



Московский Физико-Технический Институт

Отчет о выполнении лабораторной работы

5.1.2

Эффект Комптона

Выполнили:
Костылев Владислав
Шатров Игорь

Группа:
Б01-206

Аннотация

Цель работы: С помощью сцинтилляционного спектрометра исследуется энергетический спектр γ - квантов, рассеянных на графите. Определяется энергия рассеянных γ -квантов в зависимости от угла рассеяния, а также энергия покоя частиц, на которых происходит комптоновское рассеяние.

Содержание

1	Введение	3
2	Экспериментальная установка	3
3	Результаты измерений и обработка данных	4
4	Заключение	7
5	Список литературы	7

1 Введение

Рассеяние γ -лучей в веществе относится к числу явлений, в которых особенно ясно проявляется двойственная природа излучения. Волновая теория, хорошо объясняющая рассеяние длинноволнового излучения, испытывает трудности при описании рассеяния рентгеновских и γ -лучей. Эта теория, в частности, не может объяснить, почему в составе рассеянного излучения, измеренного Комптоном, кроме исходной волны с частотой ω_0 появляется дополнительная длинноволновая компонента, отсутствующая в спектре первичного излучения.

Появление этой компоненты легко объяснимо, если считать, что γ -излучение представляет собой поток квантов (фотонов), имеющих энергию $\hbar\omega$ и импульс $p = \hbar\omega/c$. Эффект Комптона - увеличение длины волны рассеянного излучения по сравнению с падающим - интерпретируется как результат упругого соударения двух частиц: γ -кванта (фотона) и свободного электрона.

Рассмотрим элементарную теорию эффекта Комптона. Пусть электрон до соударения покоился (его энергия равна энергии покоя mc^2), а γ -квант имел начальную энергию $\hbar\omega_0$ и импульс $\hbar\omega_0/c$. После соударения электрон приобретает энергию γmc^2 и импульс γmv , 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 γ -кванта становятся соответственно равным $\hbar\omega_1$ и $\hbar\omega_1/c$.

Запишем для рассматриваемого процесса законы сохранения энергии и импульса:

$$\begin{aligned} mc^2 + \hbar\omega_0 &= \gamma mc^2 + \hbar\omega_1 \\ \frac{\hbar\omega_0}{c} &= \gamma mv \cos \varphi + \frac{\hbar\omega_1}{c} \cos \theta \\ \gamma mv \sin \varphi &= \frac{\hbar\omega_1}{c} \sin \theta \end{aligned}$$

Решая совместно эти уравнения и переходя от частот ω_0 и ω_1 к длинам волн λ_0 и λ_1 , нетрудно получить, что изменение длины волны рассеянного излучения равно

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

где λ_0 и λ_1 - длины волн γ -кванта до и после рассеяния, а величина

$$\Lambda_K = \frac{h}{mc} = 2,42 \cdot 10^{-10} \text{ см}$$

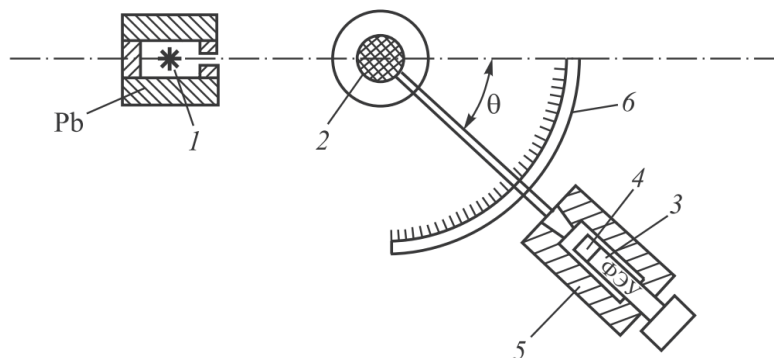
Основной целью данной работы является проверка соотношения (1). Применительно к условиям нашего опыта формулу (1) следует преобразовать от длин волн к энергии γ -квантов. Как нетрудно показать, соответствующее выражение имеет вид

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

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

2 Экспериментальная установка

Блок-схема установки изображена на рисунке ниже.



Источником излучения 1 служит ^{137}Cs , испускающий γ -лучи с энергией 662 кэВ. Он помещен в толстостенный свинцовый контейнер с коллиматором. Сформированный коллиматором узкий пучок γ -квантов попадает на графитовую мишень 2 (цилиндр диаметром 40 мм и высотой 100 мм).

