

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФИЗТЕХ-ШКОЛА ЭЛЕКТРОНИКИ, ФОТОНИКИ
И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

Лабораторная работа № 5.1.2

Исследование эффекта Комптона

выполнил студент 3 курса
группы Б04-006
Белостоцкий Артемий

Долгопрудный, 2022 г.

Аннотация

В данной работе исследуется эффект Комптона – рассеяния γ -квантов на частицах, масса покоя которых рассчитывается из экспериментальных данных.

Теоретические сведения

Эффектом Комптона называют изменение длины волны электромагнитного излучения при рассеянии. Впервые этот эффект наблюдался Комптоном (1923 г.) при рассеянии рентгеновских лучей.

Приведем расчет эффекта Комптона квантов рентгеновского излучения на неподвижных частицах массой m .

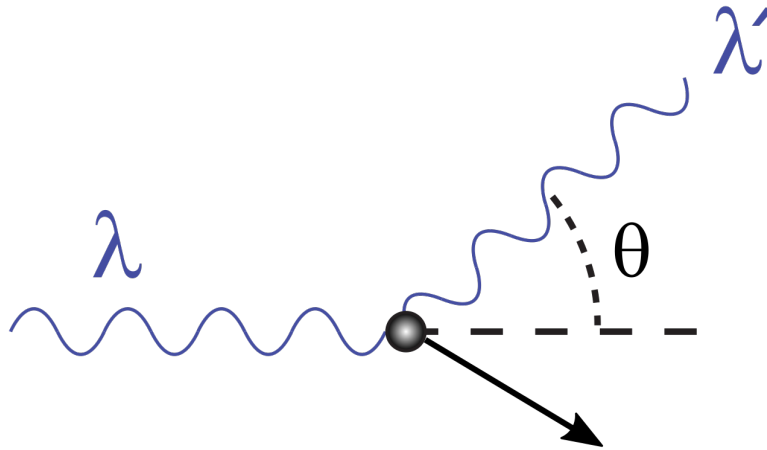


Рис. 1: Графическая схема эффекта Комптона на неподвижной частице

Запишем закон сохранения 4-импульса:

$$\begin{aligned}
 P_{\gamma}^{\mu} &= \begin{bmatrix} \frac{h\nu}{c} \\ \frac{h\nu}{c} \\ 0 \end{bmatrix} \\
 P_m^{\mu} &= \begin{bmatrix} \frac{mc^2}{c} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\
 P_{\gamma}'^{\mu} &= \begin{bmatrix} \frac{h\nu'}{c} \\ \frac{h\nu'}{c} \cos \theta \\ \frac{h\nu'}{c} \sin \theta \end{bmatrix} \\
 P_m'^{\mu} &= \begin{bmatrix} \frac{E}{c} \\ p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} \\
 P_{\gamma}^{\mu} + P_m^{\mu} &= P_{\gamma}'^{\mu} + P_m'^{\mu} \\
 P_{\gamma}^{\mu} + P_m^{\mu} - P_{\gamma}'^{\mu} &= P_m'^{\mu}
 \end{aligned}$$

Возведем обе части равенства в квадрат, учитывая что $(P_m'^{\mu}, P_m'^{\mu}) = m^2 c^4$

Пропуская математические выкладки, получим:

$$mc^2 \left(\frac{1}{h\nu'(\theta)} - \frac{1}{h\nu} \right) = 1 - \cos \theta \quad (1)$$

