

Отчет о выполнении лабораторной работы 5.1.2

Исследование эффекта Комптона

Панченко Наталья
Исламов Сардор
группа Б02-111

1 сентября 2023 г.

Аннотация. С помощью сцинтилляционного спектрометра исследован энергетический спектр γ -квантов, рассеянных на графите. Определена энергия рассеянных γ -квантов в зависимости от угла рассеяния, а также энергия покоя частиц, на которых происходит комптоновское рассеяние.

Теоретическое введение

Эффект Комптона – увеличение длины волны рассеянного излучения по сравнению с падающим – интерпретируется как результат упругого соударения двух частиц: γ -кванта (фотона) и свободного электрона.

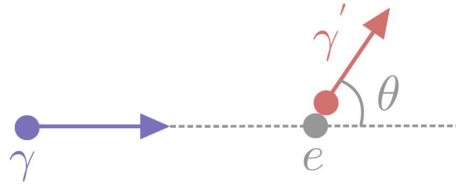


Рис. 1: Рассеяние γ -кванта на свободном покоящемся электроне

Запишем для рассматриваемого процесса закон сохранения 4-импульса:

$$P_\gamma + P_e = P'_\gamma + P'_e$$

$$P_\gamma = \begin{pmatrix} \mathcal{E}/c \\ \mathcal{E}/c \\ 0 \end{pmatrix}, P_e = \begin{pmatrix} mc \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, P'_\gamma = \begin{pmatrix} \mathcal{E}'/c \\ p' \cos \theta \\ p' \sin \theta \end{pmatrix}$$

$$P_\gamma + P_e - P'_\gamma = P'_e$$

$$m\mathcal{E} - m\mathcal{E}' - \frac{\mathcal{E}\mathcal{E}'}{c^2} + \frac{\mathcal{E}}{c}p' \cos \theta = 0$$

$$\mathcal{E} = h\nu, \mathcal{E}' = h\nu', p' = h\nu'/c$$

$$h m \nu - h m \nu' - \frac{h^2}{c^2} \nu \nu' + \frac{h^2}{c^2} \nu \nu' \cos \theta = 0$$

$$\frac{c}{\nu'} - \frac{c}{\nu} = \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta), \lambda = \frac{c}{\nu}$$

$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \Lambda_K(1 - \cos\theta)$ – изменение длины волны рассеянного излучения.

Λ_K – комптоновская длина волны электрона.

Из полученной формулы видно, что комптоновское смещение не зависит ни от длины волны первичного излучения, ни от рода вещества, в котором наблюдается рассеяние.

Перепишем формулу для эффекта Комптона в виде:

$$\frac{1}{\varepsilon(\theta)} - \frac{1}{\varepsilon} = 1 - \cos\theta, \quad (1)$$

где $\varepsilon = E/(mc^2)$, E – энергия γ -квантов.

Экспериментальная установка

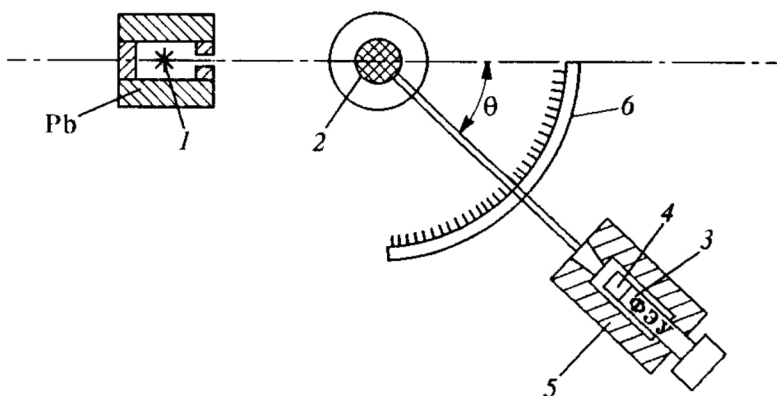


Рис. 2: Схема установки

1. Источник γ -излучения ^{137}Cs ($E_0 = 662\text{keV}$)
2. Графитовая мишень, на которой рассеивается пучок γ -квантов.
3. ФЭУ
4. Сцинтилляционный счетчик
5. Свинцовый коллиматор, формирующий входной пучок и защищающий детектор от постороннего излучения.

Кванты, испытавшие комптоновское рассеяние на мишени, регистрируются сцинтилляционным счетчиком NaI с примесью Tl (сцинтилляторы – это вещества, излучающие свет при поглощении ионизирующего излучения). Вследствие попадания γ -излучения в вещество сцинтиллятора рождаются быстрые электроны как результат фотоэффекта или эффекта Комптона, далее они возбуждают атомы и молекулы, которые в свою очередь излучают мягкие фотоны, попадающие на фотокатод ФЭУ, где сигнал усиливается. Далее с анода ФЭУ снимается величина электрического импульса, пропорциональная энергии регистрируемого γ -кванта. Импульсы оцифровываются, и в компьютере накапливается информация о их количестве в соответствии с амплитудой. На экране мы видим гистограмму, по оси абсцисс которой откладывается амплитуда импульса, пропорциональная номеру канала, а по оси ординат – число импульсов заданной амплитуды.

