

Эффект Комптона

Шмаков Владимир - Б04-105

Цель работы

- Исследовать энергетическое распределение γ - квантов, рассеянных под разными углами
- Определить энергию покоя электрона

Теоретические сведения

Эффект Комптона был обнаружен в 1923 американским физиком Артуром Комптоном в ходе экспериментов с рентгеновским излучением.

По сути эффект Комптона очень похож на фотоэффект. Только теперь наряду с энергией проявляется и импульс фотона. Рассмотрим столкновение фотона с покоящимся электроном (рисунок 1).

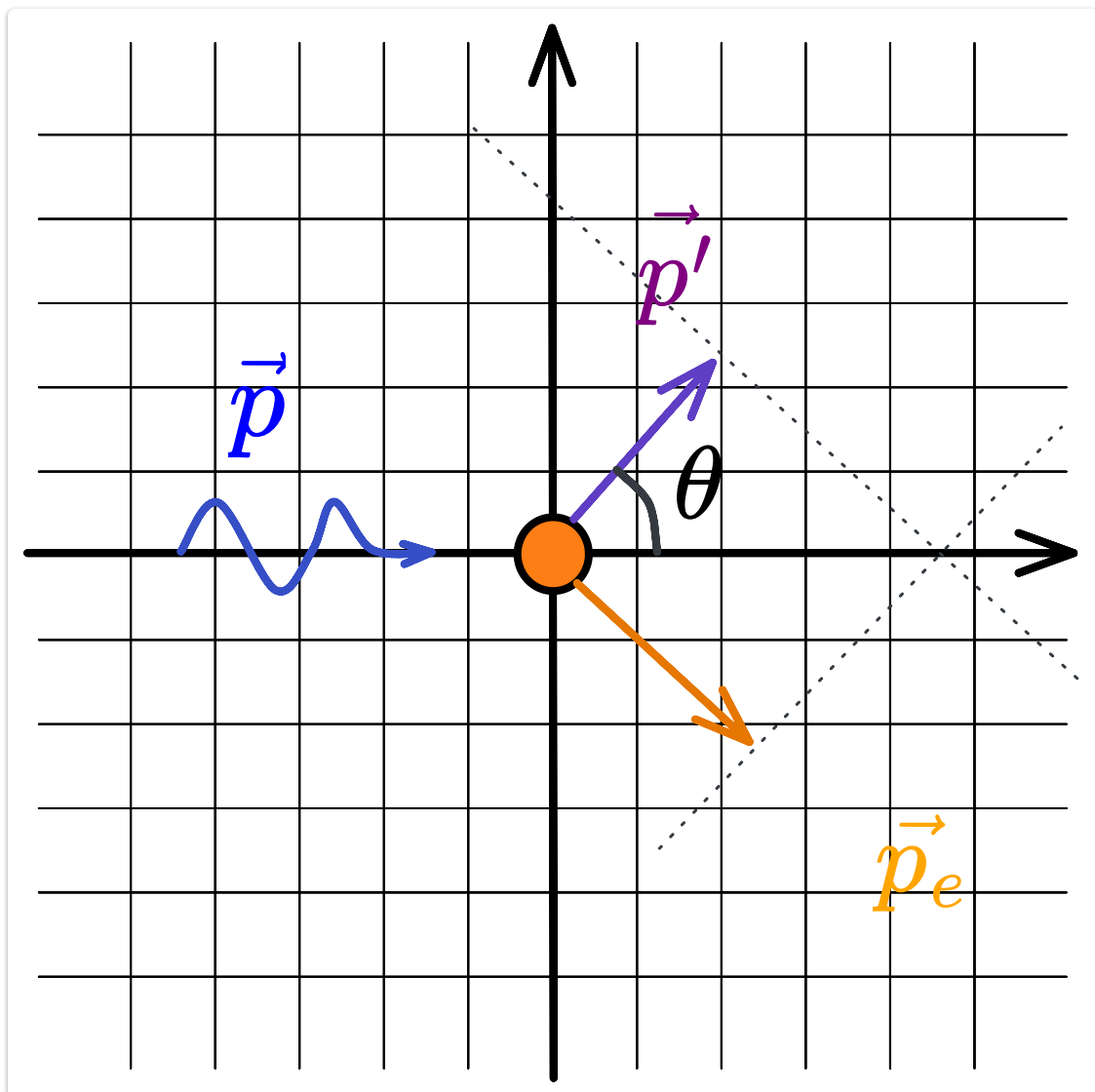


Рисунок 1. Рассеивание фотона на покоящемся электроне.