Экспериментальная установка

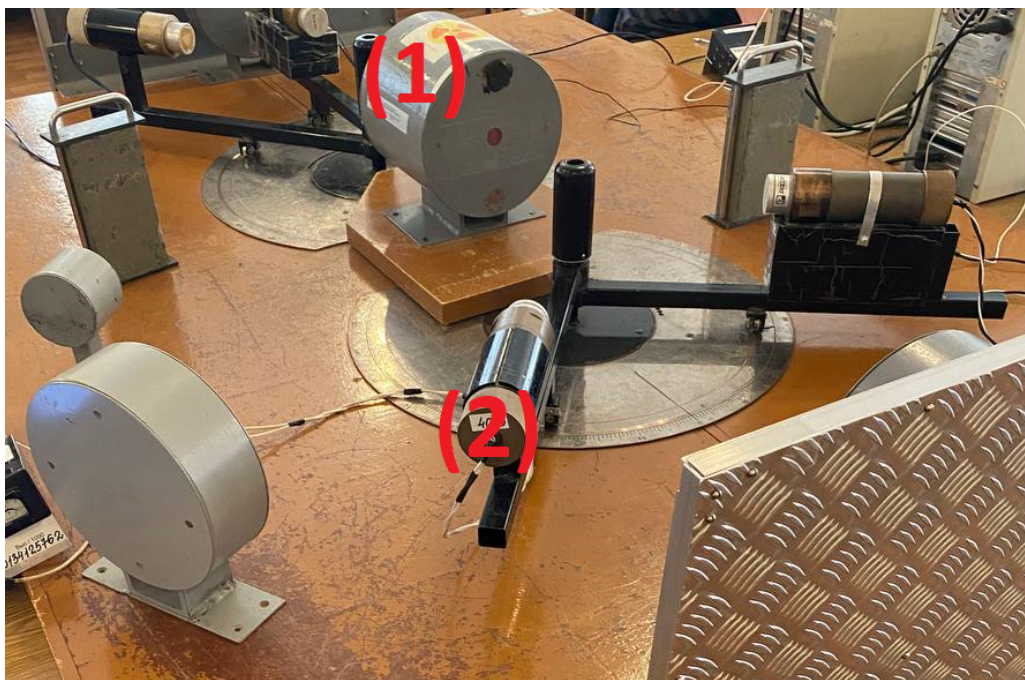


Рис. 2: Экспериментальная схема. (1) – источник γ -лучей, (2) – ФЭУ

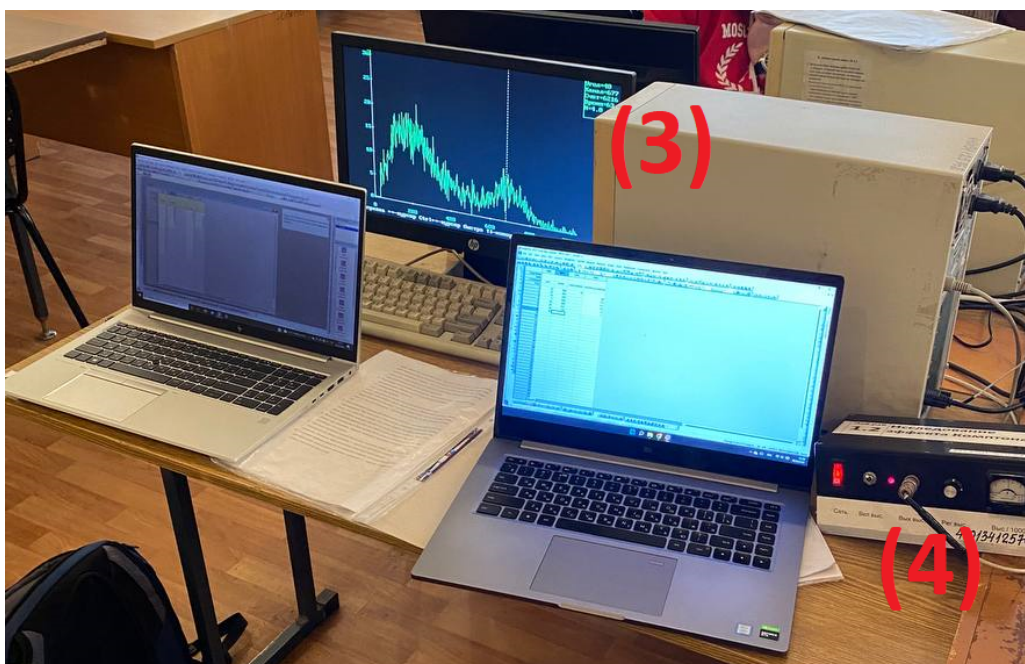


Рис. 3: Экспериментальная схема. (3) – компьютер, подключенный к ФЭУ, (4) – блок управления ФЭУ

Ход работы

Так как энергия γ -кванта пропорциональна номеру в анализаторе, то формула (1) может быть представлена в виде:

$$\frac{1}{N(\theta)} = A + B(1 - \cos(\theta + \theta_0)), \quad (2)$$

где A, B, θ_0 – некоторые константы. Добавка θ_0 связана с неидеальной центровкой всей системы.

