

# Лабораторная работа №3

## 5.1 Измерение коэффициента ослабления потока $\gamma$ -лучей в веществе и определение их энергии

Петрушенко Валерия, 5111 гр.

Выполнено 03.10.2017

С помощью сцинтиляционного счётчика измеряются линейные коэффициенты ослабления потока  $\gamma$ -лучей в свинце, железе и алюминии; по их величине определяется энергия  $\gamma$ -квантов.

### 1 Теория

Гамма-лучи возникают при переходе возбуждённых ядер в более низкое энергетическое состояние. Энергия  $\gamma$ -квантов обычно порядка  $10 \div 1000$  кэВ. Заряд и масса  $\gamma$ -кванта равны нулю. Проходя через вещество, пучок  $\gamma$ -квантов ослабляется по закону:

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

или

$$I = I_0 e^{-\mu' m_1}, \quad (2)$$

где  $I, I_0$  - интенсивности прошедшего и падающего излучений,  $l$  - длина пути, пройденного пучком  $\gamma$ -лучей,  $m_1$  - масса пройденного вещества на единицу площади,  $\mu$  и  $\mu'$  - константы, зависящие от среды ( $[\mu] = \text{см}^{-1}$ ,  $[\mu'] = \text{см}^2/\text{г}$ ).  $\mu'$ , в отличие от  $\mu$ , не зависит от плотности среды. Ослабление потока  $\gamma$ -лучей в веществе связано с тремя эффектами: фотоэлектрическим поглощением, комптоновским рассеянием и генерацией электрон-позитронных пар.

#### Фотоэлектрическое поглощение

При столкновении  $\gamma$ -квантов с электронами внутренних атомных оболочек может происходить поглощение квантов. Свободные (наружные) электроны не могут поглощать кванты. Вероятность  $dP_\Phi$  фотоэлектрического поглощения  $\gamma$ -квантов:

$$dP_\Phi = \sigma_\Phi n_1 dl, \quad (3)$$

где  $dl$  - длина пути,  $n_1$  - плотность внутренних электронов,  $\sigma_\phi$  - поперечное сечение фотоэлектрического поглощения.

$$\mu_\phi = \sigma_\phi n_1, \quad (4)$$

$\mu_\phi$  - коэффициент поглощения для фотоэффекта  $\mu$  из уравнения (1).

Фотоэффект является доминирующим механизмом поглощения  $\gamma$ -квантов при очень высоких энергиях. Его вероятность зависит от энергии лучей и заряда ядер.

Рис. 1: Зависимость сечения фотоэффекта от энергии  $\gamma$ -квантов.

### Комптоновское рассеяние

Комптоновское рассеяние - упругое столкновение  $\gamma$ -кванта с электроном. Оно может происходить на свободных/слабосвязанных электронах. Эффект Комптона становится существенным, когда энергия квантов становится много больше энергии связи электронов в атоме. В этом случае сечение комптон-эффекта:

$$\sigma_K = \pi r^2 \frac{mc^2}{\hbar\omega} \left( \ln \frac{2\hbar\omega}{mc^2} + \frac{1}{2} \right), \quad (5)$$

где  $r \simeq 2,8 \cdot 10^{-13}$  см - классический радиус электрона,  $m$  - его масса.

Эффект комптона приводит не к поглощению, а к рассеянию  $\gamma$ -квантов и уменьшению их энергии.

### Образование пар

При энергиях  $\gamma$ -лучей больше 1,02 МэВ становится возможным поглощение лучей, связанное с образованием электрон-позитронных пар. Оно возникает в электрическом поле ядер. Вероятность этого процесса приблизительно пропорциональна  $Z^2$ .

### Полный коэффициент ослабления потока $\gamma$ -лучей

Полный коэффициент ослабления потока лучей равен сумме коэффициентов для трёх рассмотренных процессов.

Полный коэффициент ослабления:

$$\mu = \frac{1}{l} \ln \frac{N_0}{N} \quad (6)$$

В работе определяются толщина образца  $l$ , число падающих частиц  $N_0$  и число прошедших частиц  $N$ .

## 2 Экспериментальная установка

Рис. 2: Полные коэффициенты ослабления потока  $\gamma$ -лучей в алюминии, железе и свинце.

