

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа № 5.5.1
**Измерение коэффициента ослабления потока γ -лучей в
веществе и определение их энергии.**

Мельникова Юлия
Калинин Даниил
Группа Б01-108а

Долгопрудный, 2023 г.

Аннотация:

1. С помощью сцинтилляционного 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 ??:

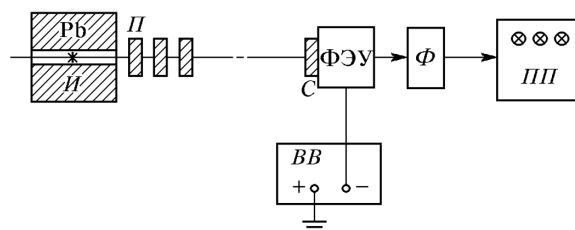


Рис. 1: Схема экспериментальной установки.

Источник γ -лучей И окружён свинцовой оболочкой. Коллиматор выделяет узкий параллельный пучок γ -квантов, который проходит через набор поглотителей П, и регистрируется сцинтилляционным 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 сцинтилляционного счётчика.

Оборудование

Экспериментальная установка №5.16.

1. Набор поглотителей из алюминия, свинца и железа. Инвентарный номер №420139237208.
2. Блок детектирования сцинтилляционный РАДЭК БДЕГ-40. Заводской номер №2811. Инвентарный номер №4024.
3. Высоковольтный источник питания Scaler 1403. Инвентарный номер №410134125708.
4. Источник гамма-излучения в свинцовой оболочке.
5. Штангенциркуль. Погрешность измерения равна половине цены деления $\sigma_{шт} = 0.05$ мм.

Экспериментальные данные

t, c	n	σ_n
120	3480	59
120	3444	59
120	3435	59
120	3481	59

Таблица 1: Радиационный фон

t, c	n_0	σ_n
60	520119	721
60	516950	719
60	516531	712
60	515567	718
60	516086	718

Таблица 2: Открытый источник

t, c	$L, мм$	$\sigma_L, мм$	n	σ_n
60	20.2	0.1	338859	582
60	40.4	0.1	173829	417
60	60.4	0.1	145886	382
60	80.2	0.1	97746	313
60	100.4	0.1	65171	255

Таблица 3: Поглотитель из алюминия

t, c	$L, мм$	$\sigma_L, мм$	n	σ_n
60	10.6	0.1	292907	541
60	20.8	0.1	160565	400
60	31.0	0.1	90941	302
60	41.2	0.1	50856	226
60	51.6	0.1	28198	168

Таблица 4: Поглотитель из железа

t, c	$L, мм$	$\sigma_L, мм$	n	σ_n
60	4.5	0.1	295683	544
60	9.2	0.1	167728	410
60	14.1	0.1	96834	311
60	19.0	0.1	54374	233
60	23.9	0.1	31137	176

Таблица 5: Поглотитель из свинца

Обработка результатов

В условиях нашего эксперимента необходимо учитывать фон, поэтому

$$N_0 = n_0 - n_{\text{фон}}, \quad N = n - n_{\text{фон}}.$$

Относительная погрешность измерения фона $\varepsilon_{\text{фон}} = 1.107\%$, была определена через коэффициент Стьюдента при доверительном интервале 0.95, умноженный на среднеквадратичную ошибку: $\varepsilon_{\text{фон}} = t_{0.95} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}$

Из проведённой серии измерений взято $N_0 = 517050$, $N_{\text{фон}} = 3460$

Для определения коэффициента ослабления μ в различных веществах необходимо построить графики зависимостей $\ln N_0/N$ от l . Погрешности определялись следующим образом:

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

Построим график зависимости количества зарегистрированных в секунду γ -квантов n от толщины поглощающего слоя l в обычном и логарифмическом масштабе (рис. 2, 3). Кресты погрешности малы и на первом графике не видны.

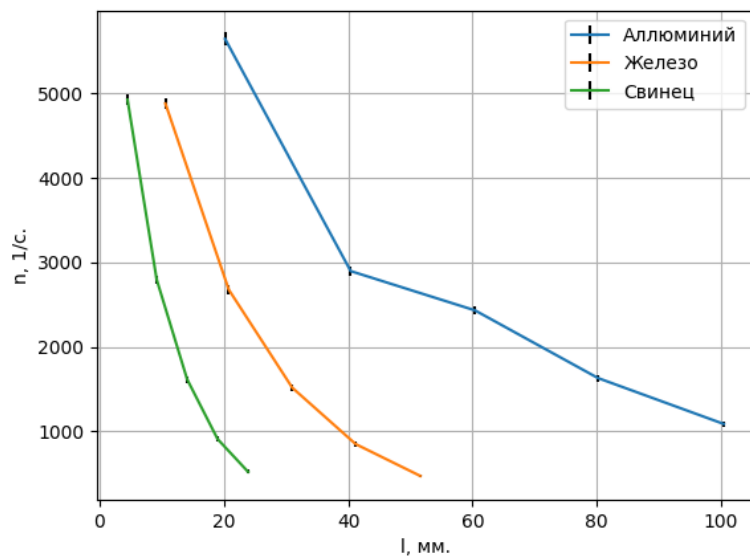


Рис. 2: График зависимости $n(l)$.

