

Работу выполнили  
Самохин Валентин, Агафонов Артем,  
Степанов Григорий, Кандинский Василий  
676 гр.

Маршрут IV № 2

17 сентября 2018 г.,

под руководством  
Почернина И. Г.

## Лабораторная работа № 5.1.2: Эффект Комптона

**Цель работы:** С помощью сцинтилляционного 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.

### Теоретическая справка

Будем считать, что  $\gamma$ -излучение — поток квантов с энергией  $\hbar\omega$  и импульсом  $p = \frac{\hbar\omega}{c}$ . Эффект Комптона — увеличение длины волны рассеянного излучения по сравнению с падающим — как результат упругого соударения  $\gamma$ -кванта и свободного электрона.

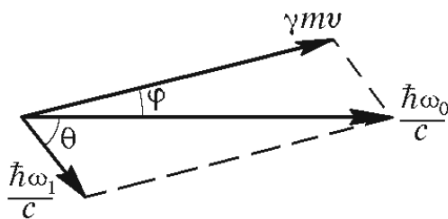
Пусть до соударения электрон покоился ( $mc^2$ ), а  $\gamma$ -квант имел энергию  $\hbar\omega$  и импульс  $p = \frac{\hbar\omega}{c}$ . Тогда после соударения:

$$E_{\text{электрона}} = \gamma mc^2$$

$$p_{\text{электрона}} = \gamma mv$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

а  $\gamma$ -квант рассеивается на угол  $\theta$  по отношению к начальному движению:



$$E_{\gamma} = \hbar\omega_1 \quad (1)$$

$$p_{\gamma} = \frac{\hbar\omega_1}{c} \quad (2)$$

$$\text{ЗСЭ: } mc^2 + \hbar\omega_0 = \gamma mc^2 + \hbar\omega_1 \quad (3)$$

$$\text{ЗСИ: } \frac{\hbar\omega_0}{c} = \frac{\hbar\omega_1 \cos \theta}{c} + \gamma mv \cos \varphi \quad (4)$$

$$\gamma mv \sin \varphi = \frac{\hbar\omega_1}{c} \sin \theta \quad (5)$$

Рис. 1: Векторная диаграмма рассеяния

Переходя от  $\omega_0, \omega_1$  к  $\lambda_0, \lambda_1$ :

$$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_0 = \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta) = \Lambda_k(1 - \cos \theta) \quad (6)$$

$$\Lambda_k = \frac{h}{mc} = 2.42 \cdot 10^{-10} \text{ см} — \text{комптоновская } \lambda \text{ электрона.}$$

При рассеянии квантов невысокой ( $1 \div 10 \text{ КэВ}$ ) энергии часть электронов ведёт себя как связанные, а часть — как свободные, т.е. одновременно наблюдаются релеевское и комптоновское рассеяния.

Цель работы — проверка соотношения (6). Его можно преобразовать от длин волн к энергии квантов:

$$\frac{1}{\varepsilon(\theta)} - \frac{1}{\varepsilon_0} = 1 - \cos \theta, \quad \varepsilon_0 = \frac{E_0}{mc^2}$$

## Экспериментальная установка

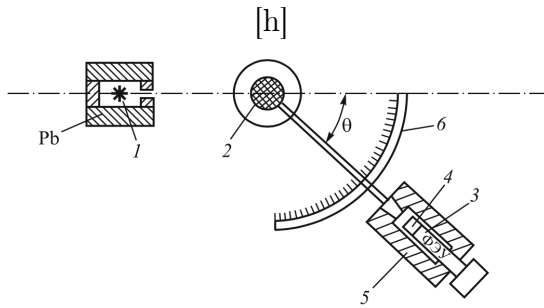


Рис. 2: Блок - схема установки по изучению рассеяния  $\gamma$ -квантов: 1 - источник излучения ( $^{137}\text{Cs}$ ), 2 - графитовая мишень, 3 - фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), 4 - сцинтиллятор, 5 - свинцовый коллиматор, 6 - лимб

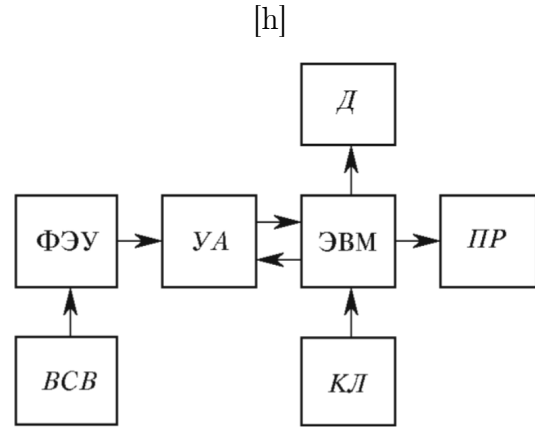


Рис. 3: Блок - схема измерительного комплекса: Д - дисплей, ПР - принтер, ВСВ - высоковольтный выпрямитель, УА - усилитель - анализатор, КЛ - клавиатура

## Ход работы

Устанавливая сцинтилляционный счётчик под разными углами  $\theta$  к первоначальному направлению полёта  $\gamma$ -квантов, сняли амплитудные спектры и определили положение фотопииков для каждого угла.

Таблица 1: Результаты измерений:

Угол, °	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Канал	835	812	744	701	650	574	500	482	418	368	348	311	258

## Обработка данных

1. Построили график зависимости  $\frac{1}{N(\theta)}$  от  $(1 - \cos \theta)$  и провели через точки наилучшую прямую: Погрешности аппроксимации, рассчитанные методом наименьших квадратов:  $(y = Ax + b)$ :  $\frac{\sigma_A}{A} \approx 0.031$ ;  $\frac{\sigma_b}{b} \approx 0.013$ .

