

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа прикладной математики и информатики

Отчёт о выполнении лабораторной работы

5.1

Измерение коэффициента ослабления потока
 γ -лучей в веществе и определение их энергии
(+дозиметрия)

Соболевский Федор Александрович

Старокожко Иван Георгиевич

Б05-111

Декабрь 2023

Теоретические положения

Проходя через вещество, пучок γ -квантов постепенно ослабляется, ослабление происходит по экспоненциальному закону, который может быть записан в двух эквивалентных формах:

$$I = I_0 e^{-\mu l},$$
$$I = I_0 e^{-\mu' m_l},$$

где I, I_0 – интенсивности прошедшего и падающего излучений, l – длина пути, пройденного пучком γ -лучей, m_l – масса пройденного вещества на единицу площади, μ, μ' – константы, зависящие от вещества. Ослабление потока γ -лучей возникает из-за фотоэлектрического поглощения, комптоновского рассеяния и генерации электрон-позитронных пар (при достаточных энергиях).

Считая, что опыт поставлен в *хорошей геометрии*, то есть сквозь вещество всегда идёт узкий параллельный пучок, можно считать, что комптоновское рассеяние выводит γ -кванты из пучка и в итоге меняется количество, но не энергия γ -квантов. Это означает, что μ не зависит от l . Число вышедших на пути dl из пучка γ -квантов

$$-dN = \mu N dl,$$

откуда

$$N = N_0 e^{\mu l},$$

или

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

Описание установки

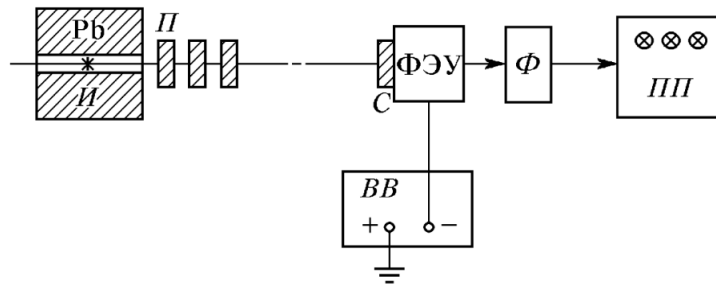


Рис. 1: Схема установки.

На Рис. 1 изображена схема установки. Свинцовый коллиматор выделяет узкий почти параллельный пучок γ -квантов, проходящий через набор поглотителей Π и регистрируемый сцинтилляционным счётчиком. Сигналы от счётчика усиливаются и регистрируются пересчётным прибором $\Pi\Pi$. Высоковольтный выпрямитель $ВВ$ обеспечивает питание сцинтилляционного счётчика. Чтобы уменьшить влияние плохой геометрии, счётчик расположен на большом расстоянии от источника, поглотители имеют небольшие размеры, а так же устанавливаются на расстоянии друг от друга, чтобы испытавшие комптоновское рассеяние кванты с меньшей вероятностью могли в него вернуться.

Ход работы, результаты

Измерение фона

В ходе работы были проведены измерения для определения коэффициента поглощения трех металлов: алюминия (Al), свинца (Pb) и железа (Fe). Промежуток времени, на котором считалось число частиц в каждом наблюдении, сохранялся равным 10с.

Первое измерение – фон. Образец был закрыт специальным счетом, при этом датчик показал приблизительно постоянные измерения. Результаты представлены в таблице

№ измерения	N_0
1	336
2	309
3	317
4	329
5	320
6	311
7	318
8	334
9	308
10	331
среднее	321
погрешность	± 1

Полученное значение будет вычитаться из всех последующих измерений, чтобы компенсировать фоновое излучение.

Измерение Al

Первая серия измерений проводилась с образцами из алюминия. Для регулирования толщины поглощающего/рассеивающего слоя использовались металлические бруски толщиной $l_0 = 2.2$ см. Результаты измерений представлены в таблице 1.

l_0 Fe, мм	$\sum l_i$, мм	N	$\frac{l_0}{l}$	$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)$
2,2	2,2	71526	1,000	1
2,2	4,4	48000	0,500	0,6696
2,2	6,6	31844	0,333	0,4427
2,2	8,8	20932	0,250	0,2895
2,2	11	14321	0,200	0,1966
2,2	13,2	9675	0,167	0,1314
3,2	16,4	6815	0,195	0,0912

Таблица 1: Измерения Al

По результатам измерений построим график в логарифмированных координатах. График представлен на рис. 2. Из него получаем коэффициент $\mu_{Al} = 1.47 \pm 0.04$, что соответствует энергии γ -кванта, равной 0.6 МэВ.

Измерение Pb

Вторая серия измерений проводилась аналогично с образцами из свинца. $l_0 = 0.47$ см. Результаты измерений представлены в таблице 2.