Рис. 3: Блок-схема установки, используемой для измерения коэффициентов ослабления потока  $\gamma$ -лучей; Рb - свинцовый контейнер с коллиматорным каналом; П - набор поглотителей, ПП - пересчётный прибор; С - сцинтиллятор - кристалл  $NaI(Tl)$ ; ВВ - высоковольтный выпрямитель, Ф - формирователь-выпрямитель; И - источник  $\gamma$ -лучей

Рис. 4: Схема рассеяния  $\gamma$ -квантов в поглотителе

### 3 Ход работы

1. Исследовали поглощение  $\gamma$ -лучей в свинце, железе и алюминии. Для этого измерили число частиц, попадающих в счётчик за фиксированное время при различной толщине образцов (точность измерения 0,3%):

Таблица 1: Результаты измерений для свинца:

$l$ , мм	4	8	12	16	20
$N$ , шт.	136746	102354	105008	104325	97589
$t_{\Sigma}$ , с	30	40	70	120	190

Таблица 2: Результаты измерений для железа:

$l$ , мм	9	18	27	36	45
$N$ , шт.	136393	100156	112720	103385	98267
$t_{\Sigma}$ , с	30	40	80	130	220

Таблица 3: Результаты измерений для алюминия:

$l$ , мм	20	40	60	80	100
$N$ , шт.	105329	102030	110819	100716	105235
$t_{\Sigma}$ , с	20	30	50	70	110

Абсолютная погрешность измерения толщины образца  $\varepsilon_l = 1$  мм.

2. Измерили число частиц, попадающих в счётчик за фиксированное время в отсутствие поглотителя:  $N_0 = 166505$  частиц за 20 секунд (точность измерения 0,3%). Чтобы учесть фон, обусловленный шумом ФЭУ и посторонними частицами, измерили количество частиц, попадающих на счётчик за фиксированное время при закрытии коллиматора свинцовой заглушкой:  $N_{\text{фон.}} = 9986$  частиц за 400 секунд (точность измерения 0,3%). Фон вычитается из всех результатов измерений.

## 4 Обработка данных

1. Построили графики зависимости  $\ln(N - N_{\text{фон.}}) = f(l)$  для всех исследуемых веществ:

Рис. 5: График зависимости логарифма числа прошедших частиц от толщины образца для свинца

Рис. 6: График зависимости логарифма числа прошедших частиц от толщины образца для железа

Рис. 7: График зависимости логарифма числа прошедших частиц от толщины образца для алюминия

2. С помощью графиков определили линейные коэффициенты ослабления для всех трёх веществ:

$$\mu_{Pb} \approx 1,388 \text{ см}^{-1} \quad (7)$$

$$\mu_{Fe} \approx 0,657 \text{ см}^{-1} \quad (8)$$

$$\mu_{Al} \approx 0,216 \text{ см}^{-1} \quad (9)$$

3. По линейным коэффициентам ослабления нашли коэффициенты  $\mu'$  по формулам (1) и (2):

$$\text{Из (1) и (2)} \Rightarrow \mu l = \mu' m_1 \quad (10)$$

Отсюда:

$$\mu'_{Pb} \approx 0,122 \frac{\text{см}^2}{\text{г}} \quad (11)$$

$$\mu'_{Fe} \approx 0,084 \frac{\text{см}^2}{\text{г}} \quad (12)$$

$$\mu'_{Al} \approx 0,079 \frac{\text{см}^2}{\text{г}} \quad (13)$$

4. Используя найденные коэффициенты ослабления и табличные данные, определили среднюю энергию  $\gamma$ -лучей, испускаемых источником:

$$E_\gamma \sim 0,5 \div 0,6 \text{ МэВ} \quad (14)$$

5. Рассчитали погрешности измерений:

- (а) Погрешность построенных графиков, рассчитанная методом наименьших квадратов ( $y = ax + b$ ):

$$\frac{da_1}{a_1} \approx 0,005 = 0,5\%$$

$$\frac{da_2}{a_2} \approx 0,004 = 0,4\%$$

$$\frac{da_3}{a_3} \approx 0,003 = 0,3\%$$

(b) С учётом погрешностей:

$$\mu_{Pb} = 1,388 \pm 0,007 \text{ см}^{-1}$$

$$\mu_{Fe} = 0,657 \pm 0,003 \text{ см}^{-1}$$

$$\mu_{Al} = 0,216 \pm 0,001 \text{ см}^{-1}$$

## 5 Вывод

Исследовали поглощение  $\gamma$ -лучей в свинце, алюминии и железе. Получили линейные зависимости логарифма прошедших частиц от толщины образцов и по ним определили линейные коэффициенты ослабления  $\mu$  и  $\mu'$ , а также среднюю энергию  $\gamma$ -лучей, испускаемых источником. Полученное значение составило  $E_\gamma \sim 0,5 \div 0,6$  МэВ. Погрешности измерений не превысили 1%.