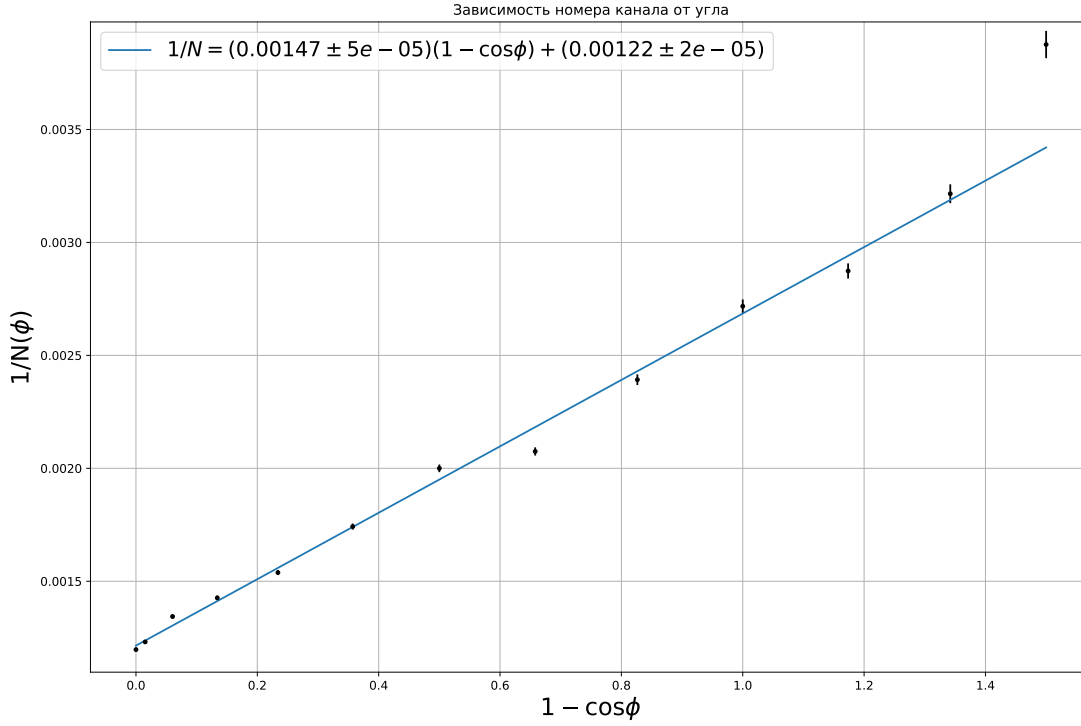


Рис. 4: График зависимости  $\frac{1}{N(\theta)} = A(1 - \cos \theta) + b$

2. С помощью графика определили коэффициент пропорциональности между  $N(\theta)$  и  $\varepsilon(\theta)$ :  $A = \frac{\varepsilon}{N} \approx 1.47 \cdot 10^{-3}$ .
3. Перейдя от переменной  $\varepsilon = \frac{E}{mc^2}$  к энергии  $E$ , получаем, что энергия частицы, на которой происходит рассеяние, находится по формуле:

$$mc^2 = E_\gamma \cdot \frac{N(90)}{N(0) - N(90)},$$

где  $E_\gamma$  — энергия  $\gamma$ -лучей, рассеянных источником.

При этом значения  $N(0)$  и  $N(90)$  используем полученные из графика (а не полученные непосредственно при измерениях), так как эти значения учитывают измерения, сделанные под другими углами.

$$N_{\text{наил.}}(0) \approx 822.91, \quad N_{\text{наил.}}(90) \approx 372.4, \quad E_\gamma = 662 \text{ КэВ}$$

Полученная энергия:

$$E_{\text{эксп.}} = mc^2 = 662 \text{ КэВ} \cdot \frac{372.4}{822.91 - 372.4} \approx 547 \text{ КэВ}$$

4. Рассчитаем погрешности измерений:

$$\frac{\sigma N(0)}{N(0)} = \frac{\sigma b}{b} \approx 0.013$$

$$\frac{\sigma N(90)}{N(90)} = \sqrt{\left(\frac{\sigma b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\sigma A}{A}\right)^2} = \sqrt{(0.031)^2 + (0.013)^2} \approx 0.034$$

$$\frac{\sigma E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\sigma N(90)}{N(90)}\right)^2 + \left(\frac{\sigma N(0) + \sigma N(90)}{N(0) - N(90)}\right)^2} = \sqrt{(0.034)^2 + \left(\frac{12.63 + 10.59}{822.91 - 372.4}\right)^2} \approx 0.062 = 6.2\%$$

С учётом погрешностей:

$$E_{\text{эксп.}} = 547 \pm 34 \text{ КэВ}$$

Энергия покоя электрона:

$$E_{\text{электр.}} = mc^2 = 9.1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \approx 511 \text{ КэВ}$$

## Вывод

Исследовали энергетический спектр  $\gamma$ -квантов, рассеянных на графите. Используя полученные данные, построили график зависимости  $\frac{1}{N(\theta)}$  от  $(1 - \cos \theta)$ , где  $N$  - номер канала в анализаторе,  $\theta$  - угол рассеяния. Полученная зависимость оказалась линейная (в пределах погрешности). С её помощью определили энергию покоя частицы, на которой происходит рассеяние:  $E_{\text{эксп.}} = 547 \pm 34 \text{ КэВ}$ . В пределах погрешностей полученная величина оказалась близкой к энергии покоя электрона:  $E_{\text{электр.}} \approx 511 \text{ КэВ}$ , то есть, как и предполагалось, рассеяние происходит на электронах. Погрешность вычисления энергии составила 6.2%.