

Московский физико-технический институт  
(государственный университет)

Лабораторная работа по общему курсу физики  
Квантовая физика

### **5.1.2. Эффект Комптона**

Глаз Роман Сергеевич  
Группа Б01-008а

Долгопрудный  
2022

# Содержание

|   |                                |   |
|---|--------------------------------|---|
| 1 | Теоретическое введение         | 1 |
| 2 | Экспериментальная установка    | 2 |
| 3 | Ход работы                     | 3 |
| 4 | Заключение                     | 5 |
| 5 | Список используемой литературы | 5 |

**Цель работы:** с помощью сцинтиляционного спектрометра исследуется энергетический спектр  $\gamma$ -квантов, рассеянных на графите. Определяется энергия рассеянных  $\gamma$ -квантов в зависимости от угла рассеяния, а также энергия покоя частиц, на которых происходит комптоновское рассеяние.

## 1. Теоретическое введение

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

Из закона сохранения 4-импульса для системы «фотон + электрон» следует формула для изменения длины волны рассеянного излучения:

$$\Delta\lambda = \Lambda_K(1 - \cos\theta), \quad (*)$$

где величина  $\Lambda_K = h/(mc) = 2,42 \cdot 10^{-10}$  см называется комптоновской длиной волны электрона.

Из формулы (\*) следует, что комптоновское смещение не зависит ни от длины волны первичного излучения, ни от рода вещества, в котором наблюдается рассеяние. В общем случае комптоновское рассеяние происходит на свободных электронах в атоме. Для  $\gamma$ -квантов с энергией в несколько десятков, а тем более сотен килоэлектрон-вольт, связь электронов в атоме мало существенна, так как энергия их связи в легких атомах не превосходит нескольких килоэлектрон-вольт, а для большинства электронов еще меньше.

При рассеянии на связанных электронах изменение импульса кванта воспринимается атомом в целом. Поскольку масса атома очень велика, передача импульса не сопровождается сколь-нибудь заметной передачей энергии, и наблюдается несмещенная (по энергии) компонента в спектре рассеянного излучения. Таким образом, рассеяние  $\gamma$ -квантов на связанных электронах можно рассматривать как упругое столкновение квантов с атомами.

Основной целью данной работы является проверка соотношения (\*). Применительно к условиям нашего опыта формулу (\*) следует преобразовать от длин волн к энергиям  $\gamma$ -квантов. Как нетрудно показать, соответствующее выражение имеет вид:

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

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

Заменим в формуле (\*\*) энергию квантов, испытавших комптоновское рассеяние на угол  $\theta$ , номером канала  $N(\theta)$ , соответствующего вершине фотопика при

указанном угле  $\theta$ :

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

где  $A$  – неизвестный коэффициент пропорциональности между  $\varepsilon(\theta)$  и  $N(\theta)$ .

## 2. Экспериментальная установка

Блок-схема установки изображена на рис. 1. Источником излучения 1 служит  $^{137}\text{Cs}$ , испускающий  $\gamma$ -лучи с энергией 662 кэВ. Он помещен в толстенный свинцовый контейнер с коллиматором. Сформированный коллиматором узкий пучок  $\gamma$ -квантов попадает на графитовую мишень 2 (цилиндр диаметром 40 мм и высотой 100 мм.)

