

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.5.1

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

**Автор работы:** Хоружий Кирилл

**От:** 1 декабря 2021 г.

## Цель работы

1. Ознакомиться с работой сцинтилляционного счетчика.
2. С помощью сцинтилляционного счетчика измерить линейные коэффициенты  $\mu$  ослабления потока  $\gamma$ -лучей в свинце, железе и алюминии; по их величине определить энергию  $\gamma$ -квантов.

## Оборудование

Сцинтилляционный счетчик, штангенциркуль, диски пробки, алюминия, железа и свинца.

## Экспериментальная установка

Схма установки, используемой в работе, показана на рис. 1. Свинцовый коллиматор выделяет узкий, почти параллельный пучок  $\gamma$ -квантов, проходящий через набор поглотителей  $\Pi$  и регистрируемый сцинтиляционным счетчиком. Сигналы от счётчика усиливаются и регистрируются пересчетным прибором  $\Pi\Pi$ . Высоковольтный выпрямитель обеспечивает питание сцинтиляционного счетчика.

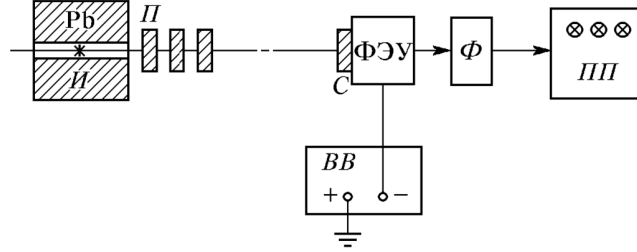


Рис. 1: Блок-схема установки. И – источник  $\gamma$ -лучей, Рb – свинцовый контейнер с коллиматорным каналом,  $\Pi$  – набор поглотителей, С – сцинтиллятор, Ф – формирователь-выпрямитель.

## Основные формулы

Коэффициент ослабления:

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

где  $l$  – толщина образца,  $N_0$  – число падающих частиц и  $N$  – число частиц прошедших через образец.

Ниже, на рисунке 2, приведена зависимость полного коэффициента ослабления потока  $\gamma$ -лучей для алюминия, железа и свинца, по которой можно восстановить энергию  $\gamma$ -квантов.

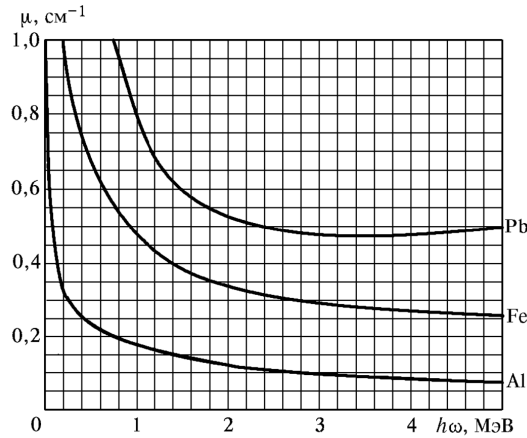


Рис. 2: Полные коэффициенты ослабления потока  $\gamma$ -лучей в алюминии, железе и свинце.

## Измерения

При установленной заглушке в течение 100 секунд измерялся фон  $N_{\text{bias}}$  (в начале и в конце работы):

$$N_{\text{bias}} = \text{mean}([2034, 1980, 2099, 2143])/100 \text{ s} = (20.6 \pm 0.6) \text{ s}^{-1},$$

что соответствует погрешности в районе 3%.

При открытой заглушке, измерялся свободный поток частиц  $N_0$ :

$$N_0 = \text{mean}([820832, 830346, 825628])/100 \text{ s} = (8256 \pm 39) \text{ s}^{-1},$$

что соответствует погрешности в 0.5%.

Далее при различных временах измерялось количество пройденных частиц, при различных толщинах поглощающих веществ, а именно сняты данные по алюминию (Al), железу (Fe), пробке (Cork) и свинцу (Pb). Полные

данные приведены в приложении, усредненные значения в таблице 1, где  $n$  – количество установленных образцов.

Таблица 1: Усредненные значения прохождения  $\gamma$ -лучей

$n$	$N_{\text{Fe}}/s, \text{ c}^{-1}$	$N_{\text{Al}}/s, \text{ c}^{-1}$	$N_{\text{Pb}}/s, \text{ c}^{-1}$	$N_{\text{Cork}}/s, \text{ c}^{-1}$
1	4559	5581	4813	
2			2840	7994
3	1488	2414	1636	
4			958	7729
5	493	1069	554	
6			328	
7	158	472	209	
8		329		7284

С помощью штангенциркуля измерим длину каждого кусочка поглощающего материала, использованного в работе.

## Обработка данных

**Погрешность измерений.** Для начала заметим, что процесс рассеяния носит вероятностный характер, так что, возможно, адекватно оценивать погрешность измерения  $N$ , как  $\sqrt{N}$ . Проверим это, рассмотрев  $\sigma$  для свинца, и сравним с  $\sqrt{N}$  для соответствующего результата. Значения  $\sigma/\sqrt{N}$  лежат в диапазоне  $[0.2, 0.6]$ , что говорит об адекватности оценки погрешности, как по  $\sqrt{N}$ .

При измерениях в некоторый промежуток времени получалось бы, что

$$N_1 = \frac{N}{t} = \frac{1}{t} (N \pm \sqrt{N}), \quad \Rightarrow \quad \sigma_{N_1} = \frac{\sqrt{N}}{t}. \quad (2)$$

Измерения длины препятствий будут складываться. Считая, что погрешность измерения каждого кусочка  $\sigma_{l_1} = 0.2$  мм, может найти, что  $\sigma_{n \cdot l} = n\sigma_{l_1}$ , где  $n$  – количество кусочков.

