
Отчёт по работе 5.1.2

Исследование эффекта Комптона

Карташов Константин Б04-005

I Анотация

Цель работы: Исследовать энергетический спектр γ -квантов, рассеянных на графите. Определение энергии рассеянных γ -квантов в зависимости от угла рассеяния, а также энергия покоя частиц, на которых происходит рассеяние.

Оборудование:

- ▷ Сцинтилляционный спектрометр
 - ▷ Источник направленного γ -излучения
 - ▷ Графитовая мишень
-

II Теоретическая часть

i Необходимые формулы

Эффектом Комптона называется рассеяние фотона заряженной частицей, приводящее к уменьшению его энергии, и соответствующим увеличением длины его волны. 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 – комptonовская длина волны электрона.

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

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

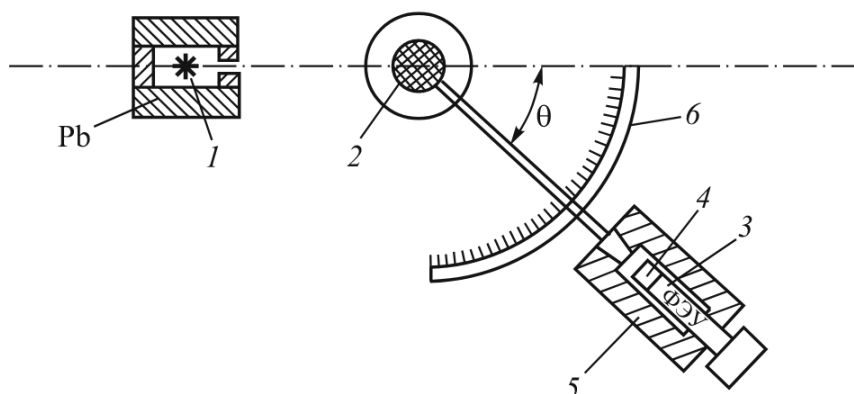


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

ii Экспериментальная установка

Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из:

1. Источника излучения ^{137}Cs , помещённого в свинцовый контейнер с коллиматором.
2. Графитовой мишени в форме цилиндра.
3. Фотоэлектронного умножителя.
4. Кристалла $\text{NaI}(\text{Ti})$, выполняющего роль сцинтиллятора.
5. Свинцового коллиматора.
6. Лимб для расчёта угла рассеяния.

ФЭУ и сцинтиллятор образуют сцинтилляционный счётчик, который подключается к усилителю-анализатору, который фиксирует попадание γ -кванта в счётчик, и передаёт значение его энергии на компьютер в 1024 дискретных уровнях (каналах), номер которых N прямо пропорционален значению энергии. На экране компьютера выводиться гистограмма всех зафиксированных попаданий в каждом из каналов.

III Экспериментальная часть

i Проведение измерений

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. Полученные данные приведены в таблице 1.

θ°	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.

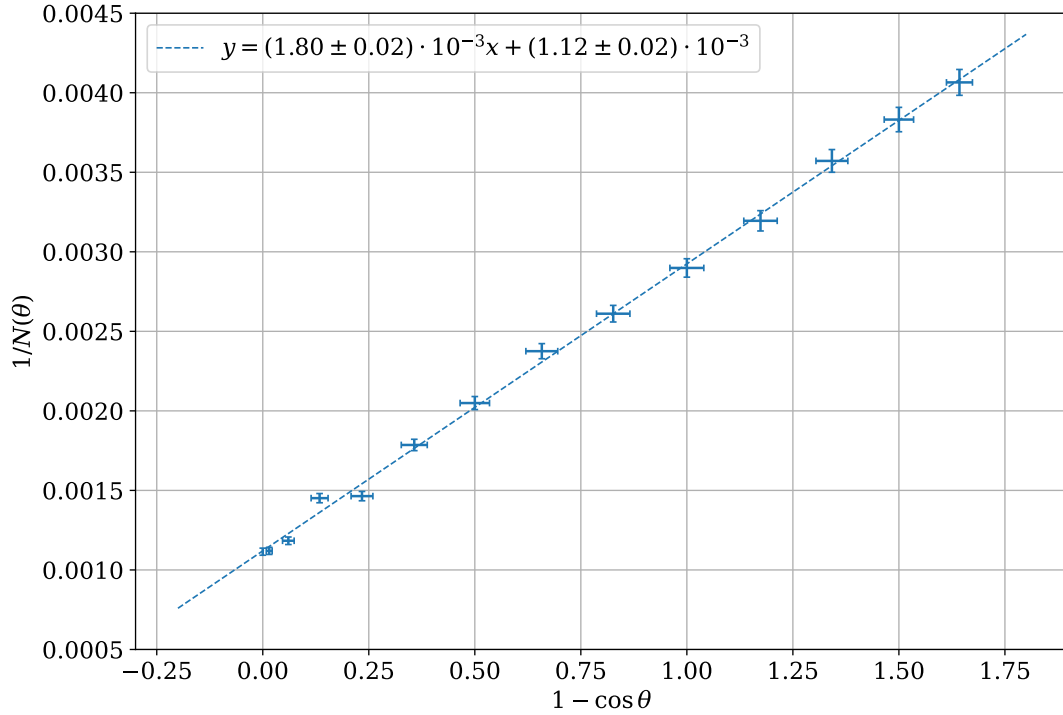


Рис. 2: График измеренных значений и наилучшей прямой

ii Обработка данных

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:

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

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).

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

$$\begin{aligned} \theta = 0^\circ &\Rightarrow x = 0 \Rightarrow y(0) = (1.12 \pm 0.02) \cdot 10^{-3}, \\ N(0) &= \frac{1}{y(0)} = 893, \quad \Delta N(0) = N(0) \cdot \frac{\Delta y(0)}{y(0)} = 16, \quad N_{\text{наил}}(0) = 890 \pm 20; \\ \theta = 90^\circ &\Rightarrow x = 1 \Rightarrow y(1) = (2.92 \pm 0.04) \cdot 10^{-3}, \\ N(90) &= \frac{1}{y(1)} = 342, \quad \Delta N(90) = N(90) \cdot \frac{\Delta y(1)}{y(1)} = 5, \quad N_{\text{наил}}(90) = 342 \pm 5. \end{aligned}$$

iii Проверка результатов

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.

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.

IV 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.
-