

Измерение коэффициента ослабления потока γ -лучей в веществе и определение их энергий

Маслов Артём, Дедков Денис
группа Б01-108а
09.10.2023

Цель и задачи работы:

1. С помощью сцинтиляционного счётчика измерить линейные коэффициенты ослабления потока γ -лучей в свинце, железе, алюминии.
2. По линейным коэффициентам ослабления потока γ -лучей определить энергию γ -квантов.

Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1:

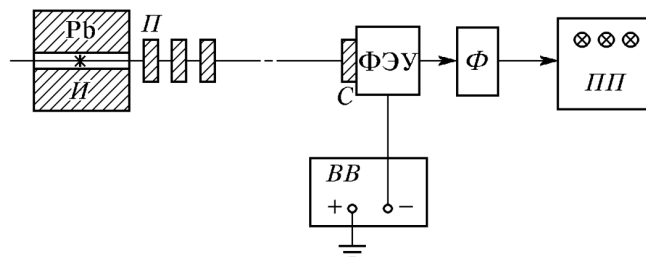


Рис. 1: Схема экспериментальной установки.

Источник γ -лучей И окружён свинцовой оболочкой. Коллиматор выделяет узкий параллельный пучок γ -квантов, который проходит через набор поглотителей П, и регистрируется сцинтиляционным счётчиком С (кристалл $NaI(Tl)$). Сигнал со счётчика усиливается каскадом фотоэлектронного умножителя и формирователя-выпрямителя Ф, и регистрируется пересчётным прибором ПП. Высоковольтный выпрямитель ВВ обеспечивает питание сцинтиляционного счётчика.

Оборудование и приборы

Экспериментальная установка №5.16.

1. Набор поглотителей из алюминия, свинца и железа.
2. Блок детектирования сцинтиляционный РАДЭК БДЕГ-40. Заводской номер №2912. Инвентарный номер №4029.
3. Высоковольтный источник питания Scaler 1403. Инвентарный номер №410134125706.
4. Источник гамма-излучения в свинцовой оболочке.
5. Штангенциркуль. Класс точности 2. Снятие данных со шкалы проводилось с точностью $\sigma_1 = 0.2$ мм. Материалы имели царапины, возможно их форма была не идеально цилиндрической, устанавливались в держатель для поглотителей, возможно не совсем соосно, поэтому погрешность измерения эффективной толщины одного поглотителя $\sigma_{\text{штангенциркуль}} = 0.5$ мм.

Первичные экспериментальные данные

Первичные экспериментальные данные приведены в таблицах 1-4. Погрешность измерения L_i одинакова и равна $\sigma_{\text{штангенциркуль}} = 0.5$ мм. Время измерялось цифровым счётчиком импульсов, погрешность измерения $\sigma_T \sim 1/f \ll 1$ сек, где f – тактовая частота микроконтроллера счётчика, поэтому при дальнейших оценках

погрешностью измерения времени пренебрегаем. Считаем, что количество распавшихся частиц подчиняются распределению Пуассона и для количества импульсов считаем, что есть только случайная погрешность $\sigma = \sqrt{N}$.

Условные обозначения: N – число частиц попадающих на счётчик за время T . L – суммарная толщина поглотителя, L_i – толщина отдельных частей поглотителя.

Таблица 1. Радиационный фон.

| N | σ_N | T , с |
|------|------------|---------|
| 2122 | 46 | 60 |
| 3996 | 63 | 120 |
| 5977 | 77 | 180 |

Таблица 2. Поглотитель из свинца.

| L , мм | σ_L , мм | T , с | N | σ_N | L_i , мм |
|----------|-----------------|---------|-------|------------|------------|
| 0.0 | 0.5 | 10 | 80508 | 284 | 0.0 |
| 5.0 | 0.7 | 20 | 85154 | 292 | 5.0 |
| 10.0 | 0.9 | 30 | 71954 | 268 | 5.0 |
| 14.9 | 1.0 | 40 | 54403 | 233 | 4.9 |
| 19.7 | 1.1 | 60 | 48184 | 220 | 4.8 |
| 24.7 | 1.2 | 60 | 28687 | 169 | 5.0 |
| 29.7 | 1.3 | 90 | 26641 | 163 | 5.0 |
| 34.5 | 1.4 | 100 | 18783 | 137 | 4.8 |

Таблица 3. Поглотитель из железа.

| L , мм | σ_L , мм | T , с | N | σ_N | L_i , мм |
|----------|-----------------|---------|-------|------------|------------|
| 0.0 | 0.5 | 10 | 80503 | 284 | 0.0 |
| 10.1 | 0.7 | 20 | 89487 | 299 | 10.1 |
| 20.3 | 0.9 | 30 | 75156 | 274 | 10.2 |
| 30.4 | 1.0 | 40 | 57190 | 239 | 10.1 |
| 40.5 | 1.1 | 60 | 49202 | 222 | 10.1 |
| 50.6 | 1.2 | 60 | 28940 | 170 | 10.1 |
| 60.7 | 1.3 | 70 | 20288 | 142 | 10.1 |
| 70.9 | 1.4 | 90 | 16637 | 129 | 10.2 |

Таблица 4. Поглотитель из алюминия.

