

Бичина Марина Б04-005, Лабораторная работа № 5.1.2 «Исследование эффекта Комптона»

Цель работы:

1. Исследовать энергетический спектр γ квантов, рассеянных на графите
2. Определить энергию рассеянных γ квантов в зависимости от угла рассеяния θ
3. Определить энергию покоя частиц, на которых происходит комптоновское рассеяние

Оборудование:

1. Сцинтилляционный спектрометр
2. Источник направленного γ -излучения
3. Графитовая мишень

Теоретическая справка:

Эффект Комптона – это увеличение длины волны рассеянного излучения по сравнению с падающим. Интерпретируется как результат упругого соударения γ -кванта (фотона) и свободного электрона. При исследовании данного эффекта, можно наблюдать проявление двойственной природы излучения.

В нашем случае γ -квант испускаемый цезием 137 рассеивается об электроны в графитовом цилиндре. Данный эффект не объясняется классической электродинамикой, для его объяснения необходимо считать взаимодействие фотона и электрона упругим соударением.

Из расчёта абсолютно упругого соударения фотона и электрона, используя закон сохранения импульса и энергии получим формулу для изменения длины волны рассеянного γ -кванта:

$$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_0 = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta) = \Lambda_K(1 - \cos\theta), \quad (1)$$

где $\Lambda_K = \frac{h}{mc} = 2.42 \cdot 10^{-10}$ см – комптоновская длина волны электрона.

Подставив в формулу (1) энергию γ -кванта $\varepsilon = \hbar\omega$ получим другую форму записи:

$$\frac{1}{\varepsilon(\theta)} - \frac{1}{\varepsilon_0} = 1 - \cos\theta. \quad (2)$$

Описание установки:

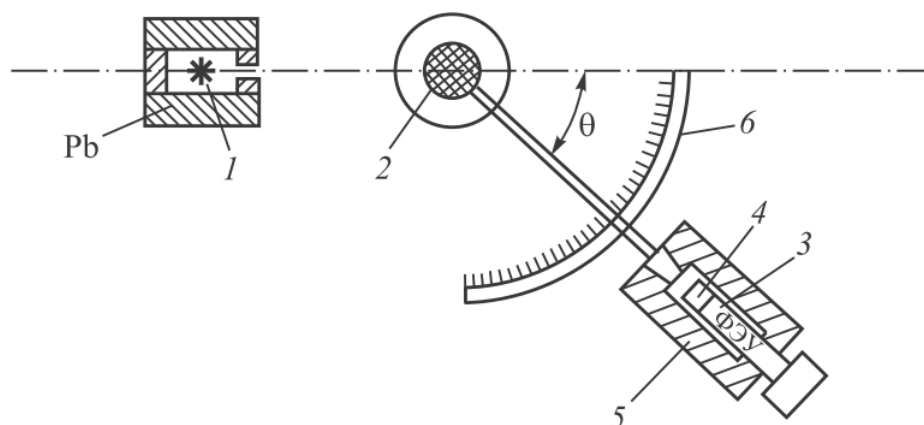


Рис. 1: Блок-схема установки по изучению рассеяния γ -квантов

Элементы установки:

1. Источник излучения ^{137}Cs , испускающий γ -лучи с энергией 662 кэВ (помещен в свинцовый контейнер с коллиматором)
2. графитовая мишень размерами 40 мм x 100 мм

Сцинтилляционный счетчик:

3. ФЭУ
4. сцинтиллятор (кристалл NaI диаметром 40 мм и высотой 40 мм)
5. свинцовый коллиматор
6. лимб

Сцинтилляционный счетчик подключается к усилителю-анализатору, который фиксирует попадание γ -кванта в счетчик. Далее идет передача данных о его энергии на компьютер в 1024 дискретных уровнях (каналах), номере которых прямо пропорционален значению энергии. На экране компьютера выводится гистограмма, по оси абсцисс которой откладывается амплитуда анализируемого импульса (номер канала), а по оси ординат – число импульсов заданной амплитуды (в данном канале).

Ход работы:

1. При помощи экспериментальной установки измерим зависимость номера фотопика N от положения сцинтилляционного счётчика θ . В качестве номера фотопика возьмём номер наибольшего столбца в гистограмме, соответствующего к пику созданным рассеянными фотонами.
2. Данные занесем в таблицу 1.

