

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФИЗТЕХ-ШКОЛА РАДИОТЕХНИКИ И КИБЕРНЕТИКИ

Исследование эффекта Комптона.

Работу выполнил:
Шурыгин Антон Алексеевич, группа Б01-909

Долгопрудный, 2021

Содержание

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Теория | 3 |
| 2 | Экспериментальная установка | 4 |
| 3 | Ход работы и обработка данных | 5 |
| 4 | Вывод | 7 |

Цель работы: исследовать энергетический спектр γ -квантов, рассеянных на графите: определить количество рассеянных γ -квантов в зависимости от угла рассеяния; энергию покоя частиц, на которых происходит комптоновское рассеяние

Оборудование: источник, графитовая мишень, сцинтилляционный спектрометр, фотоэлектронный умножитель, сцинтиллятор, коллиматор, лимб.

1 Теория

Пусть на покоящийся электрон (энергия покоя mc^2) налетает γ -квант с начальной энергией $\hbar\omega_0$. После соударения электрон приобретает энергию γmc^2 и импульс γmv , а γ -квант рассеивается на некоторый угол θ по отношению к начальному направлению с новой энергией $\hbar\omega_1$. Из законов сохранения импульса и энергии можно получить, что разница между длинами волн падающего и рассеянного γ -квантов

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

В наличии этой разницы и заключается эффект Комптона. Для дальнейшего применения полезно будет представить (1) в виде

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

где $\varepsilon_0 = E_0/mc^2$ – начальная энергия γ -квантов в единицах mc^2 , $\varepsilon(\theta)$ – энергия рассеянных γ -квантов в тех же единицах.

Отметим, что всё вышесказанное применительно в том случае, когда электрон свободный, что справедливо для лёгких атомов, где энергия связи не больше нескольких килоэлектрон-вольт, а чаще всего меньше, и γ -квантов с энергией в несколько десятков-сотен килоэлектрон-вольт.

2 Экспериментальная установка

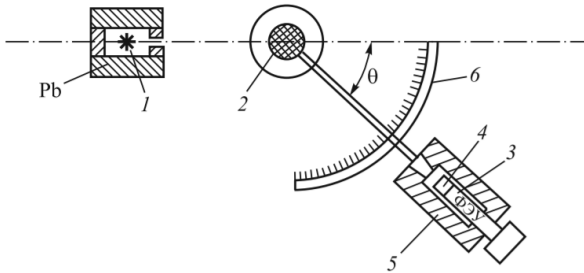


Рис. 1 Блок-схема установки

Измерительный комплекс состоит из ФЭУ, питаемого от высоковольтного выпрямителя ВСВ, усилителя-анализатора УА, являющегося входным интерфейсом компьютера ЭВМ, управляемого с клавиатуры КЛ (Рис. 1). Информация отображается на дисплее Д. При работе ФЭУ в спектрометрическом режиме величина выходного электрического импульса пропорциональна энергии регистрируемого γ -кванта. В итоге возникает распределение электрических импульсов (Рис. 2), имеющее фотопик, положение вершины которого нас будет интересовать. Левее фотопика начинается непрерывный спектр комптоновских электронов, который сохраняется при любом угле рассеяния. Номер канала на распределении соответствует энергии регистрируемой частицы, точность его определения примерно 1%.

Пусть $\varepsilon(\theta) = AN(\theta)$, A – коэффициент пропорциональности, $N(\theta)$ – номер соответствующего канала. Тогда (2) переписывается как

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

Отсюда можно определить энергию покоя электрона как

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

где $E_\gamma = E_0$ – энергия испускаемых источником γ -квантов.

3 Ход работы и обработка данных

Устанавливая сцинтилляционный счётчик под разными углами θ , произведём измерения, каждое примерно по десять минут, отмечая, какому каналу соответствует фотопик при каждом значении угла. Картина, наблюдаемая на дисплее компьютера, представлена на Рис. 3 Результаты измерений представлены в Таблице 1, как отмечалось выше, погрешность измерения канала – 1%, так как она для всех измерений больше, чем половина расстояния до соседнего возможного пика, учитывалась только она, погрешность измерения угла θ берём ценой деления лимба $\sigma_\theta = 2^\circ$.

| θ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $N(\theta)$ | 861 | 898 | 874 | 733 | 672 | 563 | 506 | 433 | 407 | 367 | 338 |