Снимем зависимость $N(\theta)$, построим соответствующий график и аппроксимируем соответствующей функцией, представленной выше:

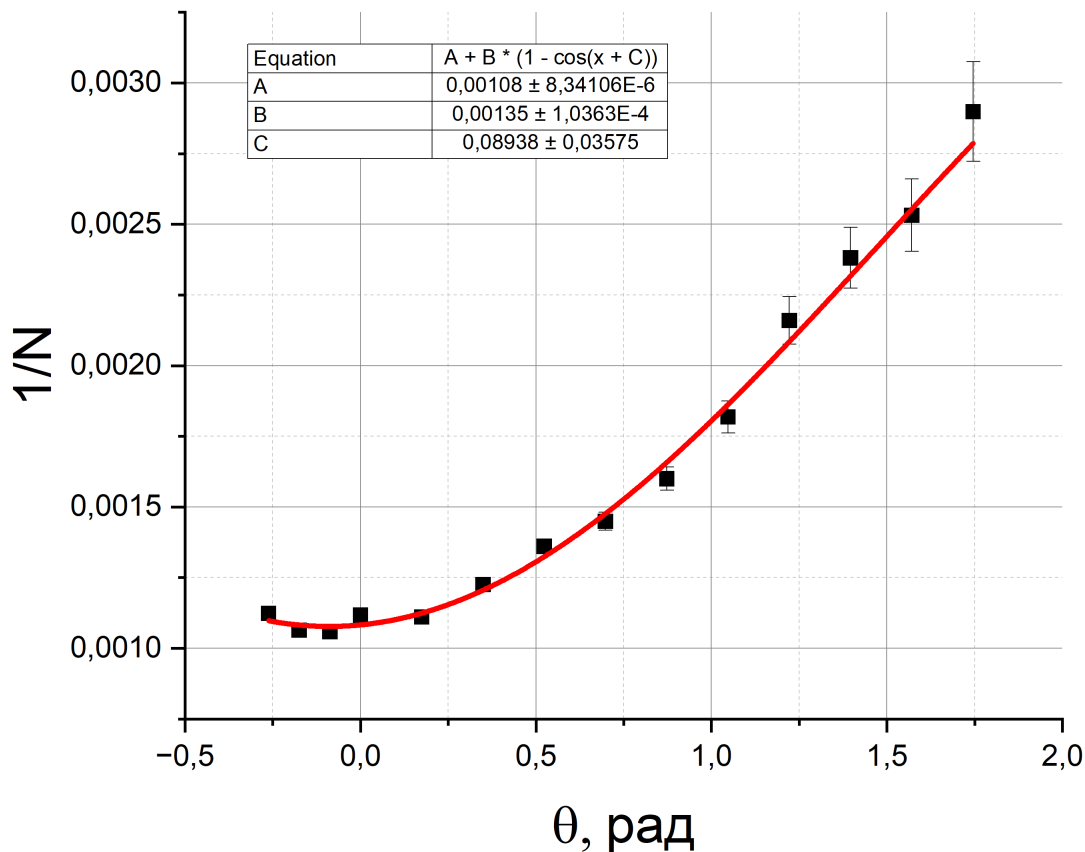


Рис. 4: Зависимость $N(\theta)$

Положим в формуле (2) $\theta = \frac{\pi}{10}$ и, учитывая что $N(\theta) \sim h\nu(\theta)$, найдем массу покоя частиц, на которых происходит рассеяние:

$$mc^2 = h\nu \frac{N(\frac{\pi}{10})(1 - \cos(\frac{\pi}{10} + \theta_0))}{N(0) - N(\frac{\pi}{10})},$$

В нашем случае источником является ^{137}Cs , тогда $h\nu = 662$ кэВ, тогда масса покоя:

$$mc^2 \approx (556 \pm 111) \text{ кэВ}$$

Комптоновский край рассеяния

Теоретическое значение для края комптоновского рассеяния:

$$E_{\text{к}} = \frac{h\nu}{1 + \frac{mc^2}{h\nu}}$$

Найдем коэффициент пропорциональности между энергиями и номером канала (для нулевого угла):

$$k = \frac{E(0)}{N(0)} = \frac{662}{895} \approx 0,74 \text{ кэВ}$$

Тогда, измерив по спектру номер канала, соответствующего краю комптоновского рассеяния ($N_{\text{к}} = 570$) можно также оценить массу покоя электрона:

$$mc^2 \approx 378 \text{ кэВ}$$

Расхождение с теоретическим значением может быть связано с неточным определением комптоновского края на спектре.

Выводы

- В ходе работы была получена масса покоя ($mc^2 = (556 \pm 111) \text{ кэВ}$) частицы (электрона), на которой происходит Комптоновское рассеяние, причем полученные данные хорошо соотносятся с теоретическими ($m_e c^2 = 511 \text{ кэВ}$)

Приложение

В приложении приведем спектры полученные на лабораторном компьютере.