| L , мм | σ_L , мм | T , с | N | σ_N | L_i , мм |
|----------|-----------------|---------|--------|------------|------------|
| 0.0 | 0.5 | 10 | 80609 | 284 | 0.0 |
| 20.1 | 0.7 | 20 | 106921 | 327 | 20.3 |
| 40.2 | 0.9 | 30 | 105830 | 325 | 20.1 |
| 60.3 | 1.0 | 40 | 93622 | 306 | 20.1 |
| 80.3 | 1.1 | 50 | 77771 | 279 | 20.0 |
| 100.4 | 1.2 | 60 | 62404 | 250 | 20.1 |
| 120.5 | 1.3 | 70 | 49694 | 223 | 20.1 |
| 140.6 | 1.4 | 90 | 44318 | 211 | 20.1 |

Обработка экспериментальных данных

Уровень радиационного фона определим как:

$$n_{\text{шум}} = \left\langle \frac{N}{T} \right\rangle$$

где $\langle x \rangle$ – среднее значение x .

$$n_{\text{шум}} = 34 \pm 1, \quad \varepsilon = 3.6\%$$

Среднеквадратичное отклонение $n_{\text{шум}}$ определялось по формуле:

$$\sigma_{n_{\text{шум}}} = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (n_i - \langle n \rangle)^2}$$

Построим график зависимости количества зарегистрированных в секунду γ -квантов n от толщины поглощающего слоя l в обычном и логарифмическом масштабе (рис. 2, 3).

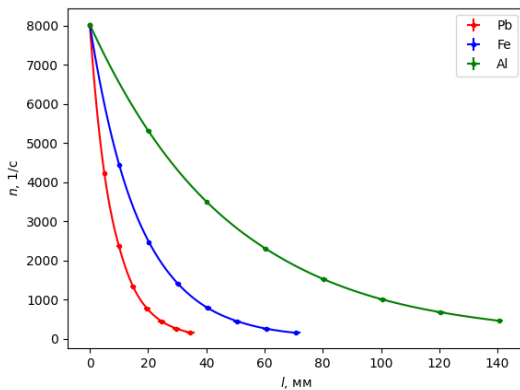


Рис. 2: График зависимости $n(l)$.

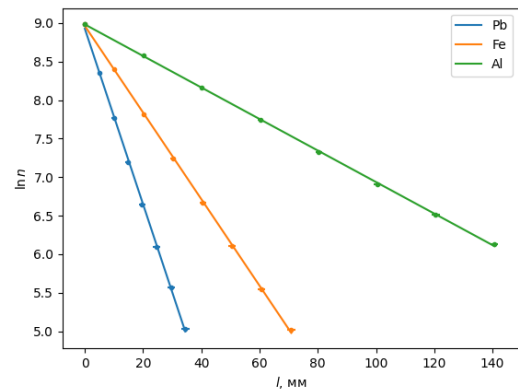


Рис. 3: График зависимости $\ln n(l)$.

Погрешность n оценивалась по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_n &= \sqrt{\sigma_{N/t}^2 + \sigma_{n_{\text{шум}}}^2} \\ \sigma_{N/t} &= \frac{N}{t} \cdot \varepsilon_N = \frac{N}{t} \cdot \frac{\sigma_N}{N} \\ \sigma_{\ln n} &= \frac{1}{n} \cdot \sigma_n\end{aligned}$$

Кресты погрешности малы и на графиках не видны.

С помощью метода наименьших квадратов проведём на графике в логарифмическом масштабе прямые. Коэффициенты наклона прямых:

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Pb}} &= 1.14 \pm 0.04 \text{ см}^{-1} \\ \mu_{\text{Fe}} &= 0.56 \pm 0.01 \text{ см}^{-1} \\ \mu_{\text{Al}} &= 0.20 \pm 0.01 \text{ см}^{-1}\end{aligned}$$

Определим линейные коэффициенты поглощения, приведённые к плотности вещества:

$$\begin{aligned}\mu' &= \frac{\mu}{\rho} \\ \mu'_{\text{Pb}} &= 0.085 \pm 0.003 \frac{\text{см}^2}{\text{г}} \\ \mu'_{\text{Fe}} &= 0.071 \pm 0.001 \frac{\text{см}^2}{\text{г}} \\ \mu'_{\text{Al}} &= 0.076 \pm 0.001 \frac{\text{см}^2}{\text{г}}\end{aligned}$$

Были взяты следующие значения плотности:

$$\begin{aligned}\rho_{\text{Pb}} &= 13.35 \text{ г/см}^3 \\ \rho_{\text{Fe}} &= 7.87 \text{ г/см}^3 \\ \rho_{\text{Al}} &= 2.70 \text{ г/см}^3\end{aligned}$$

Обсуждение результатов и выводы

В работе были измерены линейные коэффициенты поглощения Pb , Fe , Al :

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Pb}} &= 1.14 \pm 0.04 \text{ см}^{-1} \\ \mu_{\text{Fe}} &= 0.56 \pm 0.01 \text{ см}^{-1} \\ \mu_{\text{Al}} &= 0.20 \pm 0.01 \text{ см}^{-1}\end{aligned}$$

Табличные значения линейных коэффициентов поглощения μ в см^{-1} :

| E_γ , МэВ | Al | Fe | Pb |
|------------------|-------|-------|------|
| 0.6 | 0.210 | 0.606 | 1.42 |
| 0.7 | 0.196 | 0.563 | 1.17 |
| 0.8 | 0.184 | 0.528 | 1.01 |

По табличным видно, что энергия измеряемых в работе гамма-квантов равна примерно $0,7 \pm 0,1$ МэВ.