

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.5.1

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

Автор работы: Хоружий Кирилл

От: 6 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.

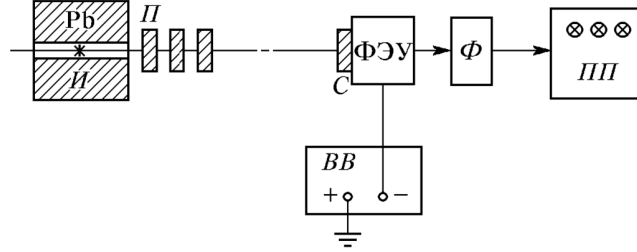


Рис. 1: Блок-схема установки. И – источник γ -лучей, Рb – свинцовый контейнер с коллиматорным каналом, Π – набор поглотителей, С – сцинтиллятор, Ф – формирователь-выпрямитель.

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.

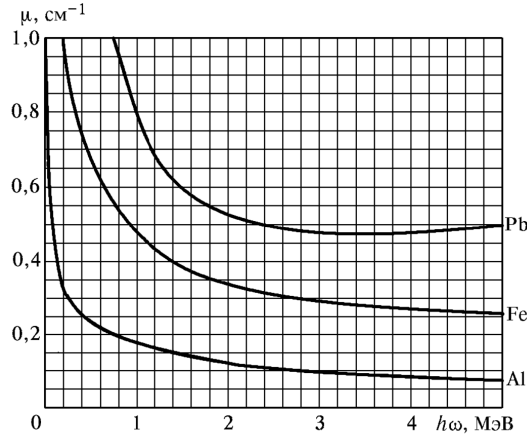


Рис. 2: Полные коэффициенты ослабления потока γ -лучей в алюминии, железе и свинце.

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).

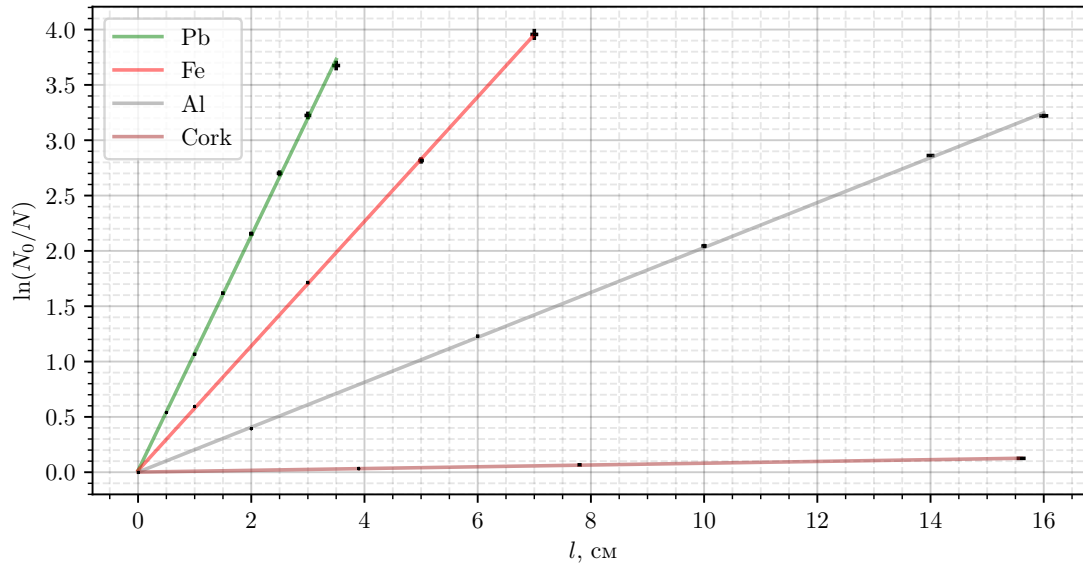


Рис. 3: Зависимость детектированных в секунду γ -частиц, от толщины образца

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 |