Кванты, испытавшие комптоновское рассеяние в мишени, регистрируются сцинтилляционным счетчиком. Счетчик состоит из фотоэлектронного умножителя 3 (далее ФЭУ) и сцинтиллятора 4. Сцинтиллятором служит кристалл NaI(Tl) цилиндрической формы диаметром 40 мм и высотой 40 мм, его выходное окно находится в оптическом контакте с фотокатодом ФЭУ. Сигналы, возникающие на аноде ФЭУ, подаются на ЭВМ для амплитудного анализа. Кристалл и ФЭУ расположены в светонепроницаемом блоке, укрепленном на горизонтальной штанге.

3 Результаты измерений и обработка данных

Для обработки результатов используется формула (2) с замененными энергиями квантов на $N(\theta)$.

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

Далее, устанавливая сцинтилляционный датчик под разными углами мы получаем картины пиков, по которым мы измеряем уже номера каналов, в которых пик:

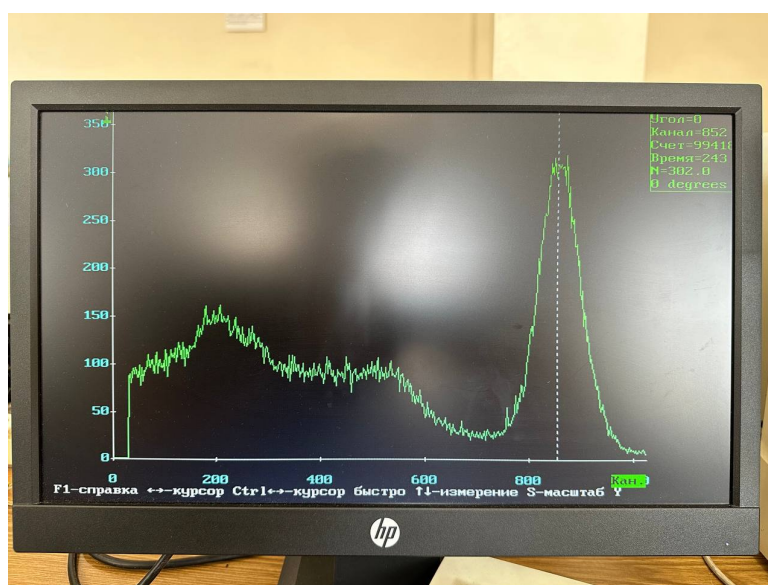