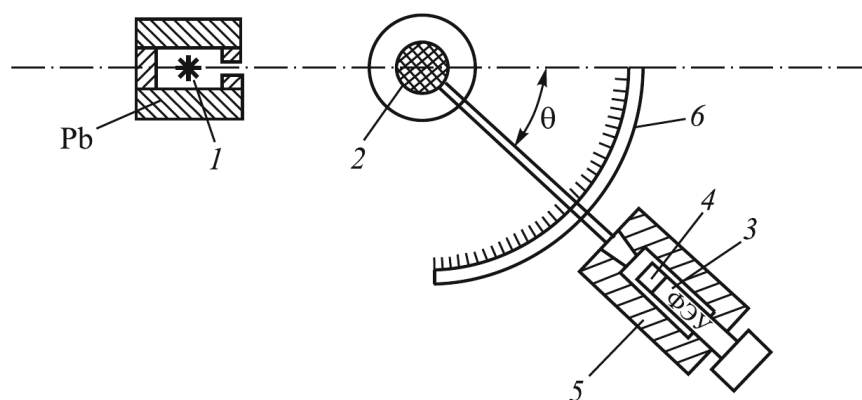


Рис. 1: Блок-схема экспериментальной установки

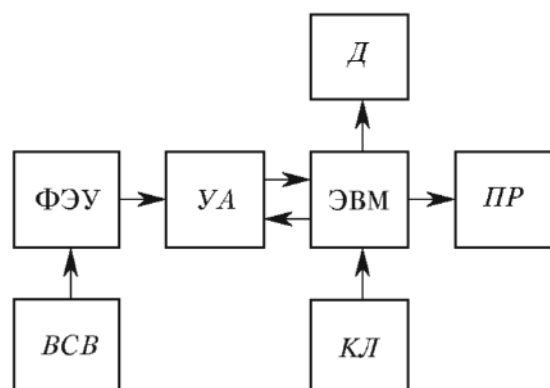


Рис. 2: Блок-схема измерительного комплекса

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 ФЭУ, подаются на ЭВМ для амплитудного анализа. Кристалл и ФЭУ расположены в светонепроницаемом блоке, укрепленном на горизонтальной штанге. Штанга вместе с этим блоком может вращаться относительно мишени, угол поворота отсчитывается по лимбу 6.

На рис. 2 представлена функциональная блок-схема измерительного комплекса, который состоит из ФЭУ, питаемого от высоковольтного выпрямителя ВСВ, обеспечивающего работу ФЭУ в спектрометрическом режиме, усилителя-анализатора УА, являющегося входным интерфейсом ЭВМ, управляемой с клавиатуры КЛ. В ходе проведения эксперимента информация отражается на экране дисплея Д, окончательные результаты в виде таблиц и графиков могут быть выведены на принтер ПР.

### 3. Ход работы

С помощью установки снимем зависимость  $N(\theta)$ , которая имеет следующий вид:

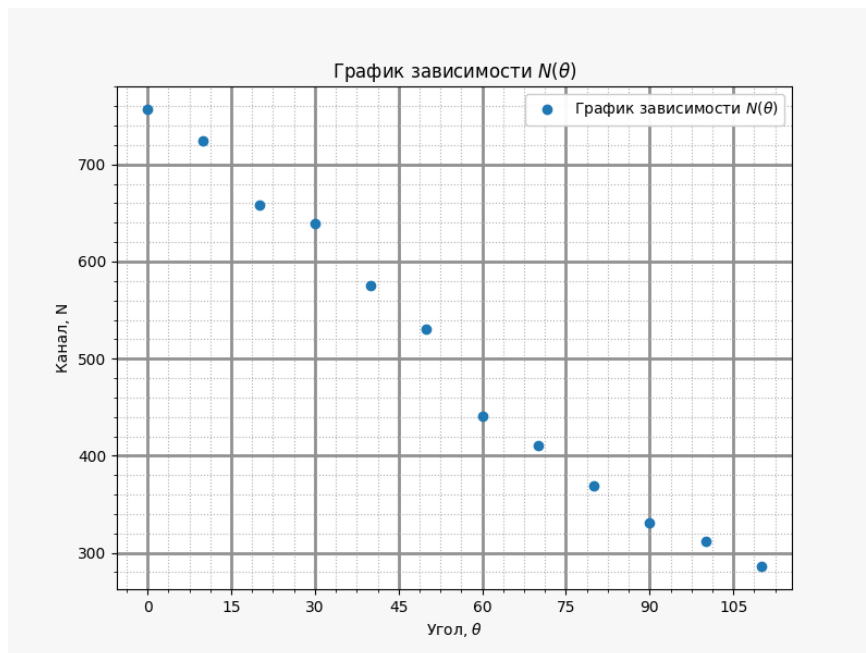


Рис. 3: График зависимости  $N(\theta)$

Теперь проверим выполнимость формулы Комптона:

