

Лабораторная работа № 5.1.2
Исследование эффекта Комптона

Тенгиз Пазов

Сентябрь 2025

1 Теоретическая справка

Рассмотрим взаимодействие фотона и электрона, как упругое соударение двух частиц. Запишем для рассматриваемого процесса законы сохранения энергии и импульса:

$$mc^2 + \hbar\omega_0 = \gamma mc^2 + \hbar\omega_1$$

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

$$\gamma mv \sin \varphi = \frac{\hbar\omega_1}{c} \sin \theta$$
(1)

Перейдя к длинам волн λ_0 и λ_1 , получим изменение длины волны рассеянного излучения:

$$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_0 = \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta) = \Lambda_k(1 - \cos \theta)$$
(2)

Где $\Lambda_k = \frac{h}{mc} = 2,42 \cdot 10^{-10}$ см - комптоновская длина волны электрона.

В дальнейшем же будет удобнее пользоваться другим видом полученной формулы:

$$\frac{1}{\varepsilon(\theta)} - \frac{1}{\varepsilon_0} = 1 - \cos \theta$$
(3)

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

Схема экспериментальной установки:

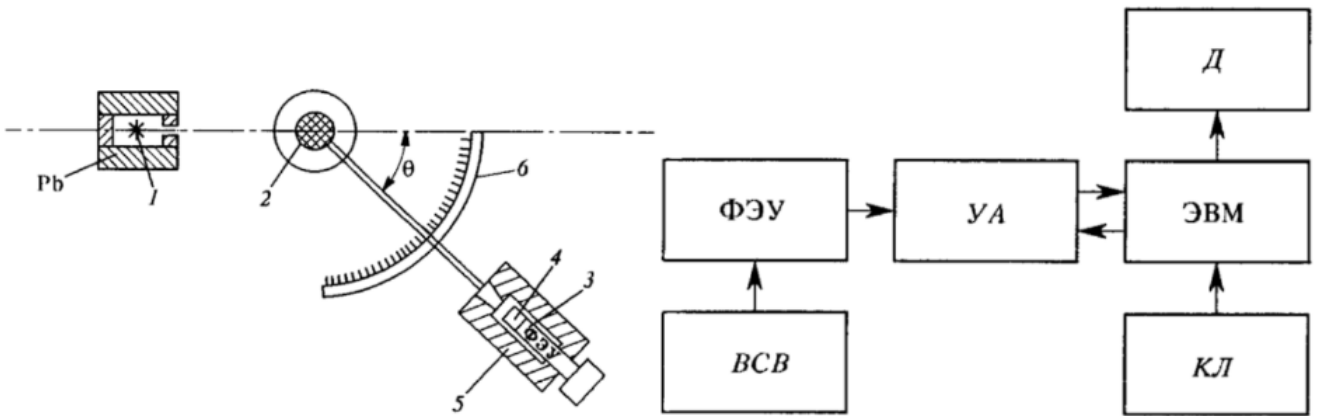


Рис. 1: (а) Блок-схема установки по изучению рассеяния γ -квантов. (б) Блок-схема измерительного комплекса.

Воспользуемся также тем, что $\varepsilon(\theta) = AN(\theta)$, где $N(\theta)$ - номер канала, соответствующего вершине фотопика при данном θ , A - коэффициент пропорциональности. Тогда формулу (3)

можно переписать в другом виде:

$$\frac{1}{N(\theta)} - \frac{1}{N(0)} = A(1 - \cos \theta) \quad (4)$$

Тогда энергию покоя электрона можно определить как:

$$mc^2 = E_\gamma \frac{N(90)}{N(0) - N(90)} \quad (5)$$

Где $E_\gamma = E(0)$ - энергия γ -лучей, испускаемых источником. В нашем случае ^{137}Cs , то есть 662 кэВ.э Для определения погрешности данной величины, можно воспользоваться следующей формулой:

$$\sigma_{mc^2} = E_\gamma \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial A} \cdot \sigma_A\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial B} \cdot \sigma_B\right)^2} = \frac{E_\gamma}{(B - A)^2} \cdot \sqrt{A^2 \cdot \sigma_B^2 + B^2 \cdot \sigma_A^2} \quad (6)$$

