

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.5.1

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

Маршрут VII

19 сентября 2019 г.
26 сентября 2019 г.

Работу выполнил
Ринат Валиев, 715 гр.

Под руководством
А.И. Миланича

Постановка эксперимента

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

Оборудование: источник γ -излучения, сцинтилляционный счетчик, секундомер.

Теория

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

$$I = I_0 e^{-\mu l} \quad \Leftrightarrow \quad I = I_0 e^{-\mu' m_1}, \quad (1)$$

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

Фотоэлектрическое поглощение

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

$$dP_{\text{ф}} = \sigma_{\text{ф}} n_1 dl,$$

где dl - длина пути, n_1 - плотность внутренних электронов, $\sigma_{\text{ф}}$ - поперечное сечение фотоэлектрического поглощения.

$$\mu_{\text{ф}} = \sigma_{\text{ф}} n_1,$$

$\mu_{\text{ф}}$ - коэффициент поглощения для фотоэффекта μ из уравнения (1).

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

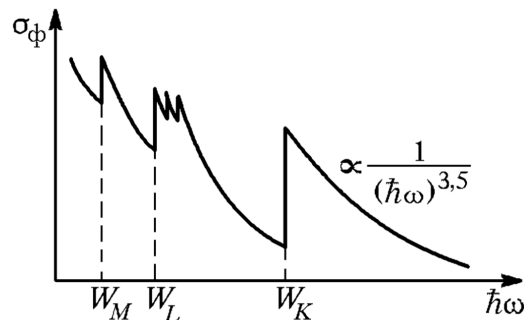


Рис. 1: Зависимость сечения фотоэффекта от энергии γ -квантов.

Комптоновское рассеяние

Комптоновское рассеяние – упругое столкновение γ -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:

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

где $r \simeq 2.8 \cdot 10^{-13}$ см – классический радиус электрона, m – его масса.

Эффект Комптона приводит не к поглощению, а к рассеянию γ -квантов и уменьшению их энергии.

Образование пар

При энергиях γ -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 γ -лучей

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

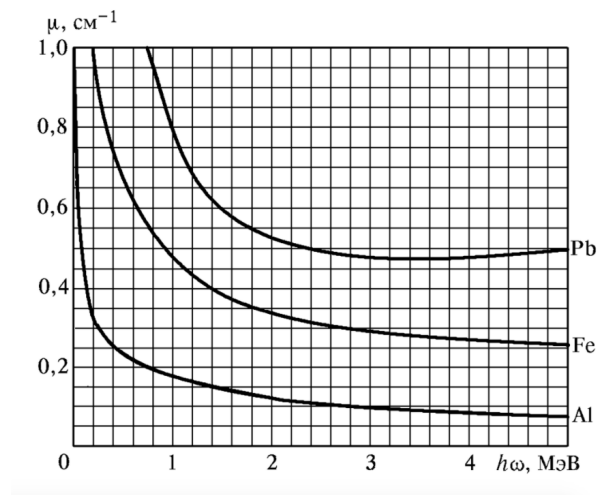


Рис. 2: Полные коэффициенты ослабления потока γ -лучей в алюминии, железе и свинце.

Полный коэффициент ослабления:

$$\mu = \frac{1}{l} \ln \frac{N_0}{N}$$

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

Экспериментальная установка

Схема установки, используемой в работе, показана на рисунке 3. Свинцовый коллиматор выделяет узкий почти параллельный пучок γ -квантов, проходящий через набор поглотителей. Сигналы от счетчика усиливаются и регистрируются пересчетным прибором. Высоковольтный выпрямитель обеспечивает питание сцинтиляционного счетчика.