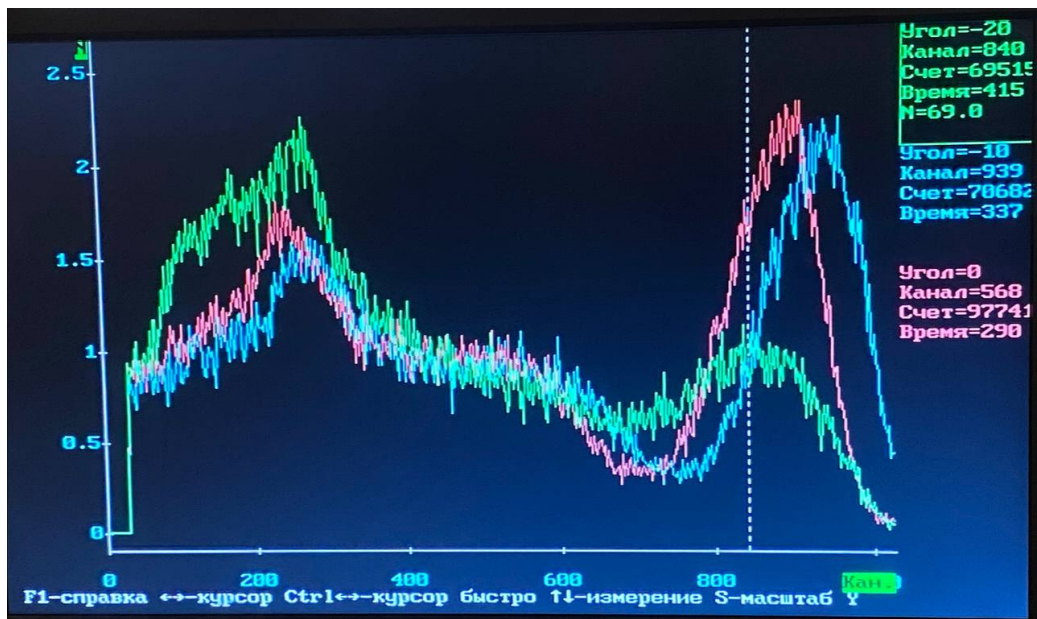


Рис. 5: Картина спектра γ -излучения, полученная на компьютере для различных углов рассеяния

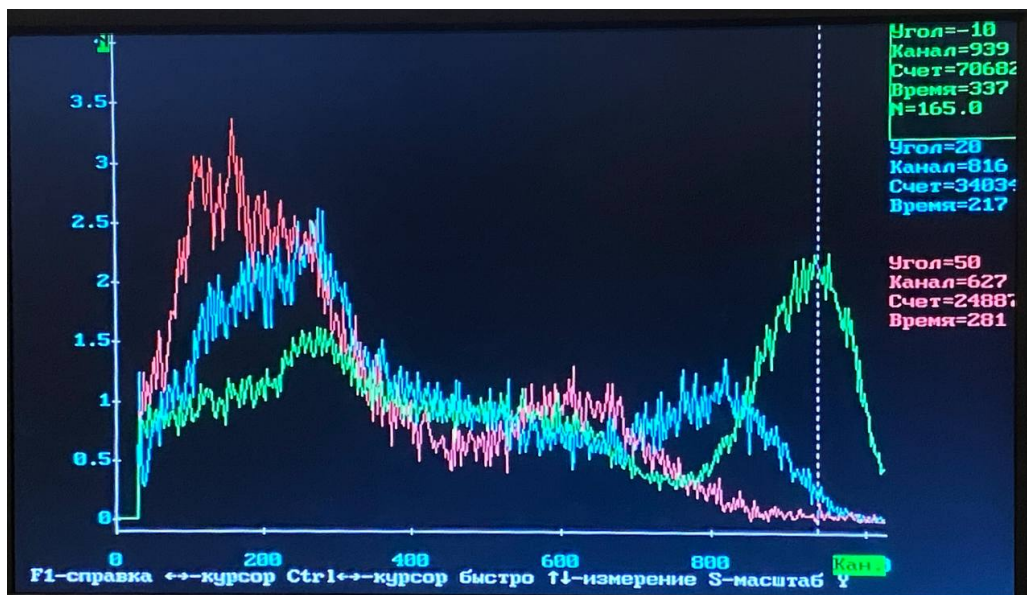


Рис. 6: Картина спектра γ -излучения, полученная на компьютере для различных углов рассеяния