

Лабораторная работа 1.2

Исследование эффекта Комптона

Карцев Вадим

17 октября 2021 г.

Содержание

1	Аннотация	1
2	Теоретическая справка	1
3	Экспериментальная установка	2
4	Ход работы и обработка результатов	3
5	Вывод	4

Цель работы: исследовать энергетический спектр γ -квантов, рассеянных на графите, определение зависимости энергии γ -квантов в зависимости от угла рассеяния и энергии покоя частиц, на которых происходит комптоновское рассеяние.

В работе используется: контейнер с ^{137}Cs , сцинтилляционный спектрометр, компьютер, ФЭУ, рассеивающая мишень.

1 Аннотация

В ходе работы с помощью сцинтилляционного спектрометра были изучены спектры рассеянных на графите γ -квантов. С их помощью была получена согласованная с теорией зависимость энергии от угла рассеяния и значение энергии покоя графита $mc^2 = (488, 51 \pm 13, 43) \text{ кэВ}$

2 Теоретическая справка

Эффект Комптона – явление увеличения длины волны рассеянного излучения по сравнению с падающим. Он интерпретируется как результат упругого соударения двух частиц – γ -кванта и свободного электрона.

Пусть электрон до соударения покоился, а γ -квант имел начальную энергию $\hbar\omega_0$ и импульс $\hbar\omega_0/c$. После соударения электрон приобретает энергию γmc^2 , где $\gamma = (1\beta^2)^{1/2}$, $\beta = v/c$, а γ -квант рассеивается на некоторый угол θ по отношению к первоначальному направлению

движения. Энергия и импульс рассеянного излучения $\propto \omega_1$. Запишем для рассматриваемого процесса законы сохранения энергии и импульса:

$$mc^2 + \hbar\omega_0 = \gamma mc^2 + \hbar\omega_1$$

$$\frac{\hbar\omega_0}{c} = \gamma mv \cos \varphi + \frac{\hbar\omega_1}{c} \cos \theta$$

$$\gamma mv \sin \varphi = \frac{\hbar\omega_1}{c} \sin \theta$$

Решая эти уравнения и переходя от частот к длинам волн, получим изменение длины рассеянного излучения

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

где $\Lambda_k = \frac{h}{mc} = 2.4210^{-10} \text{ см}$ – комптоновская длина волны электрона.

Основной целью работы является проверка соотношения 1. Преобразуем его от длин волн к энергии γ -квантов.

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

где $\varepsilon_0 = E_0/(mc^2)$ – энергия γ -квантов, падающих на рассеиватель (в единицах mc^2), $\varepsilon(\theta)$ – выраженная в тех же единицах энергия квантов, испытавших комптоновское рассеяние на угол θ , m – масса электрона.

3 Экспериментальная установка

В лабораторной работе источником излучения служит ^{137}Cs , испускающий поток γ -квантов с энергией 661,6 кэВ. Пучок после выхода из коллиматорного отверстия попадает на графитовую мишень и рассеивается. Кванты, испытавшие комптоновское рассеяние, регистрируются сцинтилляционным счетчиком и приходят на ФЭУ. Сигналы, возникающие в ФЭУ, передаются на ПК для последующего спектрального анализа.

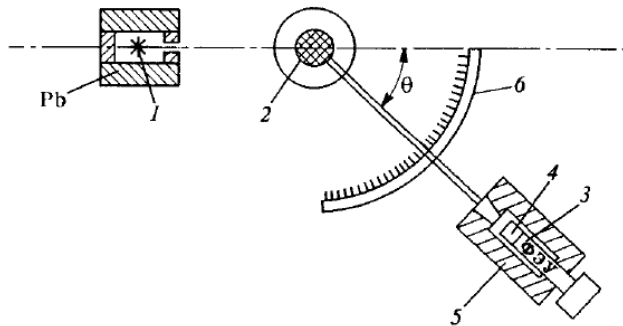


Рис 1. Принципиальная схема установки

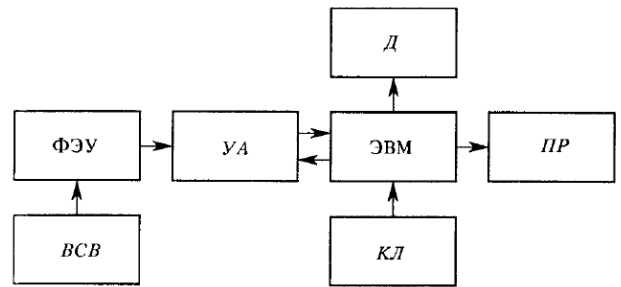


Рис 2. Блок-схема установки

Сцинтилляционный счетчик установлен на подвижном рычаге, с помощью которого мы можем установить счетчик под необходимым углом к направлению потока γ -излучения.

