

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.5.1

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

Автор работы: Хоружий Кирилл

От: 20 октября 2021 г.

Цель работы

1. Ознакомиться с работой сцинтилляционного счетчика.
2. С помощью сцинтилляционного счетчика измерить линейные коэффициенты μ ослабления потока γ -лучей в свинце, железе и алюминии; по их величине определить энергию γ -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 γ -квантов, проходящий через набор поглотителей Π и регистрируемый сцинтиляционным счетчиком. Сигналы от счётчика усиливаются и регистрируются пересчетным прибором $\Pi\Pi$. Высоковольтный выпрямитель обеспечивает питание сцинтиляционного счетчика.

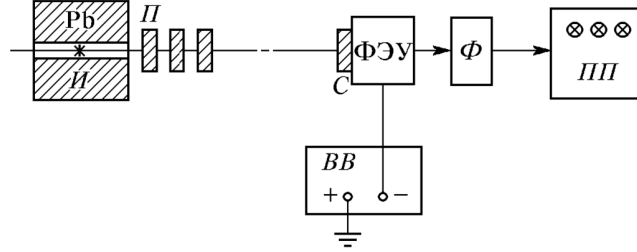


Рис. 1: Блок-схема установки. И – источник γ -лучей, Рb – свинцовый контейнер с коллиматорным каналом, Π – набор поглотителей, С – сцинтиллятор, Ф – формирователь-выпрямитель.

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 γ -лучей для алюминия, железа и свинца, по которой можно восстановить энергию γ -квантов.

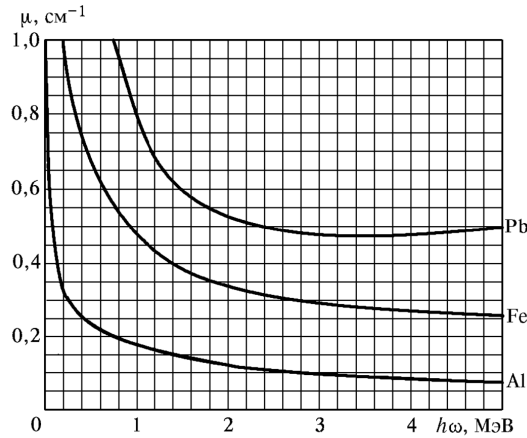


Рис. 2: Полные коэффициенты ослабления потока γ -лучей в алюминии, железе и свинце.

Измерения

При установленной заглушке в течение 100 секунд измерялся фон N_{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 γ -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 σ для свинца, и сравним с \sqrt{N} для соответствующего результата. Значения σ/\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).

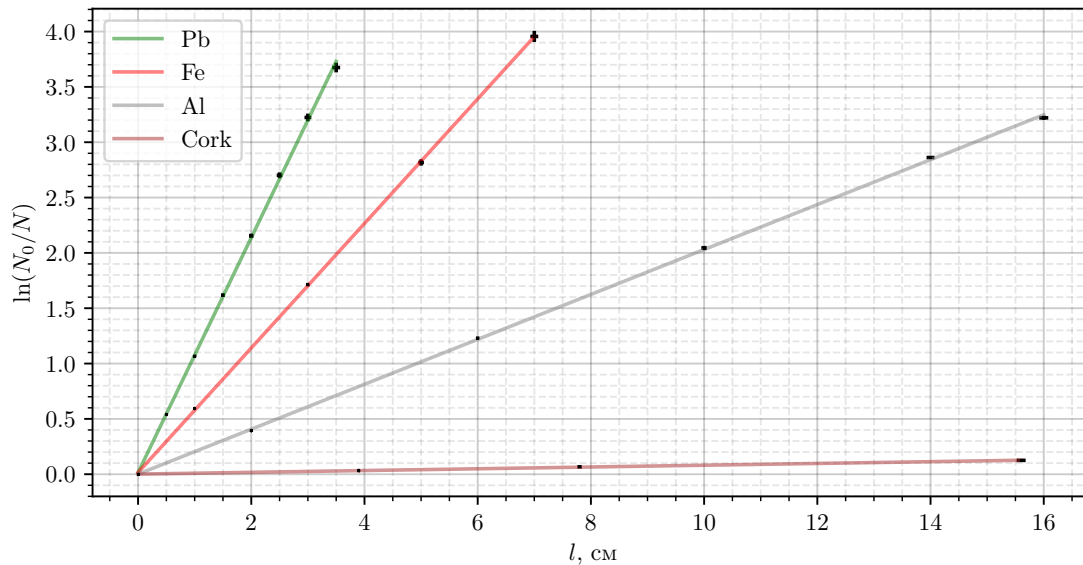


Рис. 3: Зависимость детектированных в секунду γ -частиц, от толщины образца

Из полученной зависимости можем оценить χ^2/ndf , а также найти через линейную регрессию значения μ для различных материалов. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2: Измеренные значения μ и оценки χ^2/ndf

	$\mu, \text{м}^{-1}$	$\sigma, \text{м}^{-1}$	χ^2/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 γ -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 γ -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 γ -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 γ -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 γ -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