Запишем законы сохранения энергии и импульса:

$$\begin{cases} \hbar\omega + m_e c^2 - \hbar\omega' = E_e \\ \vec{p} - \vec{p}' = \vec{p}_e \end{cases} \quad (1)$$

Выразив из формулы (1) энергию и импульс электрона, запишем выражение для релятивистского инварианта.

$$\frac{(\hbar\omega + m_e c^2 - \hbar\omega')^2}{c^2} - (\vec{p} - \vec{p}')^2 = \frac{E_e^2}{c^2} - p_e^2 = m_e^2 c^2 \quad (2)$$

Из формулы (2) можем выразить круговую частоту рассеянного фотона:

$$\omega' = \frac{w}{1 + \frac{\hbar\omega}{m_e c^2} (1 - \cos(\theta))} \quad (3)$$

Перепишем соотношение (3) в терминах длин волн:

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{mc} (1 - \cos(\theta)) = \lambda + \Lambda (1 - \cos(\theta)) \quad (4)$$

Получившаяся в выражении (4) константа $\Lambda = 2.4 \cdot 10^{-10} \text{ см}$ называется комптоновской длиной волны электрона.

Методика

Оборудование

- Графитовая мишень
- Источник γ - излучения
- Коллиматор
- Сцинтилляционный счётчик

Экспериментальная установка

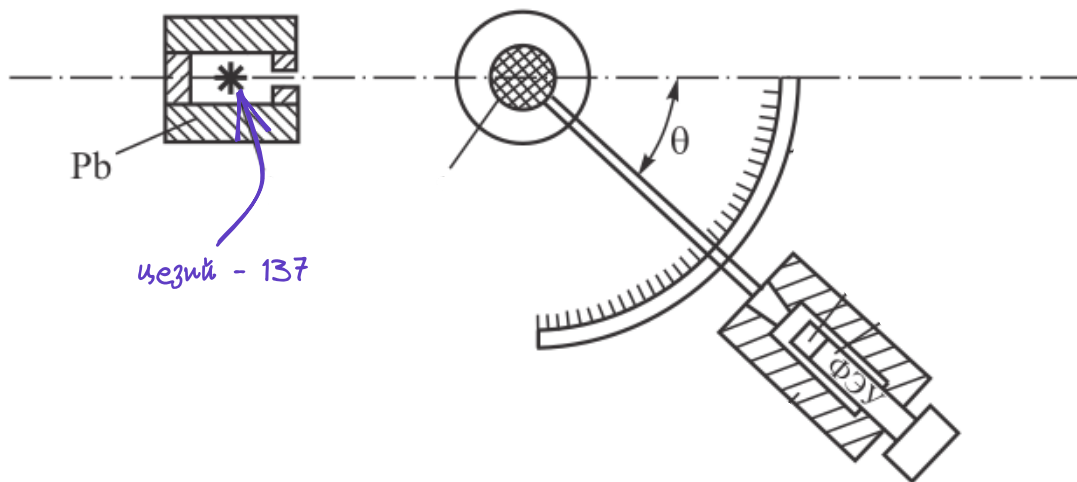


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки изображена на рисунке 2. Блок-схема установки изображена на рис. 3. Источником излучения 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 (цилиндр диаметром 40 мм и высотой 100 мм). Кванты, испытавшие комптоновское рассеяние в мишени, регистрируются сцинтилляционным счетчиком.

Обработка результатов эксперимента

Первый набор данных

Проанализируем таблицу, полученную в ходе эксперимента. При сборе данных погрешность нахождения положения фотопика определялась на глаз.

θ	N	σN	θ	N	σN	θ	N	σN	θ	N	σN
0	866	20	70	448	18	60	515	20	10	856	20
15	791	20	80	402	18	50	592	20	110	312	15
30	701	20	90	373	15	40	647	20	100	336	14

Таблица 1. Экспериментальные данные

Построим зависимость $1/N$ от $1 - \cos(\theta)$. Методом наименьших квадратов, найдём параметры наилучшей прямой, проходящей через экспериментальные точки. Из найденных параметров найдём $N(0)$ и $N(90)$.

