

# Лабораторная работа 1. 2.

## Исследование эффекта Комптона

Лось Денис (группа 618)

26 сентября 2018

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

### Теоритическое введение

Рассеяние  $\gamma$ -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  $\gamma$ -лучей. Эта теория, в частности, не может объяснить, почему в составе рассеянного излучения, измеренного Комптоном, кроме исходной волны с частотой  $\omega_0$  появляется дополнительная длинноволновая компонента, отсутствующая в спектре первичного излучения.

Появление этой компоненты легко объяснимо, если считать, что  $\gamma$ -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:  $\gamma$ -кванта(фотона) и свободного электрона.

Рассмотрим элементарную теорию эффекта Комптона. Пусть электрон до соударения покоился (его энергия равна энергии покоя  $mc^2$ ), а  $\gamma$ -квант имел начальную энергию  $\hbar\omega_0$  и импульс  $\hbar\omega_0/c$ . После соударения электрон приобретает энергию  $\gamma mc^2$  и импульс  $\gamma mv$ , где  $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$ ,  $\beta = v/c$ , а  $\gamma$ -квант рассеивается на некоторый угол  $\theta$  по отношению к первоначальному направлению движения. Энергия и импульс кванта становятся соответственно равными  $\hbar\omega_1$  и  $\hbar\omega_1/c$ .

Законы сохранения энергии и импульса:

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

Решив совместно эти уравнения и сделав переход от частот  $\omega_0$  и  $\omega_1$  к длинам волн  $\lambda_0$  и  $\lambda_1$ , получим, что изменение длины волны рассеянного излучения равно

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

где  $\lambda_0$  и  $\lambda_1$  — длины волн  $\gamma$ -кванта до и после рассеяния, а величина

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

называется комптоновской длиной волны.

Преобразованное выражение (1) от длин волн к энергии  $\gamma$ -квантов

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

Здесь  $\varepsilon_0 = E_0/(mc^2)$  — выраженная в единицах  $mc^2$  энергия  $\gamma$ -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 (2) энергию квантов, испытавших комптоновское рассеяние на угол  $\theta$ , номеров канала  $N(\theta)$ , соответствующего вершине фотопика при указанном угле  $\theta$ . Обозначая буквой  $A$  неизвестный коэффициент пропорциональности между  $\varepsilon(\theta)$  и  $N(\theta)$ , найдём

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

Для энергии покоя частицы имеем

$$mc^2 = E(0) \frac{E(90)}{E(0) - E(90)} = E_{\gamma} \frac{N(90)}{N(0) - N(90)}. \quad (4)$$

## Ход работы и результаты исследования

Снимем зависимость номера канала  $N(\theta)$  от угла  $\theta$  и построим график зависимости  $1/N(\theta)$  от  $1 - \cos \theta$ , принимая во внимание ошибку измерений. По полученному графику проведём наилучшую прямую и определим энергию покоя частицы.

Угол отклонения $\theta^\circ$	Номер канала $N(\theta)$	$1/N(\theta) \cdot 10^{-3}$
0	964	1.04
10	941	1.06
20	813	1.23
30	765	1.31
40	704	1.42
50	612	1.63
60	533	1.88
70	475	2.11
80	430	2.33
90	384	2.60
100	350	2.86
110	325	3.08
120	295	3.39

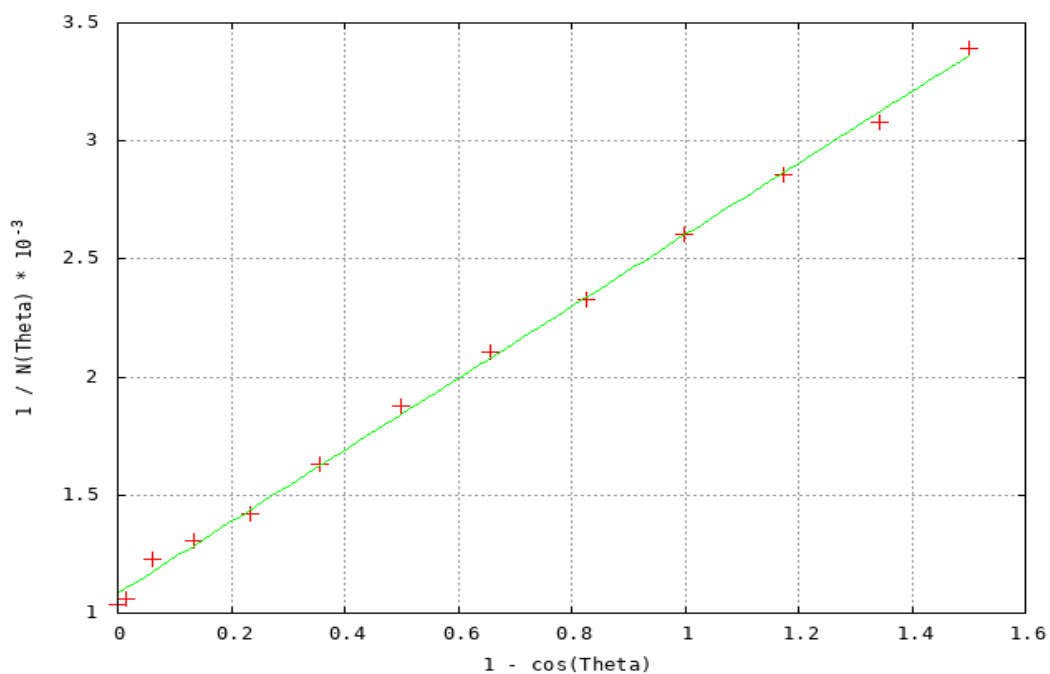


Рис. 1: График зависимости  $1/N(\theta) = f(1 - \cos \theta)$

Из графика получим, что коэффициент наклона графика  $\beta$  и  $N(0^\circ)$ , а также  $N(90^\circ)$  равны

$$\begin{aligned}\beta &= (15.2 \pm 0.2) \cdot 10^{-4} \\ N(0^\circ) &= (924 \pm 13) \\ N(90^\circ) &= (383 \pm 5)\end{aligned}$$

Следовательно, найденная энергия покоя электрона равна

$$mc^2 = E_\gamma \frac{N(90^\circ)}{N(0^\circ) - N(90^\circ)} = (469 \pm 14) \text{ кэВ}$$

Полученное значение лежит близко к известной величине  $E = 511 \text{ кэВ}$  для энергии покоя электрона, однако значения не находятся в пределах найденной абсолютной погрешности.