

Лабораторная работа 5.5.1. Измерение коэффициента ослабления потока γ -лучей в веществе и определение их энергии.

Вязовцев Андрей, Б01-005

17.09.22

Цель работы: определение средней энергии γ -квантов источника.

В работе используются: сцинтилляционный счётчик; образцы свинца, железа и алюминия; источник γ -квантов.

Теоретическая справка:

Гамма-лучи возникают при переходе возбуждённых ядер из одного энергетического состояния в другое, более низкое. Эти кванты не имеют ни заряда, ни массы. При прохождении через вещество, пучок квантов будет рассеиваться, а интенсивность уменьшаться по экспоненциальному закону, который можно записать в двух эквивалентных формах:

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

$$I = I_0 e^{-\mu' m_1} \quad (2)$$

При прохождении через вещество γ -кванты испытывают рассеяние по нескольким причинам:

1. Фотоэлектрическое поглощение. Этот процесс, по-сути, является обратным к процессу испускания квантов, описанному выше: γ -кванты сталкиваются с электронами внутренних оболочек, после чего электроны поглощают кванты, переходя на более высокий энергетический уровень.

2. Комптоновское рассеяние. В этом случае кванты сталкиваются со свободными электронами. В результате этого электрон приобретает энергию, а квант, наоборот, — теряет (и, соответственно, частота кванта уменьшается).
3. Образование пар. Согласно интерпретации Дирака, электроны с отрицательными энергиями создают равномерный, ненаблюдаемый фон. Но γ -квант может столкнуться с таким электроном в электрическом поле ядер (для этого его энергия должна быть больше $2mc^2$), после чего образуется электрон-позитронная пара.

Полный линейный коэффициент μ ослабления пучка γ -квантов при прохождении через вещество равен сумме коэффициентов для всех трёх процессов. В хорошей геометрии (когда все рассеянные γ -кванты не попадают на счётчик) количество рассеянных частиц пропорционально их общему количеству и длине пути, т.е.

$$-dN = \mu N dl$$

Отсюда получается формула, аналогичная (1):

$$N = N_0 e^{-\mu l} \quad (3)$$

Экспериментальная установка:

На рис. 1 блок-схема установки, используемой для измерения коэффициентов ослабления потока γ -лучей. На нём:

- И — источник γ -лучей
- Рb — свинцовый контейнер с коллиматорным каналом
- П — набор поглотителей
- С — сцинтиллятор (кристалл NaI (Tl))
- Ф — усилитель-формирователь

На рис. 2 изображена схема поглощения γ -квантов.

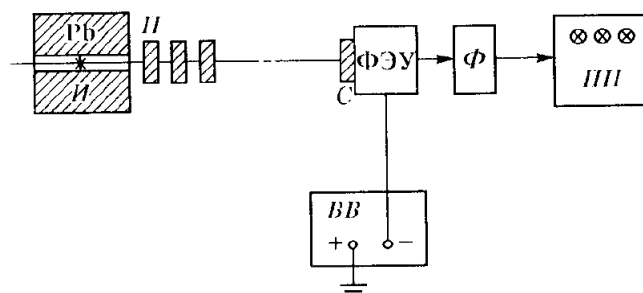


Рис. 1. Блок-схема установки, используемой для измерения коэффициентов ослабления потока γ -лучей.

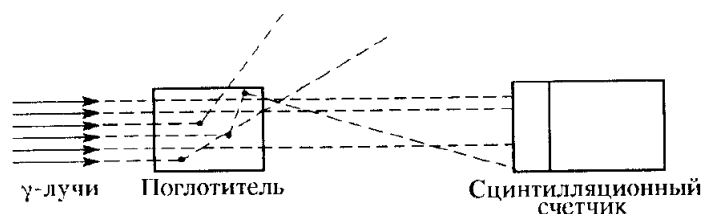


Рис. 2. Схема рассеяния γ -квантов в поглотителе.

