

Отчет о выполнении лабораторной работы 5.5.1
Измерение коэффициента ослабления потока γ -лучей в
веществе и определение их энергии

Выполнил: Голубович Тимур, группа Б01-110
11.10.2023

Цель работы

С помощью сцинтилляционного счетчика измеряются линейные коэффициенты ослабления потока γ -лучей в свинце, железе и алюминии; по их величине определяется энергия γ -квантов.

Оборудование и приборы

Источник γ -квантов со свинцовым коллиматором; набор поглотителей из различных материалов; сцинтилляционный счётчик; пересчётный прибор.

Теоретическое введение

Гамма-лучи возникают при переходе возбужденных ядер из одного энергетического состояния в другое, более низкое. Проходя через вещество, пучок γ -квантов постепенно ослабляется. Ослабление происходит по экспоненциальному закону, который может быть записан в двух эквивалентных формах:

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

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

В этих формулах I , I_0 – интенсивности прошедшего и падающего излучений, l – длина пути, пройденного пучком γ -лучей, m_1 – масса пройденного вещества, приходящаяся на единицу площади, μ и μ' – константы, величина которых зависит от вещества, сквозь которое проходят γ -лучи.

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

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 этим 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. Фотоэффект является доминирующим механизмом поглощения γ -квантов при не очень высоких энергиях.

Комптоновское рассеяние. Комптоновским рассеянием (или комптон-эффектом) 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 только тогда, когда энергия квантов становится много больше энергии связи электронов в атоме. В отличие от фотоэффекта, эффект Комптона приводит не к поглощению γ -квантов, а к их рассеянию и уменьшению их энергии.

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. При энергиях больше $2mc^2$ фотоэффект даже для самых тяжелых ядер уже не играет практически никакой роли. Вероятность образования пар должна поэтому сравниваться с вероятностью комптоновского рассеяния. При энергиях, с которыми приходится иметь дело при изучении ядер, рождение пар существенно только в самых тяжелых элементах.

Полный коэффициент ослабления потока γ -лучей. Полный линейный коэффициент μ ослабления пучка γ -квантов при прохождении через вещество равен сумме коэффициентов для всех трех рассмотренных процессов.

В данной работе измеряется коэффициент ослабления μ .

$$\mu = \frac{1}{l} \ln \frac{N_0}{N} \quad (3)$$

Для определения коэффициента ослабления нужно, таким образом, измерить толщину образца l , число падающих частиц N_0 и число частиц N , прошедших через образец.

Экспериментальная установка

Схема установки, используемой в работе, показана на рис. 1.

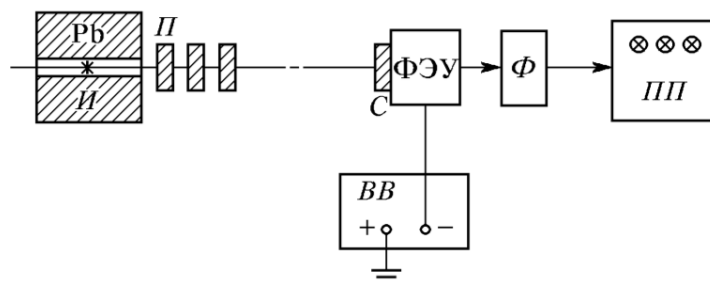


Рис. 1: Экспериментальная установка

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.

Ход работы

1. Включим пересчетный прибор и высоковольтный выпрямитель.
2. Убедимся в том, что установка работает. Для этого подадим на ФЭУ напряжение, указанное на установке. Измерим скорость счета при полностью открытом коллиматоре, а затем при коллиматоре, закрытом свинцовой пробкой. Скорость счета резко уменьшилась, значит действительно, установка работает, как следует.
3. Исследуем поглощение γ -лучей в свинце, железе и алюминии. Измерим поглощение γ -лучей при различных толщинах образцов.

При проведении эксперимента с n пластинами конкретного металла использовались $n - 1$ пробок, чередующих эти пластины. Именно поэтому в каждом эксперименте с n пластинами за N_0 следует считать то, что было зафиксировано при $n - 1$ пробках без какого-либо металла.

Количество частиц считается за 10 секунд. Результаты занесем в таблицу 1.

На данном этапе мы уже можем посчитать коэффициенты ослабления для каждого из экспериментов и их погрешности. Поскольку

$$\mu = \frac{1}{l} \ln \frac{N_0}{N},$$

то

$$\sigma_\mu = \frac{1}{l} \sqrt{\mu^2 \sigma_l^2 + \frac{\sigma_{N_0}^2}{N_0^2} + \frac{\sigma_N^2}{N^2}}$$

Погрешность штангенциркуля $\sigma_l = 0.1 \text{ мм} = 0.01 \text{ см}$.

Погрешности числа частиц $\sigma_N = \sqrt{N}$. То же и для N_0 .

Предварительно посчитаем значения коэффициентов ослабления в каждом опыте и их погрешности. Занесем их в таблицу 2.