При этом сама гистограмма состоит из двух пиков. Левый более широкий появляется из-за эффекта Комптона в самом сцинтилляторе, так как энергия электронов в этом

случае определена не однозначно из-за произвольности угла рассеивания. авый фотопик появляется благодаря фотоэффекту, его амплитуда однознано связана с энергией регистрируемого γ -излучения. Для определения энергии γ -квантов нас будет интересовать как раз положение (номер канала) фотопика.

Результаты измерений и обработка данных

Заменим в формуле (1) энергию квантов, испытавших комптоновское рассеяние на угол θ , номером канала $N(\theta)$, соответствующего вершине фотопике при указанном угле θ :

$$\frac{1}{N(\theta)} - \frac{1}{N(0)} = A(1 - \cos \theta), \quad (2)$$

где A – коэффициент пропорциональности между $\varepsilon(\theta)$ и $N(\theta)$.

В таблицу 1 занесем результаты измерений.

угол θ	номер канала N	ширина пика*
0	925	918-932
10	891	886-898
20	832	820-852
30	692	682-724
40	640	614-666
50	560	528-592
60	460	432-476
70	407	401-413
80	366	352-376
90	323	315-331
100	278	272-287
110	279	274-282
120	250	240-257

Таблица 1: Результаты измерений.

* – диапазон каналов, который также можно взять в качестве фотопика.

Вернемся в формуле (1) от ε обратно к E :

$$\frac{1}{E(\theta)} - \frac{1}{E(0)} = \frac{1}{mc^2}(1 - \cos \theta) \quad (3)$$

При $\theta = 90^\circ$ формула приобретет вид:

$$mc^2 = E_\gamma \frac{N(90)}{N(0) - N(90)}, \quad (4)$$

E_γ – энергия γ -квантов, летящих под углом 0° .

Построим график зависимости величины $1/N$ от $1 - \cos \theta$ (рис. 3) и определим по нему наилучшие значения $N(0)$ и $N(90)$. Используем их в формуле (4) для расчета массы частиц, на которых происходит рассеяние γ -квантов. Подставляя значения $N(0) = 890 \pm 30$ и $N(90) = 325 \pm 6$ получаем $m = (6.8 \pm 0.4) \cdot 10^{-31}$ кг.

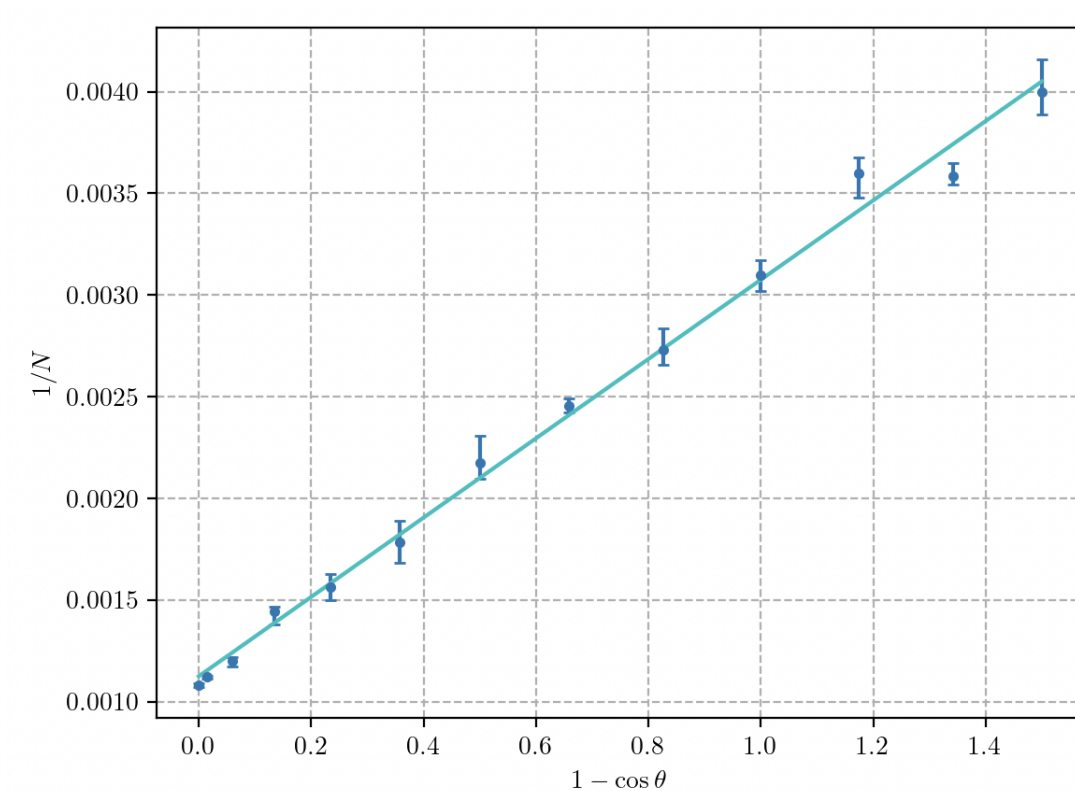


Рис. 3: Зависимость $N(\theta)$

Выводы

В ходе работы был исследован эффект Комптона при рассеивании γ -квантов на графитовой мишени. Анализируя энергетический спектр γ -излучения, было получено значение массы частиц, на которых оно рассеивалось: $m = (6.8 \pm 0.4) \cdot 10^{-31}$ кг, что по порядку совпадает с теоретическими данными (масса электрона равна $9.1 \cdot 10^{-31}$ кг).