4 Ход работы и обработка результатов

С помощью сцинтилляционного счетчика проведем замеры спектра и выясним зависимость положения фотопика от угла, под которым мы исследуем спектр рассеянных γ -лучей.

Длительность замера спектра для каждого угла выберем такой, чтобы фотопик был в полной мере различим на спектрограмме.

По спектрограммам на стр. 5 определим расположения фотопиков для различных углов рассеяния. Ниже приведена таблица с результатами измерений для всех углов θ . Погрешность измерения угла будем считать как половину деления разметки измерительного стола $\sigma_\theta = 0,5^\circ$. Погрешность положения фотопика возьмем как половину ширины вершины фотопика. Значения погрешности положения также приведены в таблице ниже.

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°
N	912	868	790	751	665	594	536	463	424	385	353	319	282
σ_N	8	7	20	6	8	5	4	6	6	3	5	2	6

Погрешность для $1/N$ и $1 - \cos \theta$ будут считаться по формулам

$$\sigma_{1/N} = \frac{1}{N} \varepsilon_N = \frac{1}{N} \frac{\sigma_N}{N} = \frac{\sigma_N}{N^2}; \quad \sigma_{1-\cos \theta} = \sin(\theta) \sigma_\theta.$$

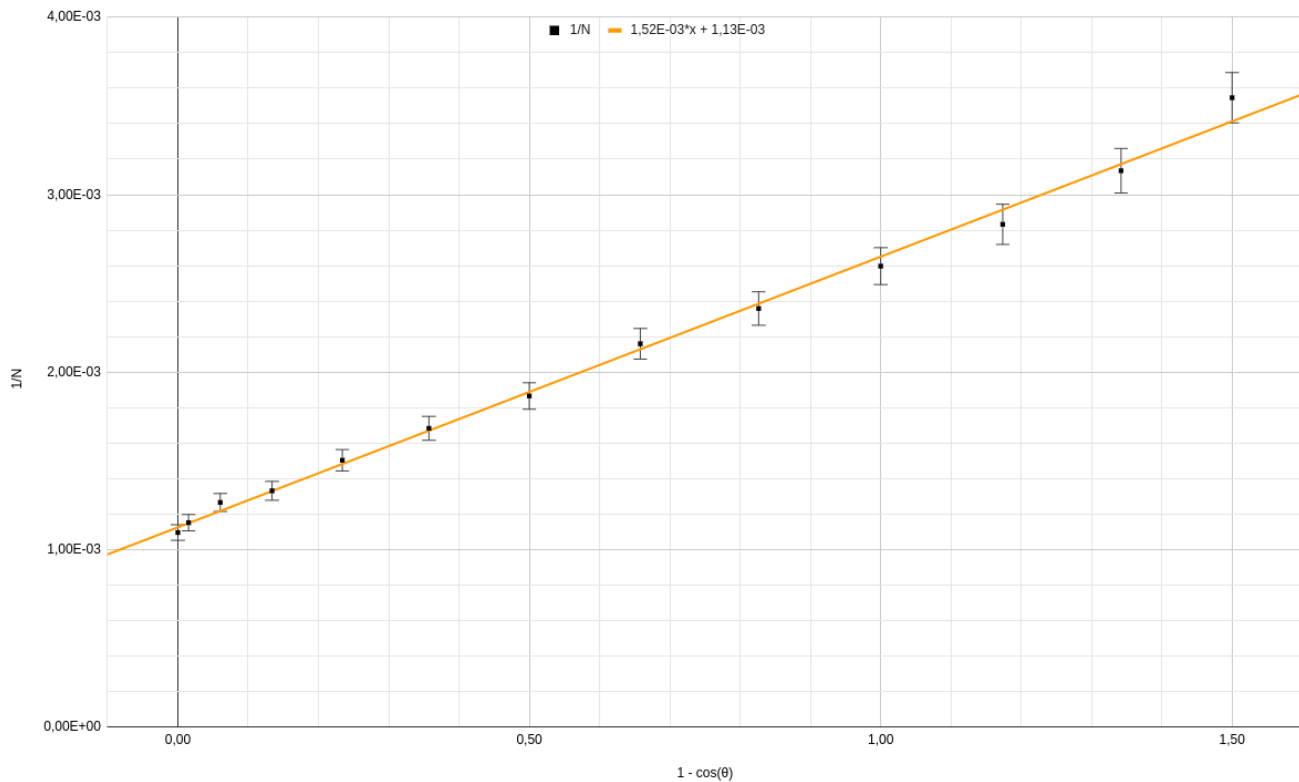


Рис 3. Зависимость $\frac{1}{N} (1 - \cos \theta)$

По МНК получим коэффициент наклона и точку пересечения прямой с осью Y. Также вычислим погрешности для этих значений.

$$A = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2}; \quad \sigma_A = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} - A^2}$$

$$\frac{1}{N(0)} = \langle y \rangle - A \langle x \rangle; \quad \sigma_{1/N(0)} = \sigma_A \sqrt{\langle x^2 \rangle}$$