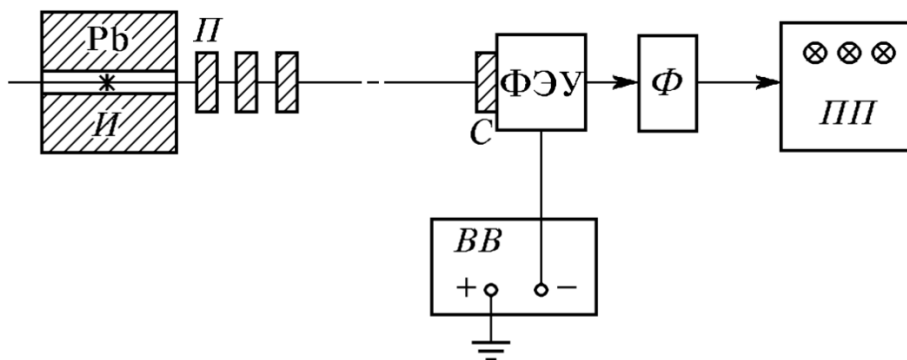


Рис. 3: Блок-схема установки, используемой для измерения коэффициентов ослабления потока γ -лучей; Рб — свинцовый контейнер с коллиматорным каналом; П — набор поглотителей, ПП — пересчётный прибор; С — сцинтилятор (кристалл NaI(Tl)); ВВ — высоковольтный выпрямитель, Ф — формирователь-выпрямитель; И —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

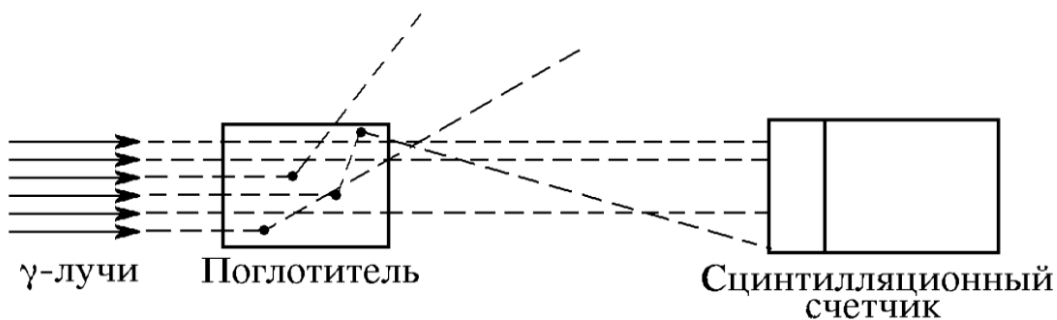


Рис. 4: Схема рассеяния γ -квантов в поглотителе

Выполнение работы

1. Посмотрим на излучение при открытом и закрытом источниках в течение 5 с. Точность измерений счетчиком везде примем равной 0.3%.

$N(\text{открыт})$	39000	38000	38000
$N(\text{закрыт})$	95	85	95

Таблица 1: Время измерения $t = 5$ с.

2. Получим зависимость поглощения γ -лучей в алюминии, железе и свинце. Измерения проведем за время $t = 20$ с. Для каждого случая l – длина препятствия.

l , см	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0
N , шт	149727	97197	65068	43321	28403	18834	12633	8774

Таблица 2: Алюминий. Погрешность измерения $l : \varepsilon = 0.8\%$.

l , см	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
N , шт	148843	87834	47679	26980	15891	8877
l , см	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0
N , шт	5438	3238	2008	1384	987	710

Таблица 3: Железо. Погрешность измерения $l : \varepsilon = 0.9\%$.

l , см	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
N , шт	152572	84759	50209	28060	16262	9812
l , см	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
N , шт	6023	3687	2370	1613	1175	977

Таблица 4: Свинец. Погрешность измерения $l : \varepsilon = 1.3\%$.

3. Посмотрим на излучение рядом с источником в течение 10 с, а также на показания счетчика при закрытом источнике в зависимости от времени.

$N(\text{рядом})$	1027491	986199	973175
t , с	100	200	300
$N(\text{закрыт})$	1780	3663	5464

Таблица 5: Измерение фона.

4. Построим графики зависимостей логарифма числа прошедших частиц от толщины образца для каждого материала. Также не забудем учесть фоновые излучения, отнимем из числа срабатывания счетчика $N_{\text{фон}} = 364$.