Количество пластин	l , см	N_1	N_2
Свинец			
1	0.49	74415	75164
2	0.97	41098	42065
3	1.45	23371	23489
4	1.90	13985	13987
5	2.35	8452	8251
Железо			
1	1.01	77976	77286
2	2.04	42158	40827
3	3.02	23599	23808
4	4.03	13315	13294
5	5.03	7667	7552
Алюминий			
1	2.01	90864	89504
2	4.02	58396	58788
3	5.99	38139	38010
4	7.99	24878	24118
5	9.98	16626	16524
Пробки			
Количество пробок		N_0	
0		139843	
1		136826	
2		133850	
3		131576	
4		129176	

Таблица 1: Результаты экспериментов

Теперь построим график зависимости $\ln \frac{N_0}{N}$ от l и по коэффициенту наклона определим значение μ .

Из этих графиков мы получаем:

- Для свинца $\mu = (1.14 \pm 0.01) \text{ см}^{-1}$
- Для железа $\mu = (0.557 \pm 0.005) \text{ см}^{-1}$
- Для алюминия $\mu = (0.198 \pm 0.003) \text{ см}^{-1}$

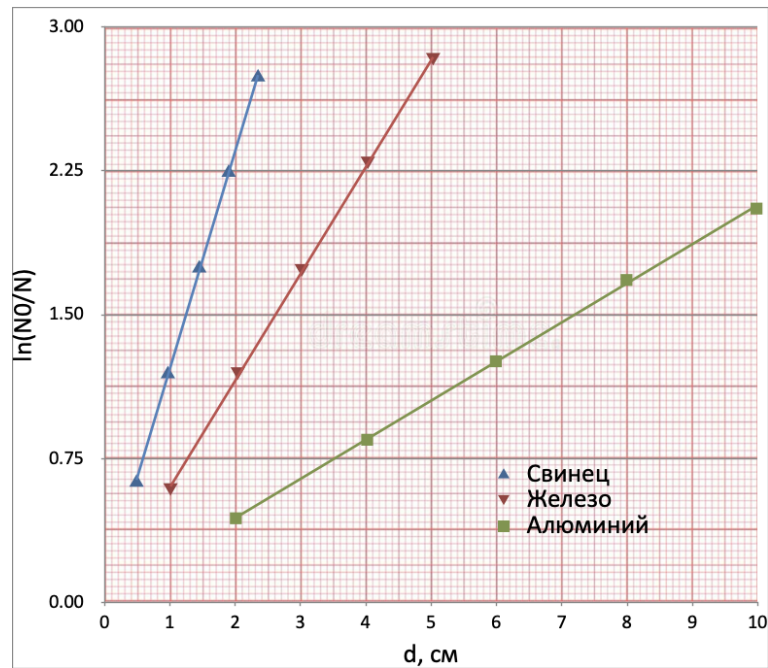
Если пересчитать в μ' , то получаем:

- Для свинца $\rho = 11.35 \text{ г/см}^3 \implies \mu' = (0.100 \pm 0.001) \text{ см}^2/\text{г}$
- Для железа $\rho = 7.87 \text{ г/см}^3 \implies \mu' = (0.071 \pm 0.001) \text{ см}^2/\text{г}$
- Для алюминия $\rho = 2.70 \text{ г/см}^3 \implies \mu' = (0.073 \pm 0.001) \text{ см}^2/\text{г}$

Используя табличные данные, найдем среднюю энергию γ -частиц.

- Для свинца получаем $E_\gamma = 0.70 \text{ МэВ}$
- Для железа получаем $E_\gamma = 0.70 \text{ МэВ}$
- Для алюминия получаем $E_\gamma = 0.69 \text{ МэВ}$

Количество пластин	μ , см^{-1}
Свинец	
1	1.28 ± 0.03
2	1.23 ± 0.02
3	1.20 ± 0.01
4	1.18 ± 0.01
5	1.17 ± 0.01
Железо	
1	0.583 ± 0.007
2	0.585 ± 0.004
3	0.573 ± 0.003
4	0.569 ± 0.003
5	0.563 ± 0.003
Алюминий	
1	0.218 ± 0.002
2	0.211 ± 0.001
3	0.210 ± 0.001
4	0.210 ± 0.001
5	0.205 ± 0.001

Таблица 2: Предварительно посчитанные μ Рис. 2: Зависимости $\ln \frac{N_0}{N}$ от d для трех материалов

Вывод

В данной работе мы измерили коэффициенты ослабления потока γ -лучей в трех различных материалах таких как свинец, железо и алюминий. Были измерены коэффициенты как линейные μ , так и нормированные на плотность вещества μ' .

	$\mu, \text{см}^{-1}$	$\mu', \text{см}^2/\text{г}$
Свинец	(1.141 ± 0.010)	(0.100 ± 0.001)
Железо	(0.557 ± 0.005)	(0.071 ± 0.001)
Алюминий	(0.198 ± 0.003)	(0.073 ± 0.001)

Таблица 3: Сводная таблица

Как видим, некоторые ошибки присутствуют, однако они все не больше 1.5%. Помимо этого всего, в работе была рассчитана средняя энергия γ -лучей, испускаемых источником на данной установке: $E_\gamma = 0.7 \text{ МэВ}$.

Список литературы

- [1] *Лабораторный практикум по общей физике. В 3 томах. Том 3. Квантовая физика: учебное пособие* под ред. Ю. М. Ципенюка