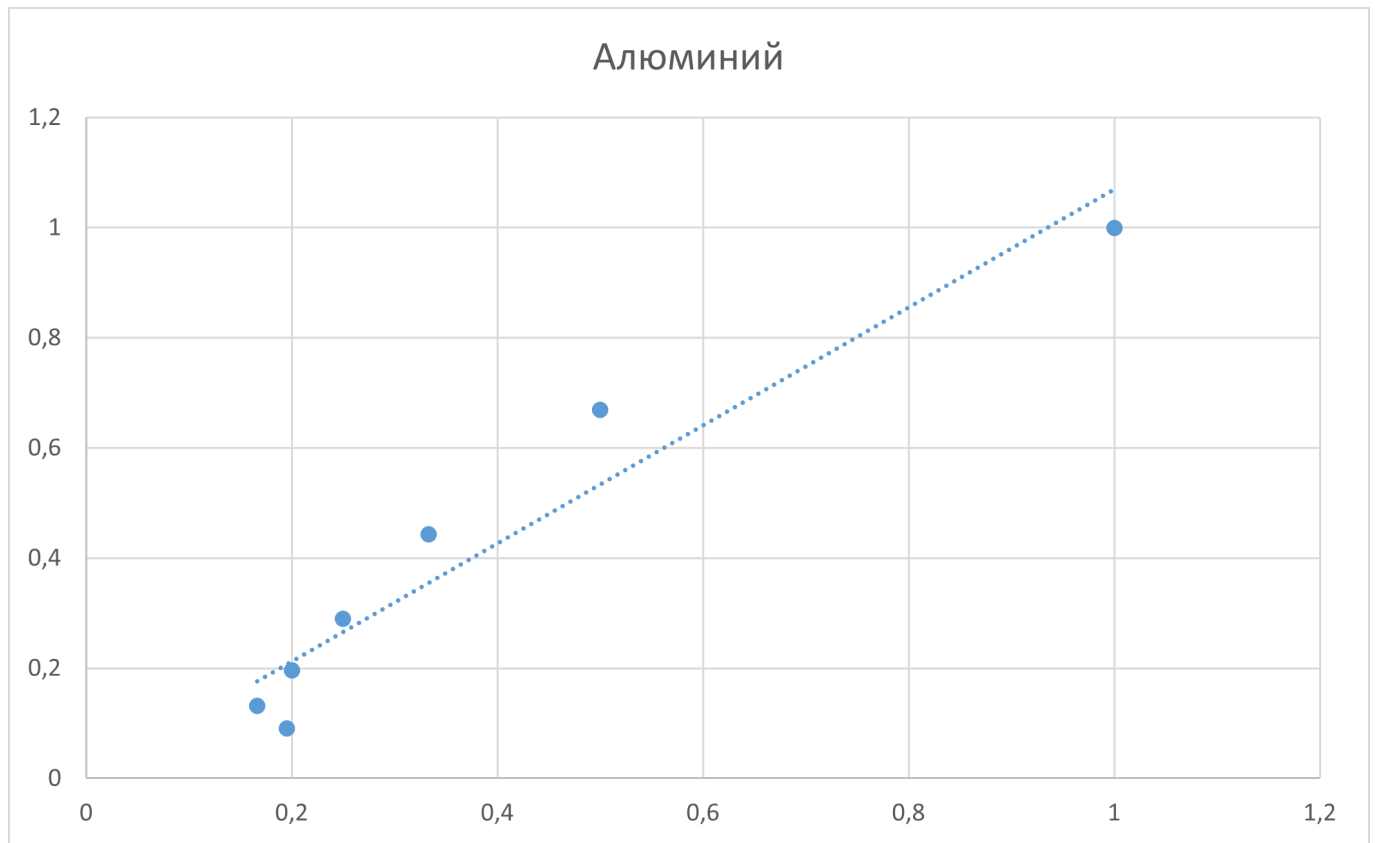


Рис. 2: График для Al

l_0 Fe, мм	$\sum l_i$, мм	N	$\frac{l_0}{l}$	$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)$
0,47	0,47	58182	1,000	1
0,47	0,94	32415	0,500	0,5547
0,47	1,41	18851	0,333	0,3202
0,47	1,88	11189	0,250	0,1878
0,47	2,35	6628	0,200	0,1090
0,47	2,82	4064	0,167	0,0647

Таблица 2: Измерения Pb

По результатам измерений построим график в логарифмированных координатах. График представлен на рис. 3. Из него получаем коэффициент $\mu_{Pb} = 0.249 \pm 0.01$, что соответствует энергии γ -кванта, равной 0.6 МэВ.

Измерение Fe

Третья серия измерений проводилась с образцами из железа. $l_0 = 1.01$ см. Результаты измерений представлены в таблице 3.