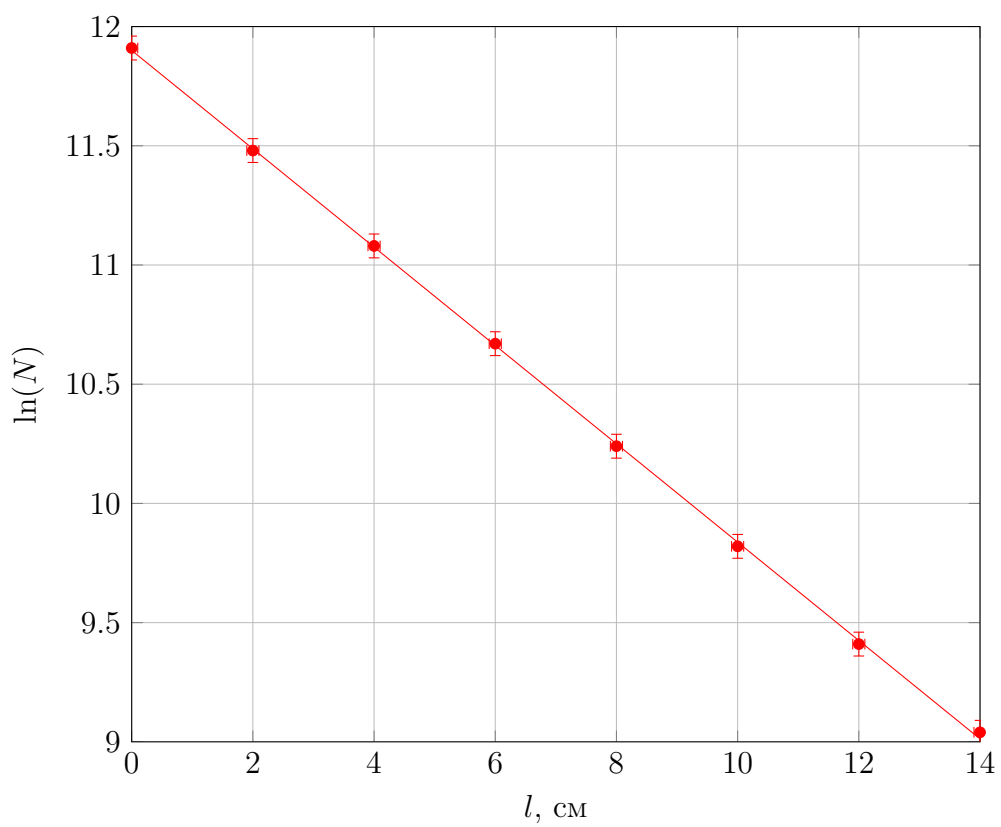


Рис. 5: Алюминий.