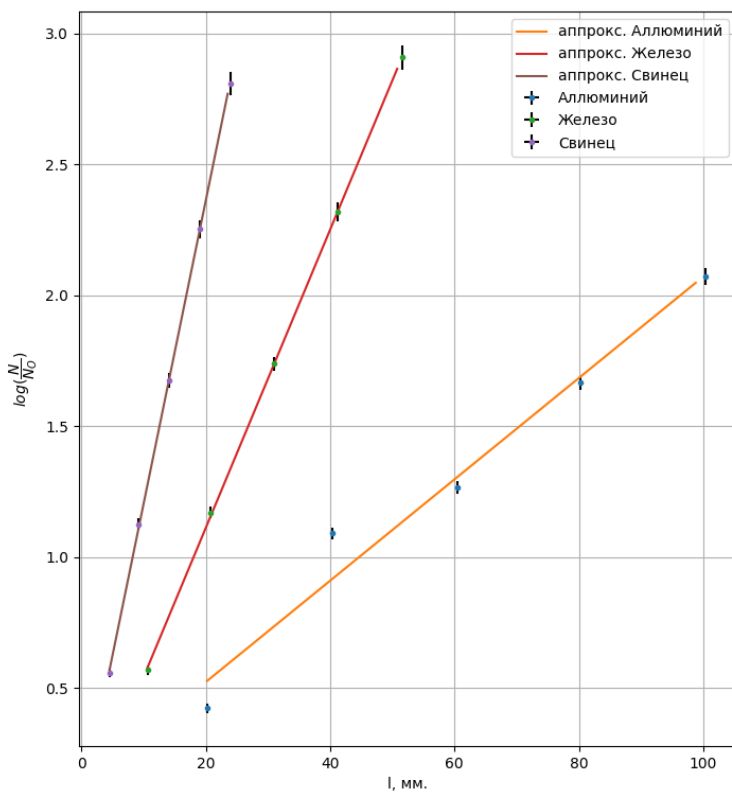


Рис. 3: График зависимости $\ln n(l)$.

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

$$\begin{aligned}\mu_{Pb} &= 1.16 \pm 0.01 \text{ см}^{-1} \\ \mu_{Fe} &= 0.57 \pm 0.01 \text{ см}^{-1} \\ \mu_{Al} &= 0.19 \pm 0.02 \text{ см}^{-1}\end{aligned}$$

Определим линейные коэффициенты поглощения, приведённые к плотности вещества:

$$\mu' = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\begin{aligned}\mu'_P b &= 0.086 \pm 0.004 \text{ см}^2/\text{г} \\ \mu'_F e &= 0.072 \pm 0.001 \text{ см}^2/\text{г} \\ \mu'_A l &= 0.071 \pm 0.001 \text{ см}^2/\text{г}\end{aligned}$$

Были взяты следующие значения плотности:

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

Обсуждение результатов и выводы

В настоящей лабораторной работе с помощью сцинтилляционного счетчика были измерены линейные коэффициенты ослабления μ потока γ -лучей в свинце, железе и алюминии.

Табличные значения линейных коэффициентов поглощения:

E_γ , МэВ	Pb	Fe	Al
0,6	1,349	0,605	0,210
0,8	0,982	0,526	0,184

Таблица 6: Коэффициенты поглощения γ -лучей в различных веществах (в см^{-1}).

Видно, что полученные нами значения коэффициента ослабления потока μ для каждого вещества лежат в диапазоне энергий от 0,6 МэВ до 0,8 МэВ, поэтому средняя энергия излучения есть $E_\gamma = 0,7$ МэВ.

Заметим, что наклоны прямых на рис. 3 по мере роста заряда ядра увеличиваются. Это связано с природой ослабления γ -лучей при их прохождении в веществе: фотоэлектрическое поглощение, комптоновское рассеяние, генерация электрон-позитронных пар. Так как $E_\gamma = 0,7$ МэВ $< 2mc^2 = 1,02$ МэВ, то в нашем случае фотон не может превратиться в электрон-позитронную пару. Комптоновское рассеяние происходит на свободных или слабосвязанных электронах, поэтому, очевидно, сечение не зависит от заряда ядра, откуда $\mu_k \propto Z$. Фотоэффект же в отличие от Комптоновского рассеяния происходит на атоме, и, естественно, что в этом случае сечение уже будет зависеть от заряда ядра. Вообще говоря, строгий квантово-механический расчет приводит к результату $\sigma_\phi \propto Z^5$. Таким образом, коэффициент ослабления γ -лучей должен расти при увеличении заряда ядра.