Здесь для удобства мы произвели переименование $x \stackrel{def}{=} 1 - \cos \theta$, $y \stackrel{def}{=} 1/N$.

Из этих формул рассчитаем значения угла наклона и пересечения прямой с осью Y с погрешностями.

$$A = (152,5 \pm 2,8) \cdot 10^{-5}; \quad \frac{1}{N(0)} = (112,6 \pm 2,2) \cdot 10^{-5}$$

С помощью полученных значений для прямой аппроксимации вычислим наилучшие значения для положения фотопика при углах 0° и 90° .

$$N(0^\circ) = 888,28 \pm 17,57; \quad N(90^\circ) = 377,30 \pm 7,21$$

Из вычисленных значений для $N(0^\circ)$ и $N(90^\circ)$ получим значение mc^2 и погрешность для него по следующим формулам

$$mc^2 = E_\gamma \frac{N(90^\circ)}{N(0^\circ) - N(90^\circ)}; \quad \sigma_{mc^2} = mc^2 \sqrt{\varepsilon_{N(0^\circ)}^2 + \varepsilon_{N(90^\circ)}^2}$$

где

$$\varepsilon_{N(0^\circ)} = \frac{\sigma_{N(0^\circ)}}{N(0^\circ)}; \quad \varepsilon_{N(90^\circ)} = \frac{\sigma_{N(90^\circ)}}{N(90^\circ)}$$

Таким образом получим результат $mc^2 = (488,51 \pm 13,43) \text{кэВ}$. Полученный результат имеет относительную погрешность $\varepsilon_{mc^2} = 2,75\%$.

5 Вывод

В ходе выполнения работы было исследовано явление комптоновского рассеяния γ -квантов на графитовой мишени, подтверждена теоретическая зависимость распределения энергии γ -квантов по углам рассеяния, а также вычислена энергия покоя электрона $mc^2 = (488,51 \pm 13,43) \text{кэВ}$. Теоретическое значение энергии покоя электрона $mc_{теор}^2 = 511 \text{кэВ}$, что в рамках двойной погрешности согласуется с полученным экспериментальным путем значением.