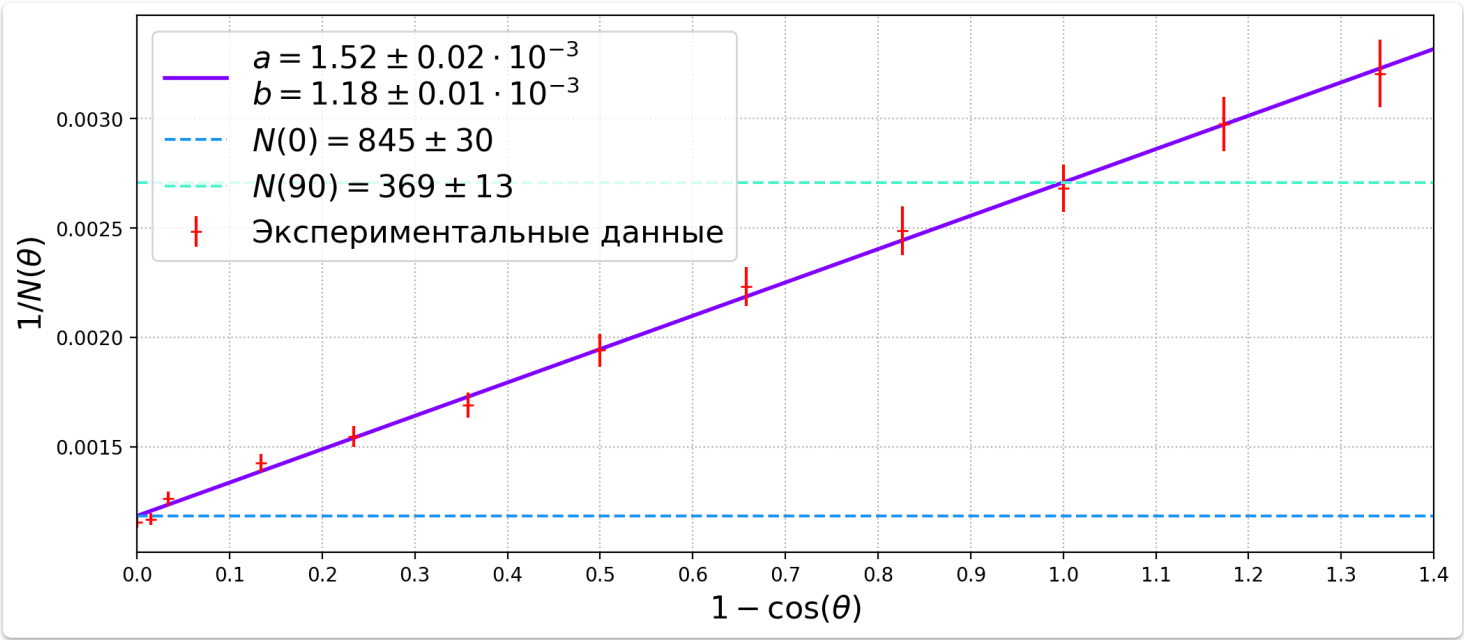


Рисунок 3. Линеаризация экспериментальных точек.

Теперь можем выразить энергию покоя электрона.

$$m_e c^2 = \frac{E(90^\circ)}{E(0^\circ) - E(90^\circ)} E(0^\circ) = \frac{N(90^\circ)}{N(0^\circ) - N(90^\circ)} E_\gamma \sim 514 \pm 11 \text{ кэВ}$$

Второй набор данных

Проанализируем набор изображений графиков полученных в ходе эксперимента. Фотографии были предоставлены Виктором Краюшкиным.

Используя программу `PlotDigitalizer`, преобразуем фотографии графиков в `csv` файлы. Интерполируем экспериментальные кривые при помощи функции $f(x)$, заданной формулой (5). Функция $f(x)$ используется в предположении, что данные задаются двумя Гауссовыми пиками и равномерно распределённым шумом.

$$f(x) = A_1 \cdot \exp\left(-\frac{(x - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) + A_2 \cdot \exp\left(-\frac{(x - \mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right) + C \quad (5)$$

Экспериментальные кривые и функции их интерполирующие изображены на рисунке 4.