**Коэффициент ослабления.** Из формулы (1), можем найти, что

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

так что построим данные из таблицы 1 в логарифмическом масштабе (рис. 3).

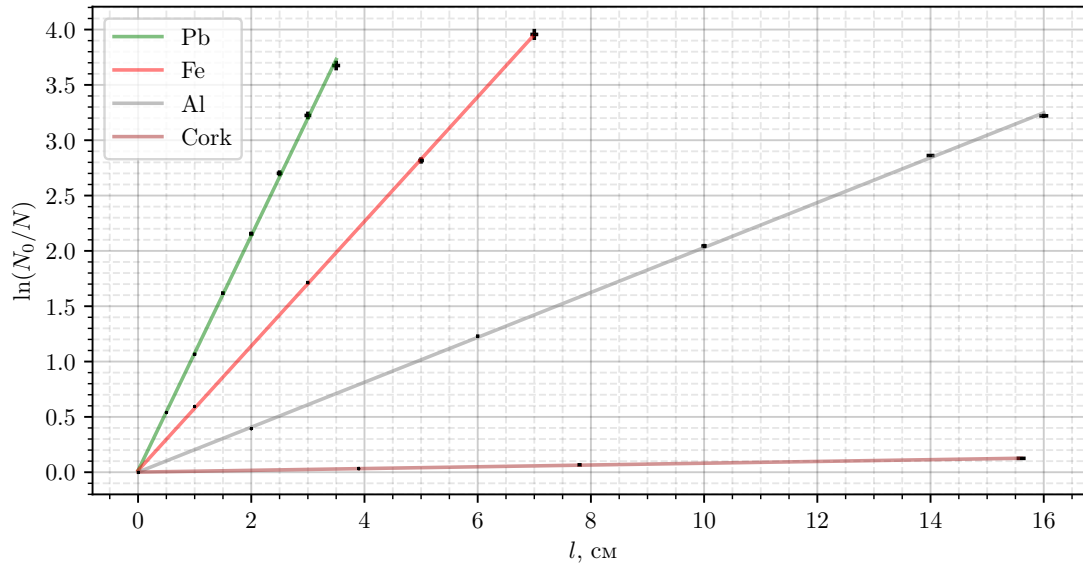


Рис. 3: Зависимость детектированных в секунду  $\gamma$ -частиц, от толщины образца

Из полученной зависимости можем оценить  $\chi^2/\text{ndf}$ , а также найти через линейную регрессию значения  $\mu$  для различных материалов. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2: Измеренные значения  $\mu$  и оценки  $\chi^2/\text{ndf}$

	$\mu, \text{м}^{-1}$	$\sigma, \text{м}^{-1}$	$\chi^2/\text{ndf}$
Pb	101.2	0.9	1.93
Fe	56.3	0.3	1.86
Al	20.3	0.1	0.35
Cork	0.80	0.02	0.03

По рисунку 2 можно восстановить, что для алюминия и железа такие значения коэффициентов ослабления соответствуют энергии в

$$E \approx 0.8 \text{ МэВ},$$

однако для свинца получился коэффициент ослабления  $E \approx 0.7 \text{ МэВ}$ , что в контексте большой производной этого участка графика вполне позволяет сказать, о том что в пределах погрешности указанное значение  $E$  совпало для всех трёх веществ.

## Выводы

Исследована зависимость пропускающей способности от толщины образца для свинца, железа, алюминия и пробки. Можно заметить, что чем плотнее вещество, тем выше коэффициент ослабления. Измерены коэффициенты ослабления для указанных веществ.

По значениям коэффициента ослабления, получено значение энергии  $\gamma$ -квантов:  $E \approx 0.8 \text{ МэВ}$ . В пределах погрешности значения энергии для трёх веществ совпали.

## Счётчик Гейгера

Также, параллельно с вышеописанной работой было произведено знакомство с прибором для измерения радиационного фона.

На рабочем месте уровень радиации составил 15 мкР/час. Вблизи пучка счётчик начинает зашкаливать на значениях более 999 мкР/час. Отдаляясь на 5 см от пучка, наблюдалось значение в районе 60 мкР/час, и на расстояние в районе 10 см, уже 26 мкР/час – пучок действительно коллимированный.

## Приложение

Таблица 3: Измерение прохождения  $\gamma$ -лучей через железо (Fe)

$N$ , шт.	$n$ , шт.	$t$ , с
457965	1	100
150958	3	100
5234	5	10
5171	5	10
5018	5	10
1817	7	10
1717	7	10
1824	7	10

Таблица 4: Измерение прохождения  $\gamma$ -лучей через пробку (Cork)

$N$ , шт.	$n$ , шт.	$t$ , с
72820	8	10
72144	8	10
74198	8	10
80443	2	10
79852	2	10
77126	4	10
77511	4	10
77865	4	10

Таблица 5: Измерение прохождения  $\gamma$ -лучей через железо (Pb)

$N$ , шт.	$n$ , шт.	$t$ , с
483437	1	100
16376	3	10
16601	3	10
16746	3	10
28994	2	10
28311	2	10
28524	2	10
9786	4	10
5733	5	10
5622	5	10
5890	5	10
3535	6	10
3488	6	10
3454	6	10
2308	7	10
2230	7	10
2361	7	10

Таблица 6: Измерение прохождения  $\gamma$ -лучей через пробку (Al)

$N$ , шт.	$n$ , шт.	$t$ , с
34421	8	100
3440	8	10
3581	8	10
3549	8	10
244309	3	100
56018	1	10
24511	3	10
24118	3	10
49268	7	100
11114	5	10
10664	5	10
10919	5	10