По результатам измерений построим график в логарифмированных координатах. График представлен на рис. 4. Из него получаем коэффициент $\mu_{Al} = 0.691 \pm 0.01$, что соответствует энергии γ -кванта, равной 0.5 МэВ.

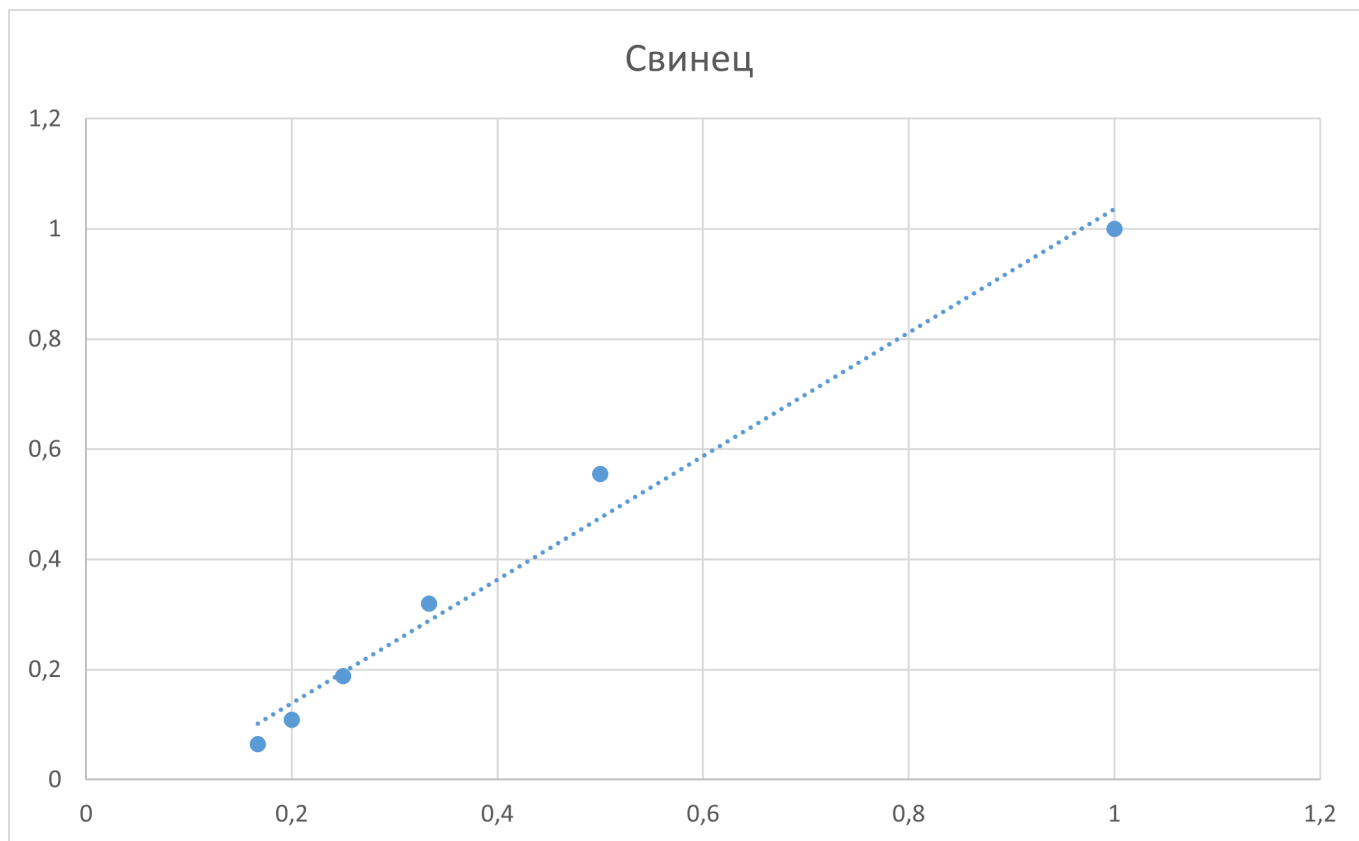


Рис. 3: График для Рb

l_0 Fe, мм	$\sum l_i$, мм	N	$\frac{l_0}{l}$	$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)$
1,01	1,01	60826	1,000	1
1,01	2,02	34441	0,500	0,5639
1,01	3,03	19734	0,333	0,3208
1,01	4,04	11367	0,250	0,1826
1,01	5,05	6751	0,200	0,1063
1,01	6,06	4072	0,167	0,0620

Таблица 3: Измерения Fe

Выводы

В ходе выполнения лабораторной работы были проведены измерения коэффициента ослабления μ для гамма-квантов при прохождении через различные материалы: алюминий (Al), свинец (Pb) и железо (Fe).