Ход работы:

1. Включим приборы, дадим им прогреться 5—10 минут.
2. Убедимся, что установка «чувствует» γ -лучи. Для этого включим счётчик и будем убирать и ставить свинцовую пробку. При этом скорость изменения показаний должна резко увеличиваться и падать соответственно.
3. Теперь перейдём к изучению поглощения лучей в свинце, железе и алюминии. Для этого будем ставить образец какого-то материала, измерять количество частиц, пролетающих через него за определённое время, потом добавлять ещё один образец и т.д. до десяти штук. Измерять будем всегда до 40000 γ -лучей или 200 секунд. Также будем замерять размер каждого образца с помощью штангенциркуля. Результаты измерений представлены в таблицах 1, 2 и 3.
4. Теперь измерим фон, который обусловлен шумом счётчика и посторонними частицами. Для этого закроем источник свинцовой пробкой, после чего запустим счётчик. Получаем:

$$N_0 = 4102$$

$$t_o = 300 \text{ с}$$

Обработка результатов:

5. В формуле (3) для того, чтобы учесть фон, следует перейти от количества частиц к их количеству за единицу времени, т.е. от N к $\frac{N}{t}$. Тогда $\frac{N}{t} - \frac{N_0}{t_0}$ — «чистое» количество частиц. Т. к. наша задача — найти коэффициент μ , то следует использовать логарифмическую шкалу. Итак, построим графики: $\ln(\frac{N}{t} - \frac{N_0}{t_0})(l)$.

Исходя из наклонов графиков, получаем:

$$\mu_{Al} = (0.203 \pm 0.006) \text{ см}^{-1}$$

$$\mu_{Pb} = (1.156 \pm 0.018) \text{ см}^{-1}$$

$$\mu_{Fe} = (0.581 \pm 0.006) \text{ см}^{-1}$$

Здесь учитываются только ошибка МНК, но стоит также учесть ошибку счётчика, таймера и штангенциркуля. Погрешность первого мы попытались «устранить» путём учёта фона, оценить её не представляется возможным. Второй проводил измерения с точностью 0.01 с, что пренебрежимо мало с наименьшим измерением в 10 с. Погрешность последнего — 0.1 мм, что даёт погрешности от 0.5% до 2%. Итого получаем:

$$\mu_{Al} = (0.203 \pm 0.006) \text{ см}^{-1}$$

$$\mu_{Pb} = (1.16 \pm 0.03) \text{ см}^{-1}$$

$$\mu_{Fe} = (0.581 \pm 0.008) \text{ см}^{-1}$$

Из изображения 6 можно найти среднюю энергию γ -квантов. Получаем:

$$E_{Al} = (0.6 \div 0.7) \text{ МэВ}$$

$$E_{Pb} = (0.6 \div 0.8) \text{ МэВ}$$

$$E_{Fe} = (0.6 \div 0.7) \text{ МэВ}$$

Из источника, очевидно, во время разных экспериментов вылетали схожие кванты. Следовательно, схожесть энергий подтверждает верность эксперимента.

Приложение. Таблицы и графики:

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l_{\text{обр}}, \text{ мм}$	20.0	20.3	20.1	19.9	19.7	20.1	20.0	20.2	19.8	19.7
$l_{\text{общ}}, \text{ мм}$	20.0	40.3	60.4	80.3	100.0	120.1	140.1	160.3	180.1	199.8
N	46000	64000	40000	52501	43112	46125	58800	53099	36662	25475
t, с	10	20	20	40	50	80	100	200	200	200

Таблица 1. Алюминий.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l_{\text{обр}}, \text{ мм}$	5.0	5.0	5.0	4.7	4.6	5.0	4.4	4.8	5.1	4.9
$l_{\text{общ}}, \text{ мм}$	5.0	10.0	15.0	19.7	24.3	29.3	33.7	38.5	43.6	48.5
N	43041	44128	47372	52100	76190	43330	29139	18184	11616	8314
t, с	10	20	40	80	200	200	200	200	200	200

Таблица 2. Свинец.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l_{\text{обр}}, \text{ мм}$	10.1	10.2	10.1	10.3	10.0	10.0	10.1	10.1	10.0	10.1
$l_{\text{общ}}, \text{ мм}$	10.1	20.3	30.4	40.7	50.7	60.7	70.8	80.9	90.9	101
N	46770	47883	51174	41074	77237	44965	26906	16397	10624	7340
t, с	10	20	40	60	200	200	200	200	200	200

Таблица 3. Железо.