Рис. 1. $\theta = 0^\circ$

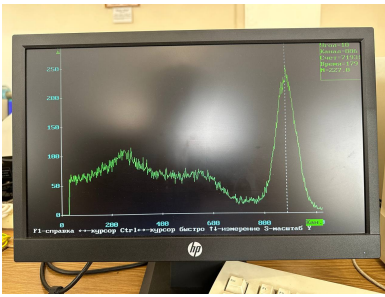


Рис. 2. $\theta = 10^0$

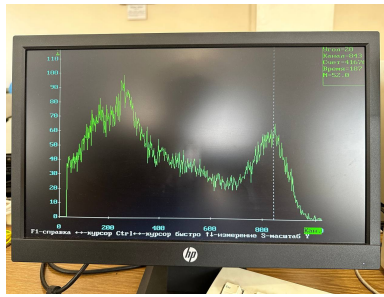


Рис. 3. $\theta = 20^0$

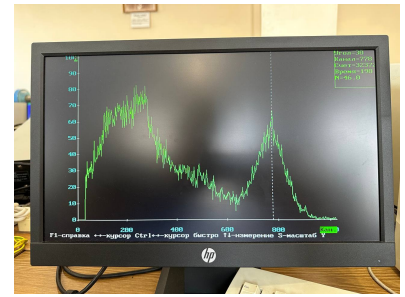


Рис. 4. $\theta = 30^0$

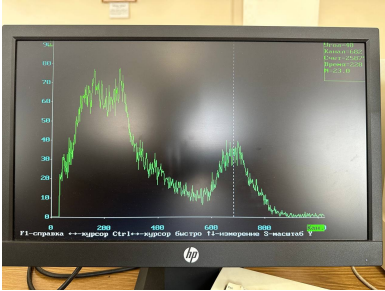


Рис. 5. $\theta = 40^0$

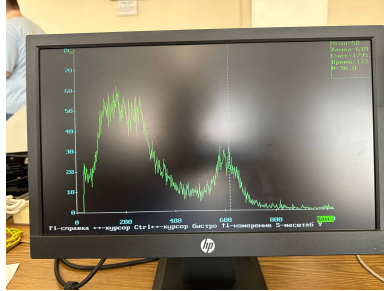


Рис. 6. $\theta = 50^0$

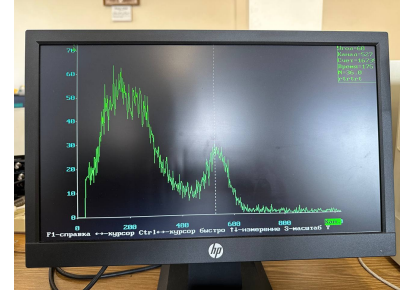


Рис. 7. $\theta = 60^0$

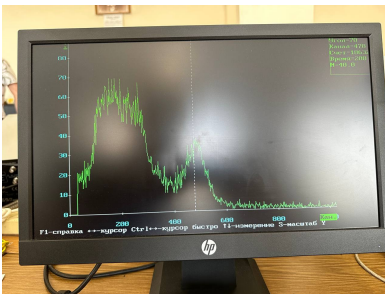


Рис. 8. $\theta = 70^0$

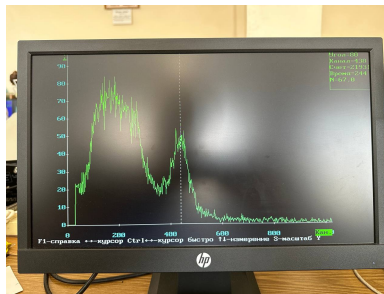


Рис. 9. $\theta = 80^0$

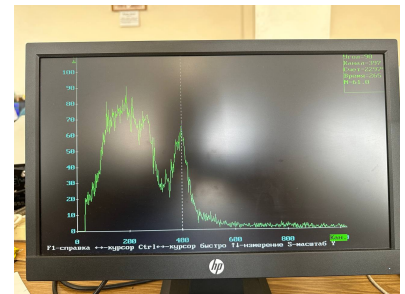


Рис. 10. $\theta = 90^0$

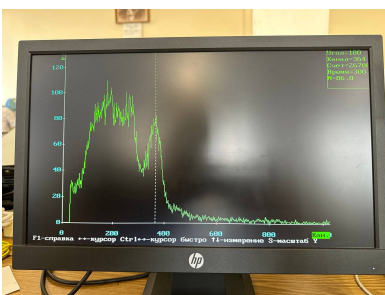


Рис. 11. $\theta = 100^0$

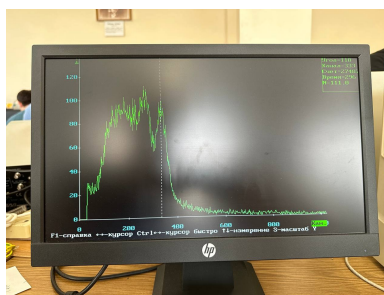


Рис. 12. $\theta = 110^0$

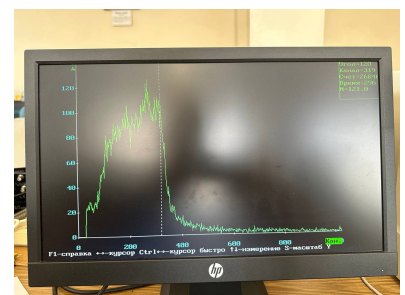
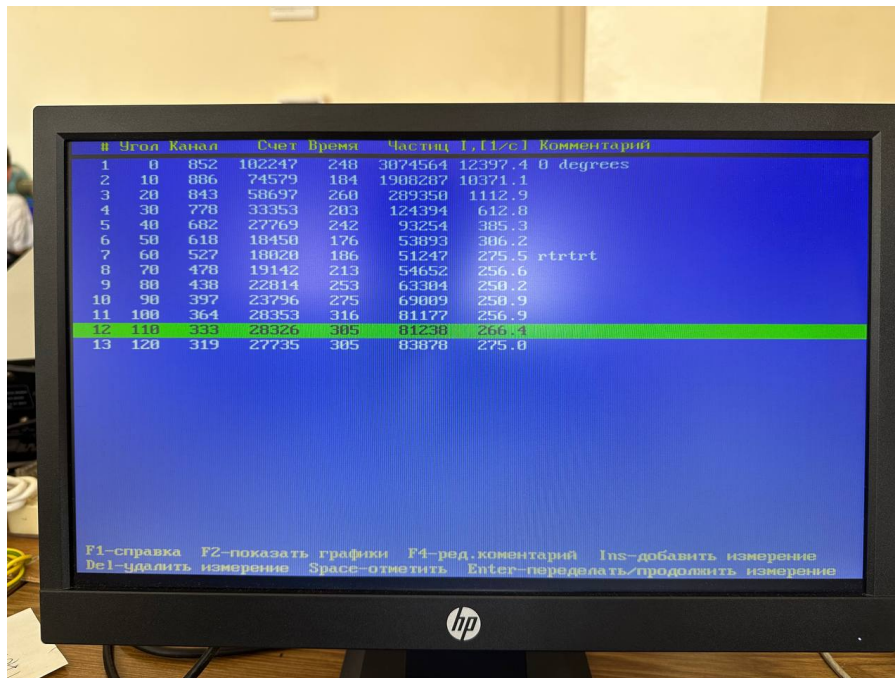


