

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

## Отчёт о выполнении лабораторной работы 1.2

### Исследование эффекта Комптона

Авторы:

Тихонов Дмитрий Романович,  
студент группы Б01-206а

Павловский Кирилл Михайлович,  
студент группы Б01-206а

Долгопрудный, 2024

# 1 Введение

**Цель работы:** исследовать энергетический спектр  $\gamma$ -квантов, рассеянных на графите и определить их энергию в зависимости от угла рассеяния, а также энергию покоя частиц, на которых происходит комптоновское рассеяние

**В работе используются:** источник излучения, графитовая мишень, сцинтилляционный спектрометр, фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), ЭВМ

# 2 Теоретические сведения

Эффект Комптона – увеличение длины волны рассеянного излучения по сравнению с падающим в результате упругого соударения двух частиц:  $\gamma$ -кванта и свободного электрона.

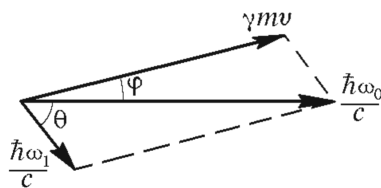


Рис. 1: Векторная диаграмма рассеяния  $\gamma$ -кванта на электроне

Запишем для рассматриваемого процесса (рис. 1) ЗСЭ и ЗСИ:

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

Решая совместно эти уравнения и переходя от частот  $\omega_0$  и  $\omega_1$  к длинам волн  $\lambda_0$  и  $\lambda_1$ , нетрудно получить, что изменение длины волны рассеянного излучения равно

$$\lambda_1 - \lambda_0 = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta) = \Lambda_{\text{к}} (1 - \cos \theta), \quad (1)$$

где

$$\Lambda_{\text{к}} = \frac{h}{mc} = 2.42 \cdot 10^{-10} \text{ см}$$

называется комптоновской длиной волны электрона.

В приведенном выводе электрон в атоме считается свободным. Для  $\gamma$ -квантов с энергией в несколько десятков, а тем более сотен кэВ, связь электронов в атоме, действительно, мало существенна, так как энергия их связи в легких атомах не превосходит нескольких кэВ, а для большинства электронов еще меньше.

Применительно к условиям нашей работы формулу (1) следует преобразовать от длин волн к энергии  $\gamma$ -квантов

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

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

### 3 Методика измерений и экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки отображена на рис. 2.

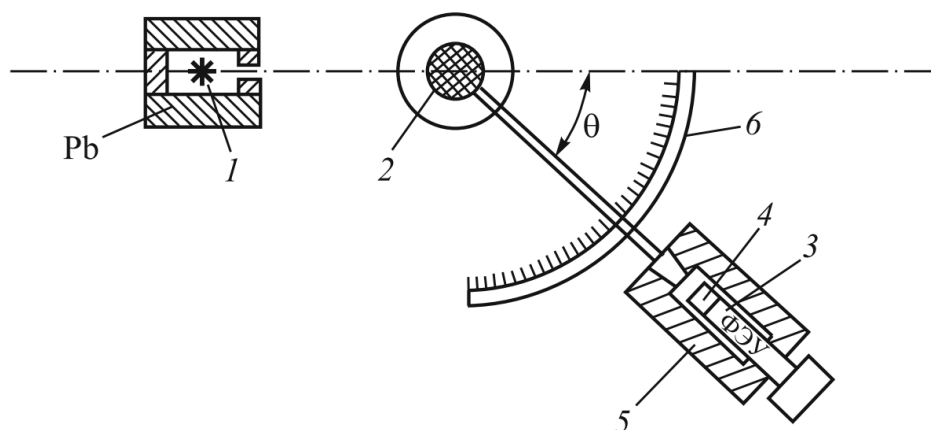


Рис. 2: Схема экспериментальной установки

Сформированный коллиматором узкий пучок  $\gamma$ -квантов попадает на графитовую мишень. Кванты, испытавшие комптоновское рассеяние в мишени, регистрируются сцинтилляционным счетчиком, состоящим из сцинтиллятора и ФЭУ, работающего от высоковольтного источника напряжения. Сигнал, генерируемый ФЭУ, обрабатывается АЦП компьютера, и соответствующий график выводится на экран.

## 4 Результаты измерений и обработка данных

Заменим в формуле (2) энергию квантов, испытавших комптоновское рассеяние на угол  $\theta$ , номер канала  $N(\theta)$ , соответствующего вершине фотопика при указанном угле  $\theta$ . Обозначая буквой  $A$  неизвестный коэффициент пропорциональности между  $\varepsilon(\theta)$  и  $N(\theta)$ , найдём:

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

Представим экспериментальные результаты (табл. 1) в виде графика на рис. 3, откладывая по оси абсцисс  $1 - \cos(\theta)$ , а по оси ординат –  $1/N(\theta)$ .

