизмы взаимодействия γ -квантов

Основные процессы, ответственные за ослабление потока гамма-квантов:

1. **Фотоэффект** — поглощение фотона атомом с выбиванием электрона из оболочки. Вероятность велика при малых энергиях и для тяжёлых элементов.
2. **Комптоновское рассеяние** — упругое столкновение фотона с электроном, при котором часть энергии передаётся электрону, а фотон рассеивается с меньшей энергией. Это основной механизм в среднем диапазоне энергий.

3. **Рождение пар** — при энергии $E_\gamma > 1.02 \text{ МэВ}$ возможна конверсия фотона в пару электрон–позитрон в поле ядра. Вероятность процесса растёт с увеличением атомного номера поглотителя.

Суммарный коэффициент ослабления складывается из вкладов всех трёх механизмов:

$$\mu = \mu_\phi + \mu_\kappa + \mu_\pi. \quad (3)$$

Определение энергии γ -квантов

Для экспериментального определения коэффициента ослабления измеряют число квантов N_0 , падающих на образец, и число N , прошедших через него. Измеренный коэффициент вычисляется по формуле:

$$\mu = \frac{1}{l} \ln \frac{N_0}{N}. \quad (4)$$

Так как значение μ зависит от энергии гамма-квантов и типа вещества, сравнение результатов измерений с табличными данными для различных поглотителей позволяет оценить энергию излучения исследуемого источника.

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка

Для измерения коэффициента ослабления гамма-излучения используется сцинтилляционный счётчик. Источник γ -квантов устанавливается перед набором поглотителей различной толщины. За ними располагается детектор, регистрирующий прошедшее излучение. Таким образом можно определить, как изменяется интенсивность гамма-лучей при прохождении через вещество, и по этим данным вычислить коэффициент ослабления.

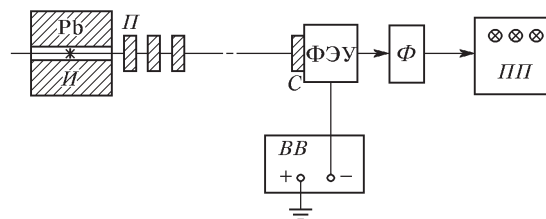


Рис. 1: Принципиальная схема: И - источник γ -лучей, Рб - свинцовый контейнер с коллиматорным каналом, П - набор поглотителей, С - сцинтиллятор, Ф - формирователь-выпрямитель.

Сцинтилляционный счётчик

Принцип действия сцинтилляционного счётчика основан на том, что при поглощении гамма-кванта в кристалле-сцинтилляторе возникают высокоэнергетические электроны. Они передают свою энергию атомам кристалла, в результате чего появляются короткие вспышки света — сцинтилляции. Яркость этих вспышек пропорциональна энергии, поглощённой в кристалле.

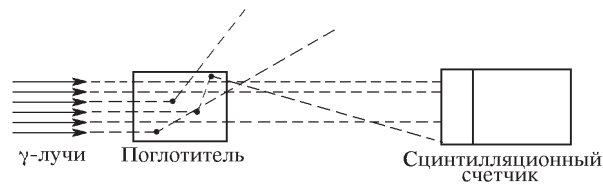


Рис. 2: Схема рассеяния γ -квантов в поглотителе.

На практике чаще всего используют неорганические сцинтилляторы, например кристалл NaI(Tl) . Для регистрации света сцинтиллятор оптически связан с фотоумножителем (ФЭУ). Фотоны сцинтилляции выбивают электроны из фотокатода ФЭУ, которые затем последовательно усиливаются системой динодов. В результате на выходе фотоумножителя возникает электрический импульс, амплитуда которого соответствует энергии зарегистрированного γ -кванта.

Регистрация сигналов

Электрические импульсы от фотоумножителя подаются на усилитель и счётную электронику. Так фиксируется количество зарегистрированных γ -квантов за заданное время. Изменяя толщину поглотителя между источником и детектором, можно исследовать закон ослабления потока и определить линейный коэффициент ослабления для разных веществ.

Ход работы

Таблица 1: Результаты измерений.

Алюминий	Железо	Свинец
----------	--------	--------