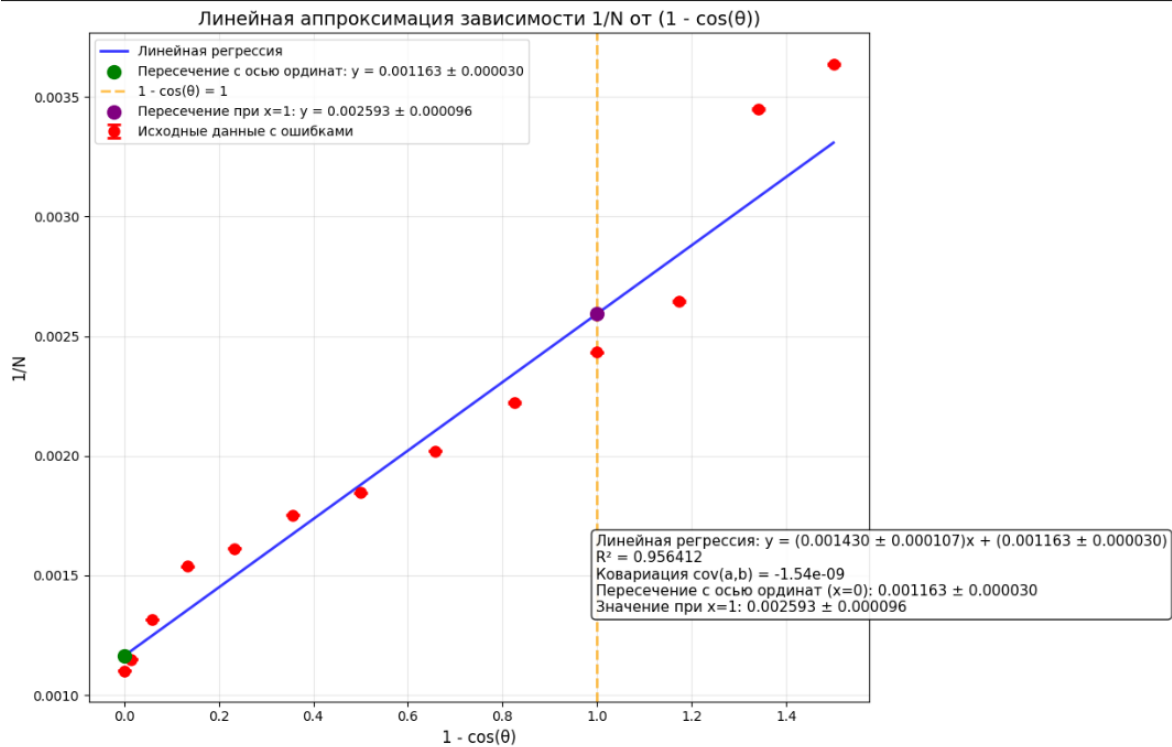
где $A = N(90)$; $B = N(0)$

2 Ход работы

По измеренным данным составим таблицу и построим график зависимости $\frac{1}{N(\theta)} = f(1 - \cos \theta)$.

$\theta, ^\circ$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$1 - \cos \theta$	0	0,015	0,060	0,134	0,234	0,357	0,500	0,658	0,826	1,000	1,174	1,342	1,500
N	908	870	760	650	620	571	542	495	450	411	378	290	275
σ_N	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1	1	1	1	1,5
$\frac{1}{N}, 10^{-3}$	1,1	1,1	1,3	1,5	1,6	1,8	1,8	2	2,2	2,4	2,6	3,4	3,6
$\sigma_{\frac{1}{N}}, 10^{-6}$	1,2	1,3	1,73	2,37	2,60	3,06	3,40	4,08	4,94	5,92	7,00	11,89	13,22

Таблица 1 – Зависимость количества частиц от угла рассеяния и соответствующие статистические погрешности



Из графика получается (погрешность $1/A$ можно посчитать как $\frac{1}{A^2} \cdot \sigma_A$)

$$A = (1,43 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$$

Чтобы найти $N_{\text{наил}}$ экстраполируем прямую до пересечения с $x = 0$.

$$\frac{1}{N_{\text{наил}}(0)} = (1,1 \pm 0,03) \cdot 10^{-3}$$

Откуда получаем, что $N_{\text{наил}}(0) = 859,8 \pm 22,1$. Чтобы найти $\frac{1}{N_{\text{наил}}(90)}$ проведем вертикальную прямую $1 - \cos(\theta) = 1$ Теперь найдём $N_{\text{наил}}(0)$ и $N_{\text{наил}}(90)$, используя данные значения.

$$N_{\text{наил}}(90) = 385,5 \pm 14,3$$

Получается энергия покоя электрона (учитывая, что $E_\gamma = 662$ кэВ, по формуле (5)).

$$mc^2 = 538 \pm 24 \text{ кэВ}$$

3 Вывод

В ходе данной работы была найдена энергия покоя электрона. Значение получилось $mc_{\text{экс}}^2 = 538 \pm 24$ кэВ, теоретическое же значение $mc_{\text{теор}}^2 = 511$ кэВ.