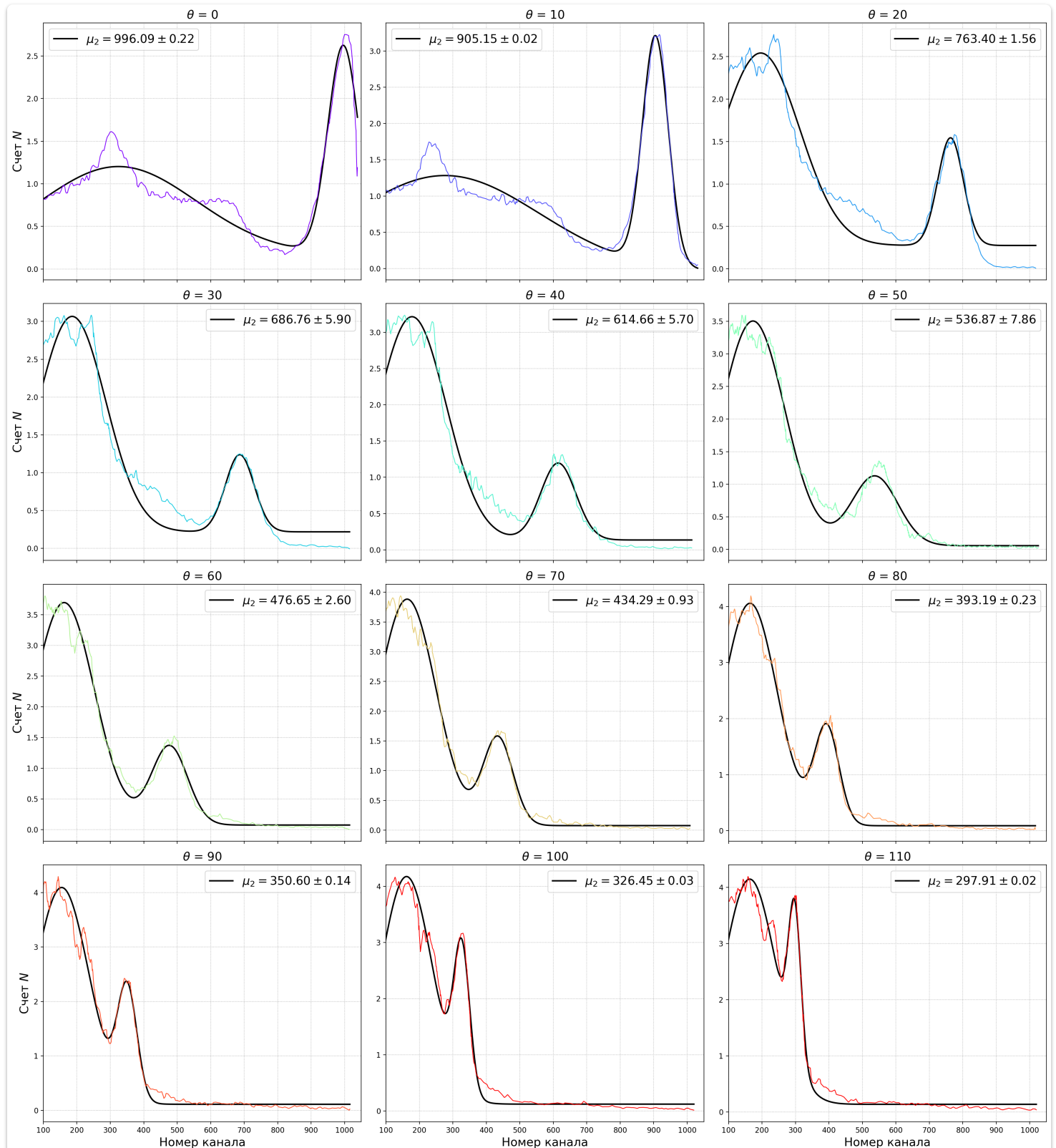


Рисунок 4. Экспериментальные кривые обозначены цветом. Черным обозначена интерполяция функцией $f(x)$.

Построим зависимость $1/\mu_2 = 1/N$ от $1 - \cos(\theta)$. И аналогично пункту (2) найдём энергию покоя электрона.