Таблица 1 : снятые показания

| $1/N(\theta)$ | $1 - \cos(\theta)$ | $\sigma_{1-\cos(\theta)}$ | $\sigma_{1/N(\theta)}$ |
|---------------|--------------------|---------------------------|------------------------|
| 0,0012 | 0 | 0 | 0,000012 |
| 0,0011 | 0,0152 | 0,0061 | 0,000011 |
| 0,0011 | 0,0603 | 0,0119 | 0,000011 |
| 0,0014 | 0,134 | 0,0175 | 0,000014 |
| 0,0015 | 0,234 | 0,0224 | 0,000015 |
| 0,0018 | 0,3572 | 0,0267 | 0,000018 |
| 0,002 | 0,5 | 0,0302 | 0,00002 |
| 0,0023 | 0,658 | 0,0328 | 0,000023 |
| 0,0025 | 0,8264 | 0,0344 | 0,000025 |
| 0,0027 | 1 | 0,0349 | 0,000027 |
| 0,003 | 1,1736 | 0,0344 | 0,00003 |

Таблица 2 : данные для графика

По этим данным построим график зависимости $1/N(\theta)$ от $1 - \cos \theta$ (Рис. 4). Здесь погрешности считали по формулам

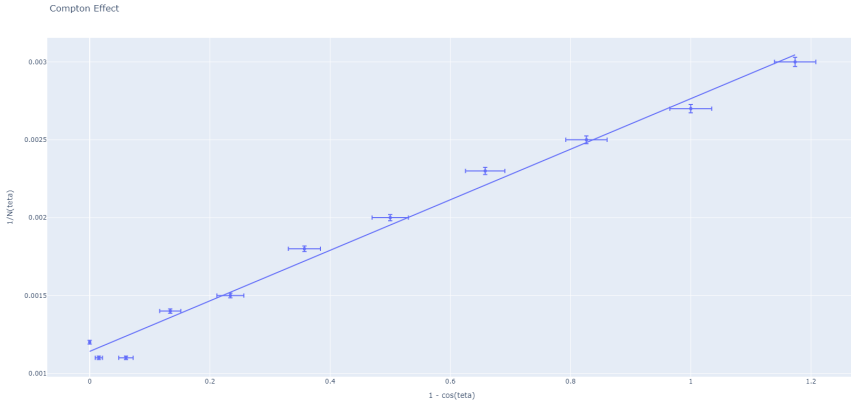


Рис. 2 Зависимость $\frac{1}{N(\theta)}$ от $1 - \cos(\theta)$

$$\sigma_{1/N} = \frac{\sigma_N}{N^2},$$

$$\sigma_{1-\cos \theta} = \sin(\theta) \sigma_{\theta}.$$

$$A = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2}, \quad \sigma_A = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} - A^2},$$

Из аппроксимации получим «наилучшие» значения каналов для $\theta = 0^\circ$ и $\theta = 90^\circ$:

$$N_{\text{best}}(0) = \frac{1}{\frac{1}{N(0)}} = 877 \pm 9$$

$$N_{\text{best}}(90) = \frac{1}{\frac{1}{N(0)} + A} = 333 \pm 3$$

где погрешности считались по формулам

$$\sigma_{N_{\text{best}}(0)} = \frac{\sigma_{\frac{1}{N(0)}}}{\left(\frac{1}{N(0)}\right)^2},$$

$$\sigma_{N_{\text{best}}(90)} = \frac{\sigma_{\frac{1}{N(0)}} + \sigma_A}{\left(\frac{1}{N(0)} + A\right)^2}$$

Наконец, по формуле (4) получим энергию покоя электрона

$$mc^2 = 408 \pm 14 \text{ кэВ}$$

погрешность считалась по формуле

$$\sigma_{mc^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial(mc^2)}{\partial N_{\text{best}}(0)}\right)^2 \sigma_{N_{\text{best}}(0)}^2 + \left(\frac{\partial(mc^2)}{\partial N_{\text{best}}(90)}\right)^2 \sigma_{N_{\text{best}}(90)}^2}$$

Здесь использовалось, что $E_\gamma = 662 \text{ кэВ}$. Истинная энергия покоя электрона 510 кэВ лежит в двух сигмах от полученного результата.

4 Вывод

В ходе работы было исследовано рассеяние γ -квантов на графите, подтверждена теоретическая формула для распределения энергии γ -квантов по углам рассеяния, а также как следствие посчитана энергия покоя электрона $mc^2 = 408 \pm 14 \text{ кэВ}$.