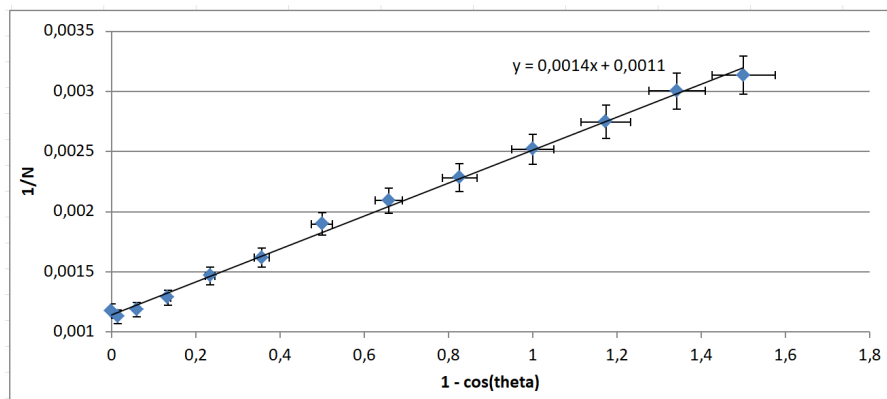
Рис. 13. $\theta = 120^0$

Отобразим это все в одной таблице:



Теперь построим график, используя формулу (3), откладывая по оси абсцисс $1 - \cos\theta$, а по оси ординат величину $1/N(\theta)$:

theta, градусы	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1 - cos(theta)	0	0,015192	0,060307	0,133975	0,233956	0,357212	0,5	0,65798	0,826352	1	1,173648	1,34202	1,5
N, номер канала	852	886	843	778	682	618	527	478	438	397	364	333	319
1/N	0,001174	0,001129	0,001186	0,001285	0,001466	0,001618	0,001898	0,002092	0,002283	0,002519	0,002747	0,003003	0,003135



С учётом связи между E и N :

$$mc^2 \left(\frac{1}{E(90)} - \frac{1}{E(0)} \right) = 1 \quad (4)$$

или

$$mc^2 = E(0) \frac{E(90)}{E(0) - E(90)} = E_\gamma \frac{N(90)}{N(0) - N(90)}, \quad (5)$$

где $E_\gamma = 662$ кэВ - энергия налетающего кванта, значение взято из экспериментальной установки.

Теперь определим энергию покоя частицы, на которой происходит комптоновское рассеяние первичных γ -частиц, используя формулы (4), (5). Для начала определим наилучшие значения N , для углов 90 и 0 градусов:

$$N_{\text{наил}}(0) = \frac{1}{\frac{1}{N(0)}} = \frac{1}{0,001142} = 876 \pm 14$$

$$N_{\text{наил}}(90) = \frac{1}{\frac{1}{N(90)}} = \frac{1}{0,001142 + 0,001371} = 398 \pm 9$$

Тогда:

$$mc^2 = 662 * \frac{398}{876 - 398} = (551 \pm 11) \text{ КэВ}$$

4 Заключение

В данной работе с помощью сцинтилляционного спектрометра было исследовано энергетическое распределение γ -квантов, рассеянных на графите.

Полученные экспериментальные данные позволили определить энергию рассеянных γ -квантов в зависимости от угла рассеяния, а также оценить энергию покоя частиц, на которых происходит комптоновское рассеяние.

5 Список литературы

- Ф. Ф. Игошин, Лабораторный практикум по общей физике. Квантовая физика. Физматкнига, 2012.
- И. В. Савельев, Курс общей физики: учебное пособие для вуза: в 5 томах. 6-е изд., стер. Т. 1: Механика. Лань, 2021.
- И. В. Савельев, Курс общей физики. В 5тт. Т. 5 Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: Учебное пособие. 5-е изд., испр. Лань, 2021.
- Ю. М. Ципенюк, Квантовая микро- и макрофизика. Физматкнига, 2006.