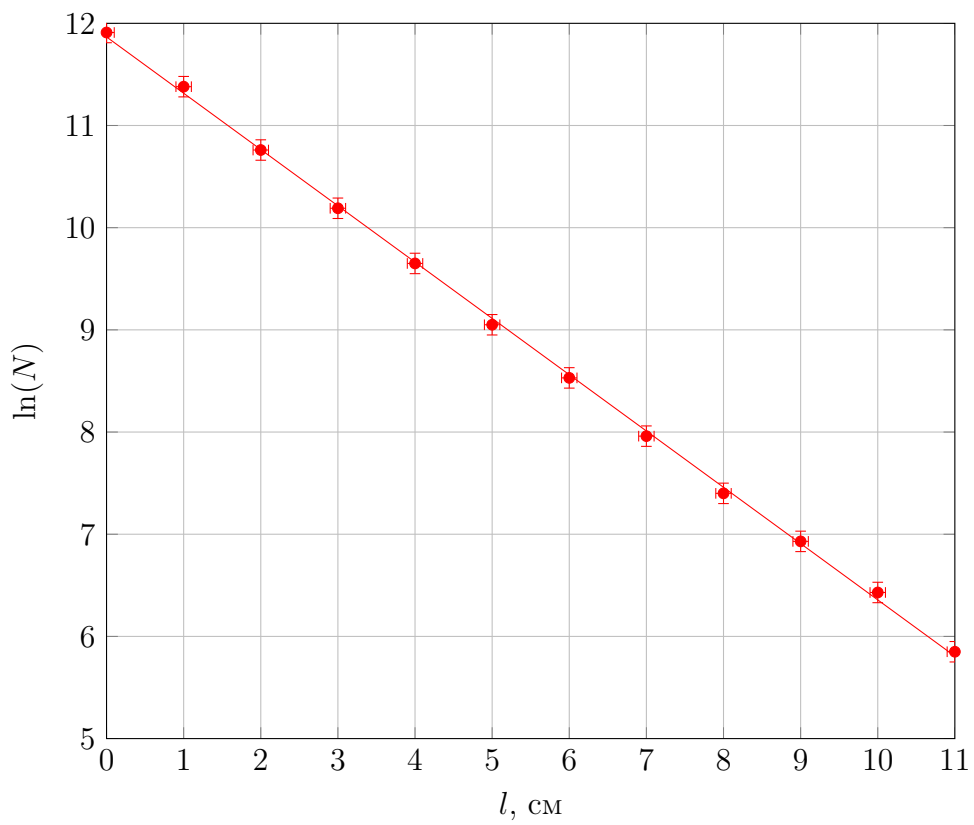


Рис. 6: Железо.

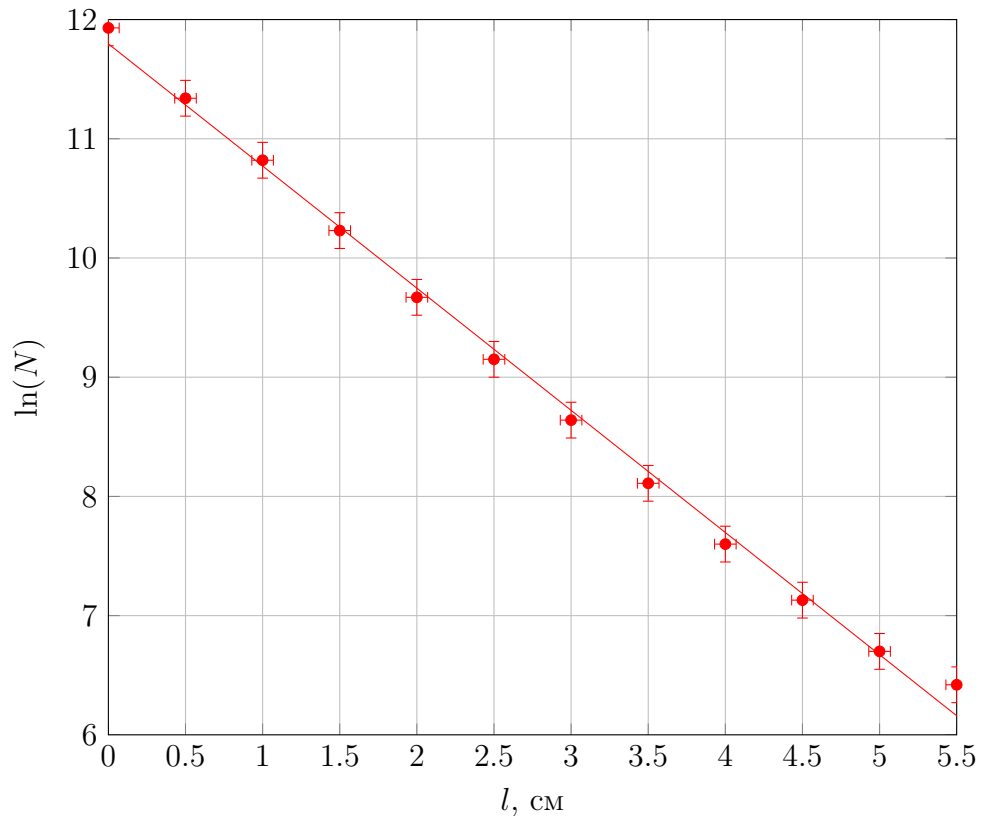


Рис. 7: Свинец.

5. Из графиков находим:

$$\mu_{\text{Al}} = (0.206 \pm 0.001) \text{ см}^{-1} \quad \mu_{\text{Fe}} = (0.551 \pm 0.003) \text{ см}^{-1} \quad \mu_{\text{Pb}} = (1.025 \pm 0.007) \text{ см}^{-1}$$

6. Используя найденные коэффициенты ослабления и табличные данные, определили среднюю энергию γ -лучей, испускаемых источником:

$$E_{\gamma} \sim 0.5 \div 0.6 \text{ МэВ}$$

Итоги

Исследовали поглощение γ -лучей в алюминии, железе и свинце. Получили линейные зависимости логарифма прошедших частиц от толщины образцов и по ним определили линейные коэффициенты ослабления μ , а также среднюю энергию γ -лучей, испускаемых источником.