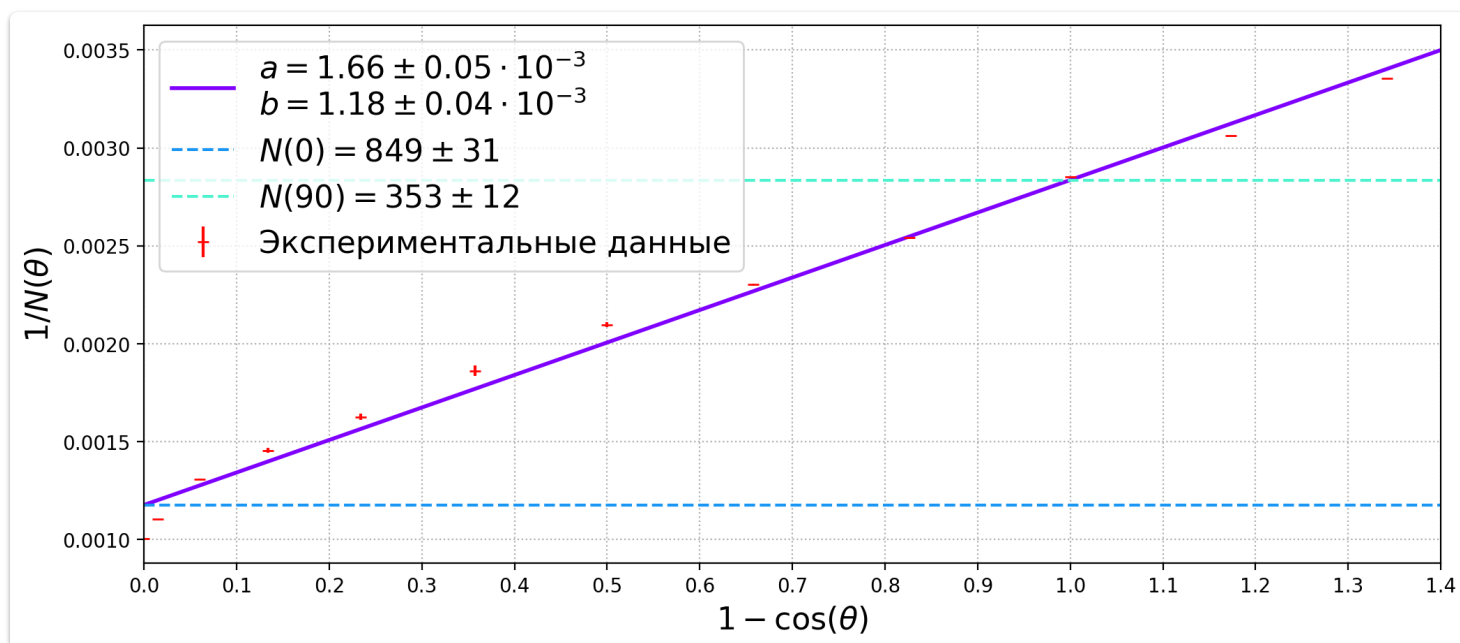


Рисунок 5. Линеаризация экспериментальных точек полученных при анализе второго набора данные

Вычисленная по параметрам наилучшей прямой, изображенной на рисунке (5), энергия покоя электрона оказалась равной 470 ± 5 кэВ.

Вывод

При обработке двух наборов экспериментальных точек удалось найти энергию покоя электрона.

Экспериментальное значение, полученное при обработке первого набора экспериментальных оказалось равным $E_1 = 514 \pm 11$ кэВ. Таким образом, различие между экспериментальным и теоретическим значениями составляет 3 кэВ.

Второй набор экспериментальных данных дал значение, сильно отличающееся от экспериментального. Такое различие может быть связано с двумя факторами:

1. Ошибки при конвертации изображений графиков в таблицы данных.
2. Ошибка автоматического сглаживания экспериментальных кривых. В ходе эксперимента были получены фотографии уже сглаженных экспериментальных данных. Разработчики программы, установленной на лабораторном компьютере, могли допустить ошибку при выборе алгоритма сглаживания. Вследствие ошибки сглаженный сигнал оказался несколько смещён относительно исходного.