Для алюминия был получен коэффициент ослабления $\mu_{Al} = 1.47 \pm 0.04$, что соответствует энергии γ -кванта, равной приблизительно 0.6 МэВ. Для свинца получен коэффициент $\mu_{Pb} = 0.249 \pm 0.01$, что также соответствует энергии γ -кванта около 0.6 МэВ. Наконец, для железа получен коэффициент $\mu_{Fe} = 0.691 \pm 0.01$, что соответствует энергии γ -кванта около 0.5 МэВ.

В действительности изучаемое излучение испускает ^{137}Cs по каналу β^- , что означает табличное значение энергии гамма-кванта в 0.6617. Таким образом, отклонение составляет менее 10%, что достаточно хорошо сходится с теорией.

Результаты эксперимента согласуются с теорией ослабления гамма-квантов в веществе и позволяют оценить энергии используемых γ -квантов. Погрешности измерений в пределах указанных значений свидетельствуют о хорошей точности проведенных измерений.

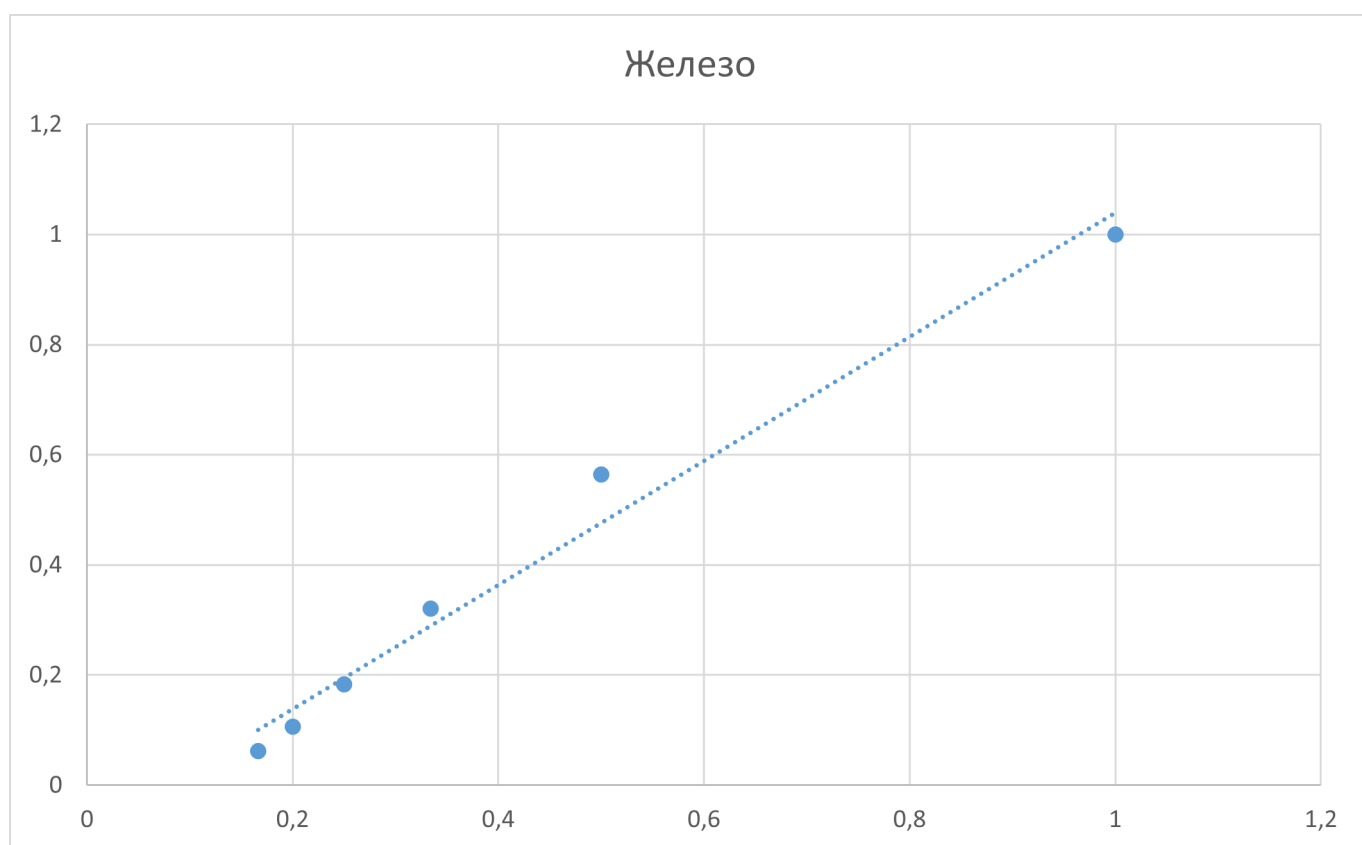


Рис. 4: График для Fe