

Лабораторная работа №2

1.2 Эффект Комптона

Петрушенко Валерия, 5111 гр.

Выполнено 12.09.2017

С помощью сцинтилляционного спектрометра исследуется энергетический спектр γ -квантов, рассеянных на графите. Определяется энергия рассеянных γ -квантов в зависимости от угла рассеяния, а также энергия покоя частиц, на которых происходит комптоновское рассеяние.

1 Теория

γ -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 - результат упругого соударения γ -кванта и свободного электрона.

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

После соударения:

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

$$p_{\text{электрона}} = \gamma mv$$

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

а γ -квант рассеивается на угол θ по отношению к начальному движению: $E_\gamma = \hbar\omega_1$, $p_\gamma = \frac{\hbar\omega_1}{c}$.

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

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

$$\gamma mv \sin \varphi = \frac{\hbar\omega_1}{c} \sin \theta$$

Переходя от ω_0, ω_1 к λ_0, λ_1 :

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

$$\Lambda_k = \frac{h}{mc} = 2,42 \cdot 10^{-10} \text{ см} - \text{комптоновская } \lambda \text{ электрона}$$

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

Цель работы - проверка соотношения (1):

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

2 Экспериментальная установка

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

3 Ход работы

Устанавливая сцинтилляционный счётчик под разными углами θ к первоначальному направлению полёта γ -квантов, сняли амплитудные спектры и определили положение фотопиков для каждого угла.

4 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: ($y = Ax + b$): $\frac{\sigma_A}{A} \approx 0,023$; $\frac{\sigma_b}{b} \approx 0,014$.
2. С помощью графика определили коэффициент пропорциональности между $N(\theta)$ и $\varepsilon(\theta)$: $A = \frac{\varepsilon}{N} \approx 0,0013$.
3. Перейдя от переменной $\varepsilon = \frac{E}{mc^2}$ к энергии E , получаем, что энергия частицы, на которой происходит рассеяние, находится по формуле:

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

где E_γ - энергия γ -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.

$$N_{\text{наил.}}(0) \approx 909,09, N_{\text{наил.}}(90) \approx 416,67$$

Полученная энергия:

$$E_{\text{эксп.}} = mc^2 = 662 \text{кэВ} \cdot \frac{416,67}{909,09 - 416,67} \approx 560 \text{ кэВ}$$

4. Рассчитаем погрешности измерений:

$$\frac{\sigma N(0)}{N(0)} = \frac{\sigma b}{b} \approx 0,014$$

$$\frac{\sigma N(90)}{N(90)} = \sqrt{\left(\frac{\sigma b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\sigma A}{A}\right)^2} = \sqrt{(0,014)^2 + (0,023)^2} \approx 0,027$$

$$\frac{\sigma E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\sigma N(90)}{N(90)}\right)^2 + \left(\frac{\sigma N(0) + \sigma N(90)}{N(0) - N(90)}\right)^2} = \sqrt{(0,027)^2 + \left(\frac{11,25 + 12,73}{909,09 - 416,67}\right)^2} \approx 0,056 = 5,6\%$$

С учётом погрешностей:

$$\underline{E_{\text{эксп.}} = 560 \pm 32 \text{ кэВ}}$$

Энергия покоя электрона:

$$\underline{E_{\text{электр.}} = mc^2 = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \approx 511 \text{ кэВ}}$$

5 Вывод

Исследовали энергетический спектр γ -квантов, рассеянных на графите. Используя полученные данные, построили график зависимости $\frac{1}{N(\theta)}$ от $(1 - \cos \theta)$, где N - номер канала в анализаторе, θ - угол рассеяния. Полученная зависимость оказалась линейная. С её помощью определили энергию покоя частицы, на которой происходит рассеяние: $E_{\text{эксп.}} = 560 \pm 32 \text{ кэВ}$. 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 5,6%.

Рис. 2: Блок-схема измерительного комплекса: Д- дисплей, ПР - принтер, ВСВ - высоковольтный выпрямитель, УА - усилитель-анализатор, КЛ - клавиатура

Таблица 1: Результаты измерений:

Угол, °	0	11	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Канал	986	891	803	734	691	603	526	502	440	414	370	349	316

Рис. 3: График зависимости $\frac{1}{N(\theta)} - \frac{1}{N(0)} = A(1 - \cos \theta)$