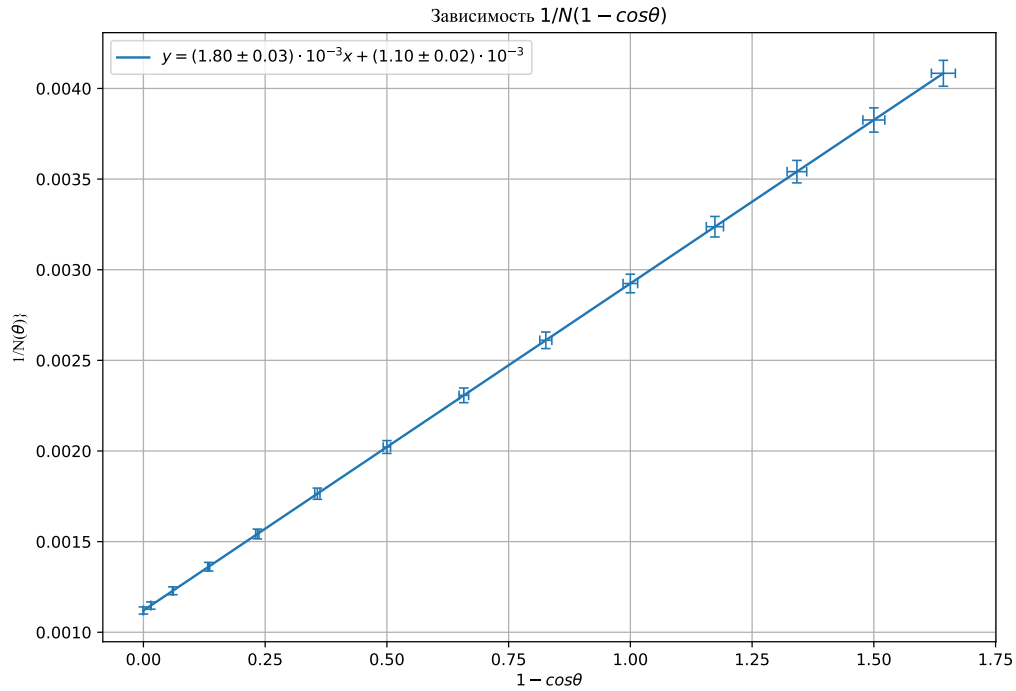
Учитывая то, что номер канала фотопика прямо пропорционален энергии кванта зафиксированного счётчиком, заменим в формуле (2) энергию ε номером канала максимума фотопика N , и добавив неизвестный коэффициент пропорциональности A , получим формулу:

$\theta, ^\circ$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
N	897	893	845	689	683	560	488	421	383	345	313	280	261	246

Таблица 1: Значение угла в градусах и соответствующий фотопик.

$$\frac{1}{N(\theta)} - \frac{1}{N(0)} = A(1 - \cos \theta). \quad (3)$$

3. Для более удобной обработки измеренных данных (табл. 1), построим график зависимости $1 - \cos \theta$ от $1/N(\theta)$, и проведём через полученные точки наилучшую прямую (по МНК) (рис. 2).



4. По наилучшей прямой определим наилучшие значения для N при $\theta = 0^\circ$ и $\theta = 90^\circ$, получим:

$$\theta = 0^\circ \Rightarrow x = 0 \Rightarrow y(0) = (1.12 \pm 0.02) \cdot 10^{-3},$$

$$N(0) = \frac{1}{y(0)} = 893, \quad \Delta N(0) = N(0) \cdot \frac{\Delta y(0)}{y(0)} = 16, \quad N_{\text{наил}}(0) = 890 \pm 20;$$

$$\theta = 90^\circ \Rightarrow x = 1 \Rightarrow y(1) = (2.92 \pm 0.04) \cdot 10^{-3},$$

$$N(90) = \frac{1}{y(1)} = 342, \quad \Delta N(90) = N(90) \cdot \frac{\Delta y(1)}{y(1)} = 5, \quad N_{\text{наил}}(90) = 342 \pm 5.$$

5. Теперь проверим результаты:

Воспользуемся формулой (2), подставив значение $\theta = 90^\circ$:

$$mc^2 \left(\frac{1}{E(90)} - \frac{1}{E(0)} \right) = 1,$$

или

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

где E_γ – энергия электронов, рассеянных вперёд, или просто энергии γ -лучей.

6. Теперь найдём энергию покоя частицы $E_\Pi = mc^2$, рассчитанной по формуле:

$$E_\Pi = E_\gamma \frac{N_{\text{наил}}(90)}{N_{\text{наил}}(0) - N_{\text{наил}}(90)} = 662 \text{ кэВ} \cdot \frac{342}{890 - 342} = 413 \text{ кэВ},$$

$$\Delta E_\Pi = E_\Pi \cdot \sqrt{2 \left(\frac{\Delta N(90)}{N(90)} \right)^2 + \left(\frac{\Delta N(0)}{N(0)} \right)^2} = 13 \text{ кэВ}.$$

Получили $mc^2 = 410 \pm 20$ кэВ, что значительно ниже действительного значения $mc^2 = 511$ кэВ.

Выводы:

1. Пронаблюдали эффект Комптона при помощи сцинтилляционного счётчика, заметив изменение энергии рассеянных γ -квантов при изменении угла рассеяния.
2. Подтвердили состоятельность формулы (1) и её вывода, получив прямую зависимость на графике (рис. 2).
3. Посчитали энергию покоя электронов, рассеивающих γ -кванты, получив значение $mc^2 = 410 \pm 20$ кэВ, что на 20% отличается от действительного значения $mc^2 = 511$ кэВ. Это различие можно объяснить неточностью при определении номера канала N , соответствующего фотопику.