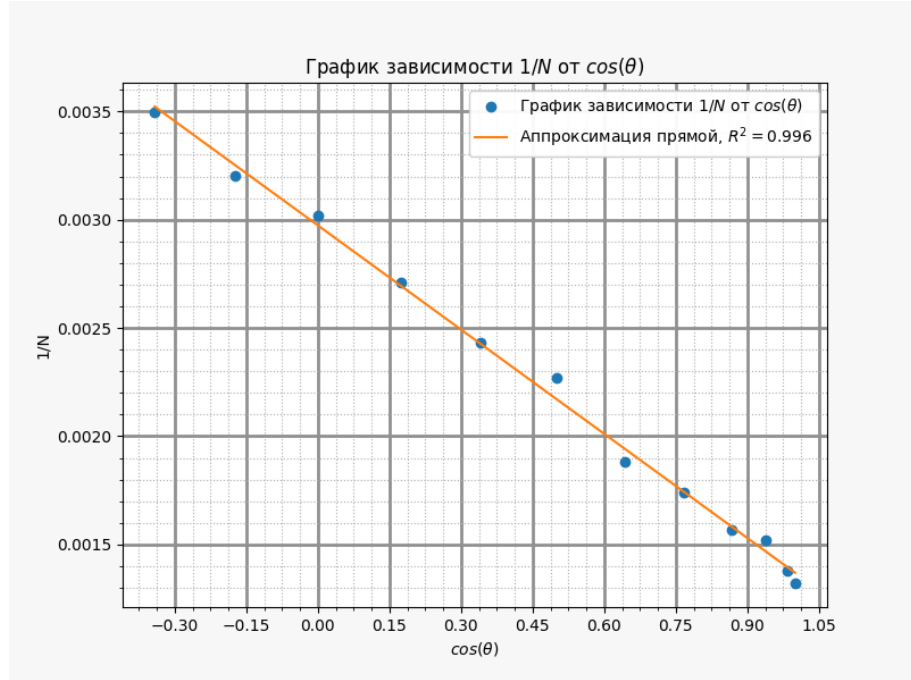


Рис. 4: График зависимости  $1/N$  от  $\cos(\theta)$

Таким образом, выполняется линейная комптоновская зависимость  $1/N \sim 1/\varepsilon$  от  $\cos(\theta)$  с коэффициентом корреляции  $R^2 = 0.996$ :

$$\frac{1}{N} = b - a \cdot \cos \theta, \quad b = (2.97 \pm 0.10) \cdot 10^{-3}, \quad a = (1.60 \pm 0.06) \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

Теперь определим энергию покоя частицы, на которой происходит комптоновское рассеяние, воспользовавшись формулой Комптона:

$$mc^2 = \varepsilon(0) \frac{\varepsilon(90)}{\varepsilon(0) - \varepsilon(90)} = \varepsilon(0) \frac{N(90)}{N(0) - N(90)}, \quad \varepsilon(0) = \varepsilon_{Cs} = 662 \text{ КэВ} \quad (2)$$

$$N(0) = \frac{1}{b - a} = (0.730 \pm 0.084) \cdot 10^3, \quad N(90) = \frac{1}{b} = (0.337 \pm 0.011) \cdot 10^3$$

$$mc^2 = (567 \pm 155) \text{ КэВ} \quad (3)$$

Полученное значение в пределах погрешности совпадает с табличным значением энергии покоя электрона  $mc^2 = 511 \text{ КэВ}$ .

## 4. Заключение

Таким образом, проверена комптоновская зависимость энергии рассеянного фотона от угла рассеяния, а также найдено значение энергии покоя электрона

$$mc^2 = (567 \pm 155) \text{ КэВ}, \quad (4)$$

которое в пределах погрешности совпадает с табличным значением энергии покоя электрона  $mc^2 = 511 \text{ КэВ}$ .

## 5. Список используемой литературы

- Лабораторный практикум по общей физике. Квантовая физика
- [Описание лабораторных работ на кафедре общей физики МФТИ](#)