

Лабораторная работа 5.1

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

Гарина Ольга
Аксенова Светлана
Б04-901

31 октября 2021 г.

Содержание

1	Экспериментальная установка	3
2	Теоретическое введение	3
2.1	Фотоэлектрическое поглощение	4
2.2	Комптоновское рассеяние	4
2.3	Образование пар	4
3	Эксперимент и обработка результатов	4
4	Вывод	6
5	Литература	7

Цель работы: с помощью сцинтилляционного счетчика измерить линейные коэффициенты ослабления потока γ -лучей в свинце, железе и алюминии; по их величине определить энергии γ -квантов.

1 Экспериментальная установка

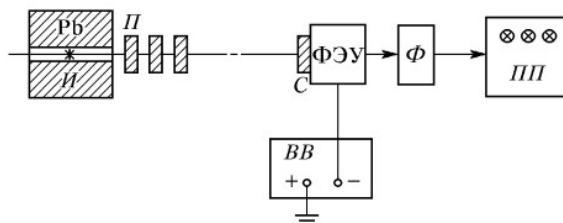


Рисунок 1 – Блок-схема экспериментальной установки

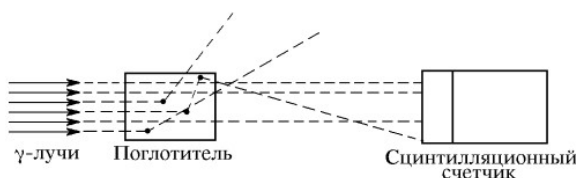


Рисунок 2 – Схема рассеяния γ -квантов в поглотителе

Свинцовый коллиматор выделяет узкий почти параллельный пучок γ -квантов, проходящий через набор поглотителей П и регистрируемый сцинтилляционным счетчиком. Сигналы от счетчика усиливаются и регистрируются пересчетным прибором ПП. Высоковольтный выпрямитель ВВ обеспечивает питание сцинтилляционного счетчика.

2 Теоретическое введение

Гамма-лучи возникают при переходе возбужденных ядер из одного энергетического состояния в другое, более низкое. Они не несут электрического заряда, их масса равно нулю. Проходя через вещество, пучок γ -квантов постепенно ослабляется. Ослабление происходит по экспоненциальному закону:

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

где I , I_0 – интенсивности прошедшего и падающего излучения, l – длина пути, пройденного пучком, μ – константа, величина которой зависит от вещества, сквозь которое проходят гамма-лучи.

Ослабление потока γ -лучей, происходящее при прохождении среды, связано с тремя эффектами: фотоэлектрическим поглощением, комптоновским рассеянием и с генерацией электрон-позитронных пар.

2.1 Фотоэлектрическое поглощение

При столкновении γ -квантов с электронами внутренних атомных оболочек может происходить поглощение квантов. Энергия γ -кванта передается соответствующему электрону, а импульс делится между электроном и оставшимся после его вылета ионом. Свободный электрон не может поглотить γ -квант, так как при этом невозможно одновременно удовлетворить законам сохранения энергии и импульса. Наружные электроны не принимают участия в фотоэлектрическом поглощении, потому что они слабо связаны в атоме, так что их практически можно считать свободными.

2.2 Комптоновское рассеяние

Комптоновским рассеянием называется упругое столкновение γ -кванта с электроном. При таком столкновении γ -квант передает электрону часть своей энергии, величина которой определяется углом рассеяния. В отличие от фотоэффекта, который может идти только на сильно связанных электронах, комптоновское рассеяние происходит на свободных или слабосвязанных электронах. Роль эффекта Комптона становится существенной тогда, когда энергия квантов становится много больше энергии связи электронов в атоме. Атомные электроны в этом случае можно считать практически свободными, что обычно и делается при теоретическом анализе. В отличие от фотоэффекта, эффект Комптона приводит не к поглощению γ -квантов, а к их рассеянию и уменьшению их энергии.