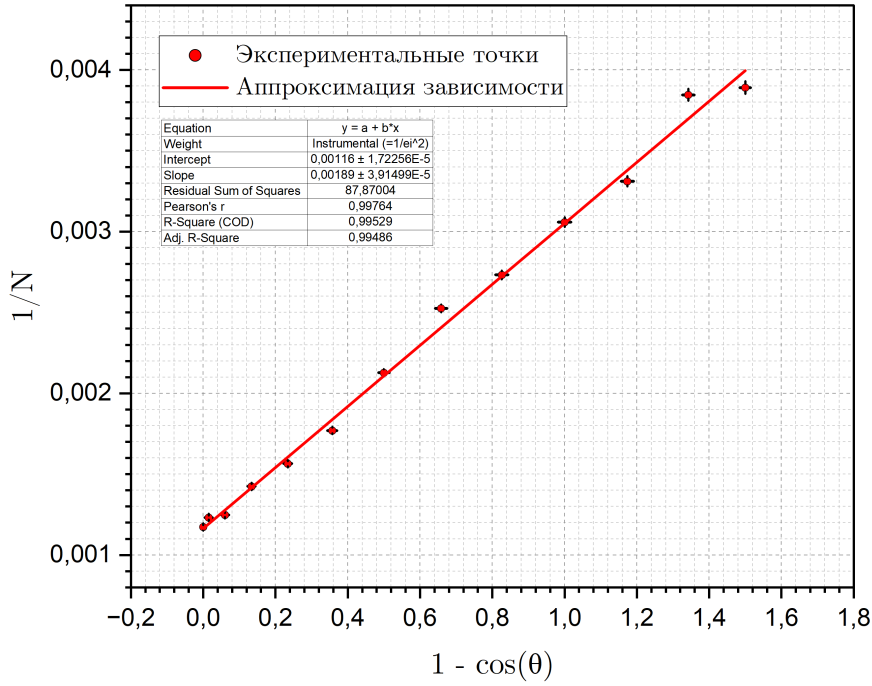


Рис. 3: График зависимости  $\frac{1}{N} = f(1 - \cos \theta)$

По пересечению графика с осью ординат определим  $N(0)$ :

$$N(0) = (860 \pm 15),$$

где  $N(0) = \frac{1}{b}$ , а  $\varepsilon_{N(0)} = \frac{\sigma_b}{b}$ .

По пересечению графика с прямой  $\cos \theta = 0$  определим  $N(90)$ :

$$N(90) = (330 \pm 5),$$

где  $N(90) = \frac{1}{b+a}$ , а  $\sigma_{N(90)} = \frac{1}{(a+b)^2} \sqrt{\sigma_b^2 + \sigma_a^2}$

Определим энергию покоя электронов, на которых происходили рассеяния гамма-квантов:

$$mc^2 = E_\gamma \frac{N(90)}{N(0) - N(90)} = (410 \pm 15) \text{ кэВ},$$

где  $E_\gamma = (662 \pm 1) \text{ кэВ}$  – энергия гамма-лучей, испускаемых источником.

Оценим погрешность определения  $mc^2$ :

$$\sigma_{mc^2} = \sqrt{\left( \frac{N(90)}{N(0) - N(90)} \sigma_{E_\gamma} \right)^2 + \left( \frac{N(90) E_\gamma}{(N(0) - N(90))^2} \sigma_{N(0)} \right)^2 + \left( E_\gamma \frac{N(0)}{(N(0) - N(90))^2} \sigma_{N(90)} \right)^2}$$

## 5 Заключение

По результатам работы, исследовали эффект Комптона на графитовом образце с помощью сцинтилляционного спектрометра. Выяснили зависимость энергии рассеянного  $\gamma$ -кванта от угла рассеяния, а также определили по порядку величины энергию покоя электрона.

Приложение

$\theta,^\circ$	$\Delta\theta,^\circ$	$N, \text{ кан.}$	$\Delta N, \text{ кан.}$
0	1	852	8,52
10		812	8,12
20		801	8,01
30		702	7,02
40		639	6,39
50		565	5,65
60		470	4,70
70		396	3,96
80		366	3,66
90		327	3,27
100		302	3,02
110		260	2,60
120		257	2,57

Таблица 1: Экспериментальные данные