Приложение

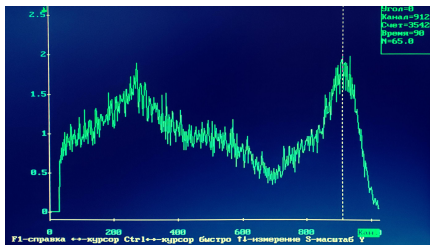


Рис 4. $\theta = 0^\circ$

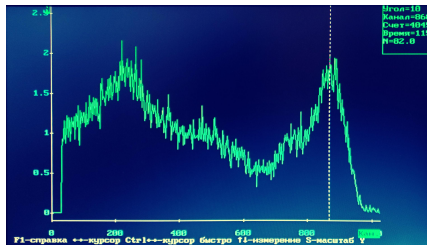


Рис 5. $\theta = 10^\circ$

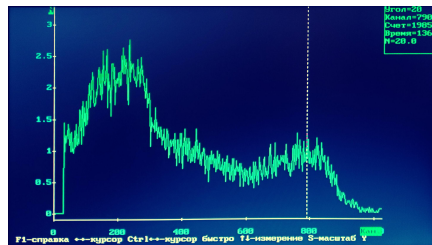


Рис 6. $\theta = 20^\circ$

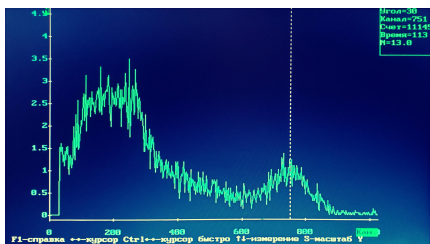


Рис 7. $\theta = 30^\circ$

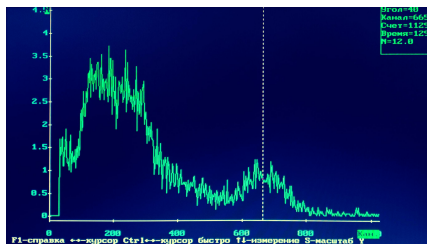


Рис 8. $\theta = 40^\circ$

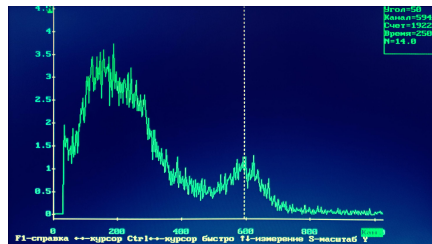


Рис 9. $\theta = 50^\circ$

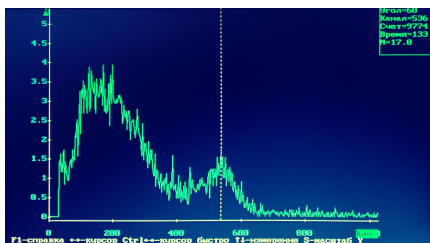


Рис 10. $\theta = 60^\circ$

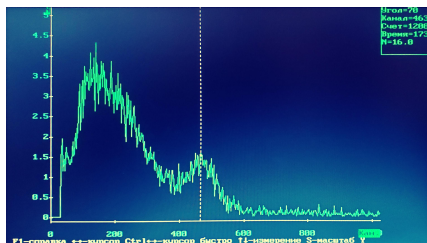


Рис 11. $\theta = 70^\circ$

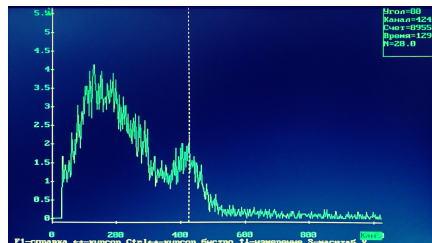


Рис 12. $\theta = 80^\circ$

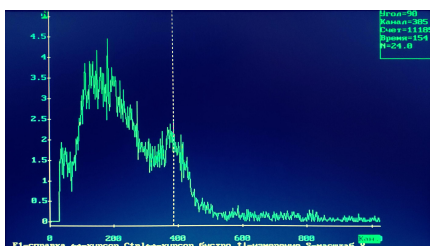


Рис 13. $\theta = 90^\circ$

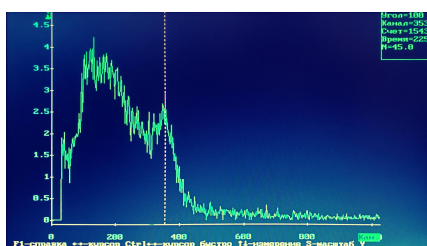


Рис 14. $\theta = 100^\circ$

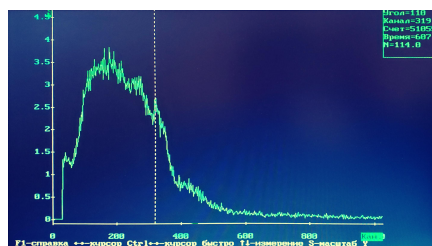


Рис 15. $\theta = 110^\circ$

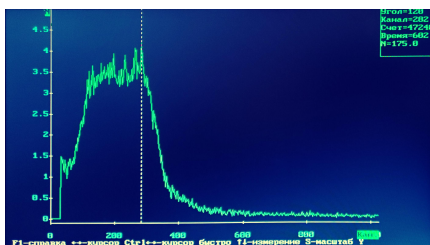


Рис 16. $\theta = 120^\circ$