2.3 Образование пар

При энергиях γ -лучей, превышающих $2mc^2 = 1.02$ МэВ, становится возможен процесс поглощения γ -лучей, связанный с образованием электрон-позитронных пар. Рождение пар не может происходить в вакууме, оно возникает в электрическом поле ядер. Вероятность этого процесса приблизительно пропорциональна Z^2 и сложным образом зависит от энергии фотона.

3 Эксперимент и обработка результатов

В данной работе регистрировалось число частиц, попавших в счетчик за 10 секунд для различных материалов: железа, свинца, алюминия. Также в начале работы был измерен фон при закрытом коллиматоре, это значение вычиталось из всех полученных далее. Каждое измерение проводилось 7 раз, поэтому погрешность конечного значения получена как погрешность среднего:

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum (N_i - \bar{N})^2}.$$

$$N_{\text{фон}} = 186 \pm 19$$

$$N_0 = 199980 \pm 14414$$

N	σ	l, см
98314	4698	2
56260	174	4
34187	202	6
21482	306	8
13617	123	10
8742	88	12
5699	66	14

Таблица 1 – Зависимость числа частиц от длины пути поглощения для алюминия

N	σ	l, см
80804	1066	0.5
41893	228	0.95
22302	232	1.42
12075	100	1.89
6749	83	2.35
3886	73	2.81
2251	39	3.28

Таблица 2 – Зависимость числа частиц от длины пути поглощения для свинца

N	σ	l, см
84354	1149	1
40518	287	2
20760	284	3
11097	143	4
6031	81	5
3251	49	6.03
1801	43	7.03

Таблица 3 – Зависимость числа частиц от длины пути поглощения для железа

Далее для подсчета коэффициентов поглощения были построены графики зависимости $\ln N_0/N$ от длины пути поглощения для всех металлов, по наклону прямых были найдены коэффициенты поглощения по формуле:

$$\mu = \frac{1}{l} \ln(N_0/N). \quad (2)$$

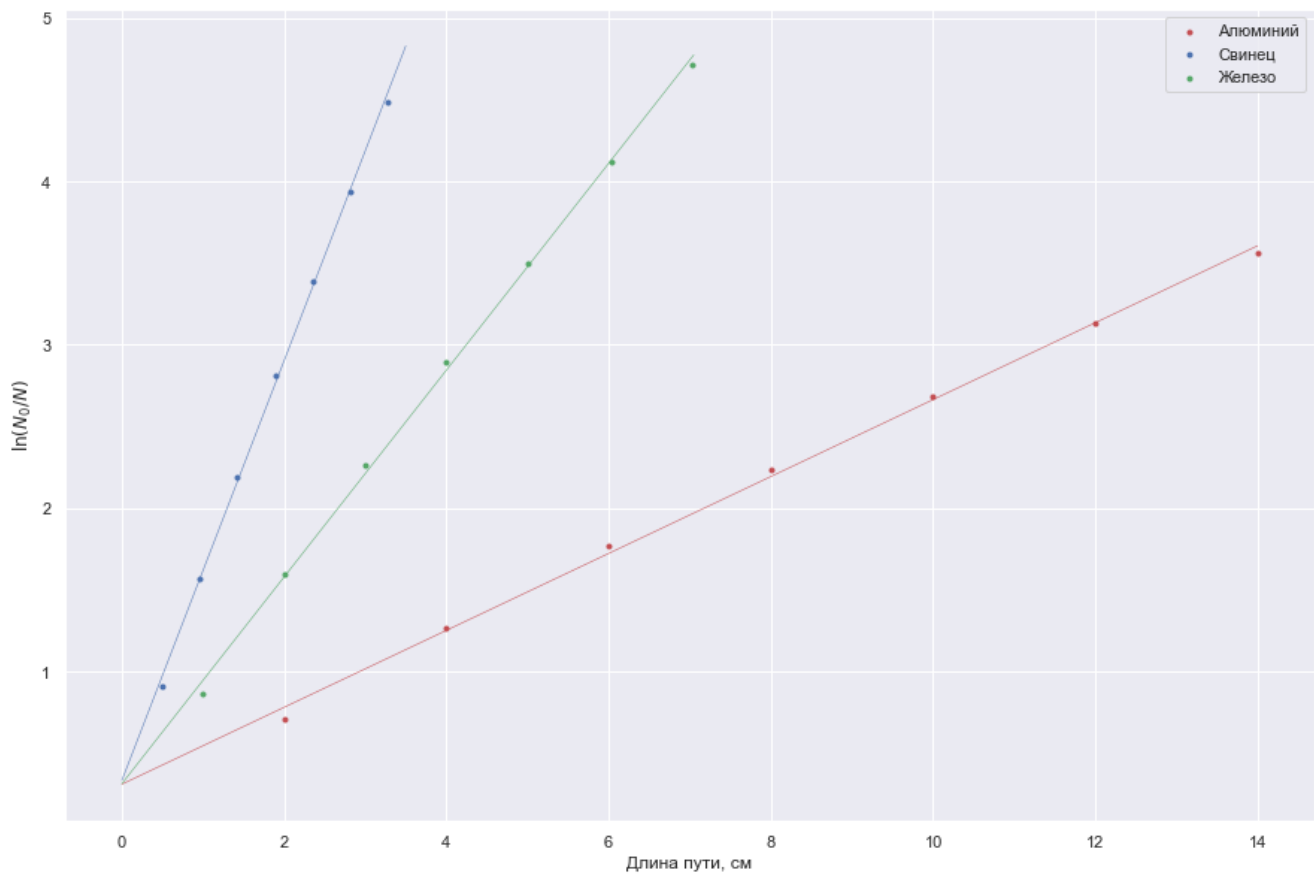


Рисунок 3 – График зависимости логарифма отношения числа падающих частиц к числу зарегистрированных от длины пути

$$\mu_{Al} = 0.235 \pm 0.005 \text{ 1/см}$$

$$\mu_{Pb} = 1.285 \pm 0.021 \text{ 1/см}$$

$$\mu_{Fe} = 0.6329 \pm 0.0105 \text{ 1/см}$$

По графику на рис. 4 и по таблице в приложении V.4 к лабораторному практикуму были найдены следующие значения энергий γ -квантов для металлов

$$E_{Al} \approx 0.6 \text{ МэВ}$$

$$E_{Pb} \approx 0.73 \text{ МэВ}$$

$$E_{Fe} \approx 0.6 \text{ МэВ}$$

4 Вывод

В данной работе удалось по числу зарегистрированных счетчиком частиц определить коэффициенты поглощения для алюминия, свинца и железа; по полученным коэффициентам найти примерное значение энергий гамма-квантов для этих металлов.

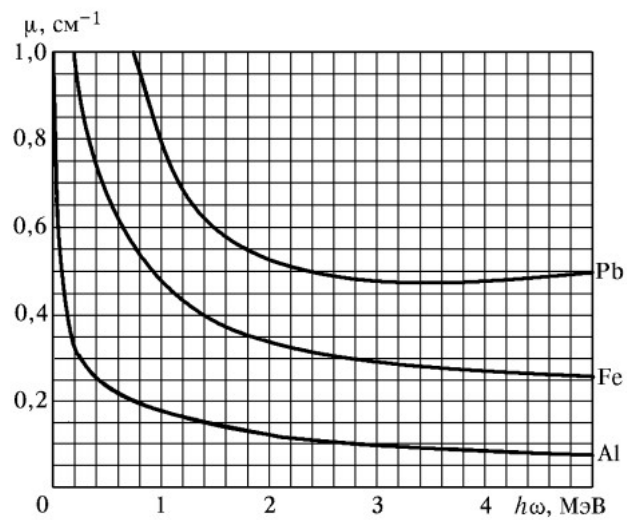


Рисунок 4 – Полные коэффициенты ослабления потока γ -лучей в алюминии, железе и свинце

5 Литература

1. Лабораторный практикум по общей физике: Квантовая физика: Учеб. пособие для вузов /Игошин Ф.Ф., Самарский Ю.А., Ципенюк Ю.М.