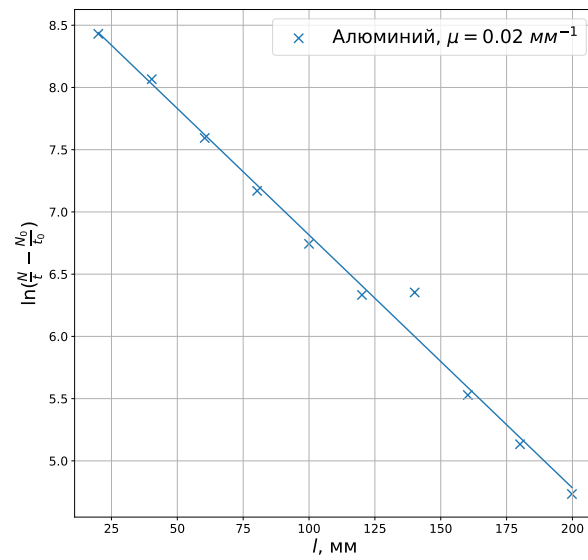


Рис. 3. Алюминий, $\ln(\frac{N}{t} - \frac{N_0}{t_0})(l)$

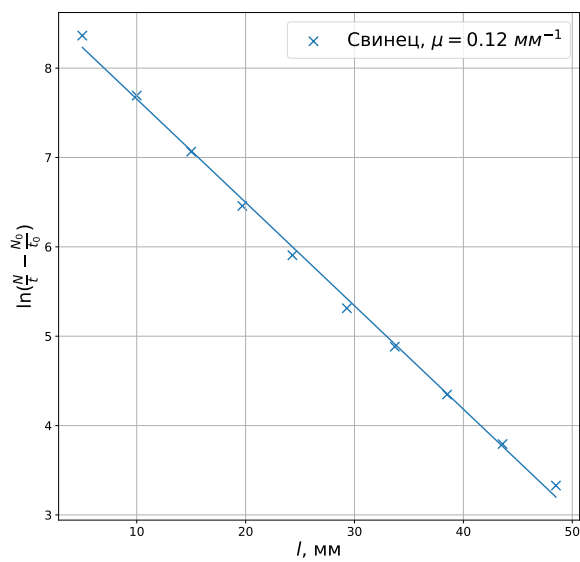


Рис. 4. Свинец, $\ln(\frac{N}{t} - \frac{N_0}{t_0})(l)$

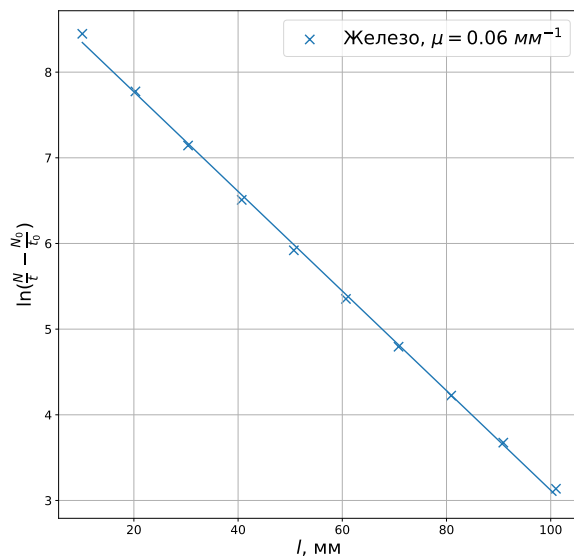


Рис. 5. Железо, $\ln(\frac{N}{t} - \frac{N_0}{t_0})(l)$

Энергия фотона (МэВ)	Коэффициент поглощения (1/см)		
	Al	Fe	Pb
0,1	0,459	2,93	63,0
0,2	0,329	1,15	11,3
0,3	0,281	0,866	4,57
0,4	0,250	0,740	2,63
0,5	0,238	0,662	1,83
0,6	0,210	0,606	1,42
0,7	0,196	0,563	1,17
0,8	0,184	0,528	1,01
0,9	0,175	0,498	0,891
1,0	0,166	0,472	0,806
1,1	0,158	0,450	0,740
1,2	0,151	0,430	0,688
1,3	0,145	0,413	0,648
1,4	0,140	0,398	0,617
1,5	0,135	0,384	0,592
1,6	0,131	0,372	0,573
1,7	0,127	0,362	0,556
1,8	0,123	0,352	0,543
1,9	0,120	0,343	0,532
2,0	0,117	0,336	0,523
2,1	0,114	0,328	0,515
2,2	0,111	0,322	0,508
2,3	0,109	0,316	0,503
2,4	0,107	0,310	0,498
2,5	0,104	0,306	0,494
2,6	0,103	0,301	0,490
2,7	0,101	0,296	0,487
2,8	0,0988	0,292	0,485
2,9	0,0972	0,289	0,482
3,0	0,0955	0,285	0,480

Рис. 6. Табличные данные