

Исследование эффекта Комптона.

Маслов Артём, Дедков Денис
группа Б01-108а
20.11.2023

Цель и задачи работы:

1. 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.

Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1:

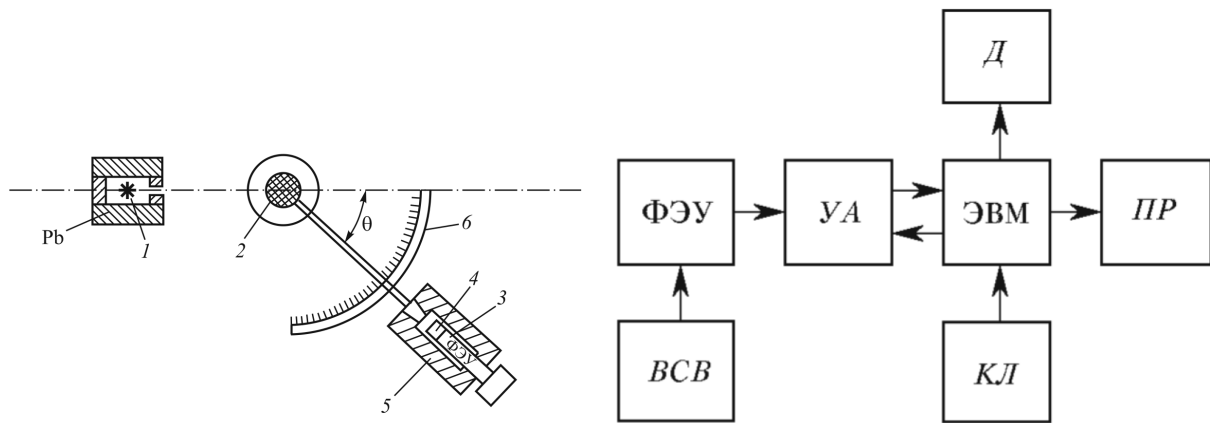


Рис. 1: Слева схема экспериментальной установки. Справа принципиальная схема измерительного комплекса.

Источником излучения 1 является ^{137}Cs , испускающий гамма-кванты с энергией 662 кэВ. Источник излучения помещён в толстостенный свинцовый контейнер с коллиматором. Сформированный коллиматором узкий пучок гамма-лучей попадает на графитовую мишень 2, которой является цилиндр высотой 100 мм и диаметром 40 мм. Кванты, испытывающие комптоновское рассеяние в мишени, регистрируются сцинтилляционным счётчиком (4-5). Счётчик состоит из фотоэлектронного умножителя ФЭУ 3 и сцинтиллятора 4. Сцинтиллятором служит кристалл NaI(Tl) цилиндрической формы высотой 40 мм, диаметром 40 мм, его выходное окно находится в оптическом контакте с фотокатодом ФЭУ. Сигналы, возникающие на аноде ФЭУ подаются на ЭВМ. ФЭУ расположен в светонепроницаемом блоке, закреплённом на штанге, которая может вращаться в горизонтальном направлении. Угол поворота измеряется по лимбу 6.

Оборудование и приборы

Стенд с экспериментальной установкой номер 1.2.4.

1. Высоковольтный блок питания. Инвентарный номер №410134125763.
2. Блок оцифровки и обработки данных.
3. Сцинтилляционный детектор Радек. Инвентарный номер №4021.
4. Радиоактивный источник в свинцовой оболочке ^{137}Cs . Энергия гамма-квантов 662 кэВ.

Первичные экспериментальные данные

Первичные экспериментальные данные приведены в таблице:

$\theta, ^\circ$	$\sigma_\theta, ^\circ$	N , кан.	σ_N , кан.
-19	4	762	5
-10	4	883	5
-5	4	832	5
0	4	859	5
5	4	942	5
10	4	903	5
15	4	864	5
20	4	801	5
25	4	732	5
30	4	702	5
40	4	639	5
50	4	565	5
60	4	470	5
70	4	396	5
80	4	366	5
90	4	327	5
100	4	302	5
110	4	260	5
120	4	257	5

θ – угол между исходным направлением гамма-квантов и направлением наблюдения, N – номер канала, зарегистрировавшего наибольшее число частиц (фотопик), ΔN – ширина пика по половине высоты. Оценим погрешности измерения первичных экспериментальных данных. Погрешность измерения угла отклонения определяется геометрией установки $\sigma_\theta = \frac{\text{Ширина детектора}}{\text{Расстояние до детектора}} \approx 4^\circ$. Погрешность, связанная с конечностью каналов АЦП (всего 1024 канала, ошибка попадания в канал ± 0.5 каналов): $\varepsilon = \frac{0.5}{1024} = 0.05\%$. Из-за шума, связанного с Пуассоновским распределением количества зарегистрированных частиц, возникает погрешность определения положения фотопика, которая оценивается как $\sigma = \pm 5$ каналов. Итоговая погрешность определения положения фотопика $\sigma_\phi = \pm 5$ каналов и одинакова для всех измерений.

Обработка экспериментальных данных

Согласно теории, распределение рассеянных на углы θ гамма-квантов вследствие комптоновского рассеяния определяется соотношением:

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

Номер канала, зарегистрировавший гамма-квант пропорционален его энергии, тогда

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

Построим график зависимости $1/N(\theta)$ от $(1 - \cos \theta)$.

По пересечению графика с осью ординат определим $N(0)$:

$$N(0) = 877 \pm 16$$

Погрешность оценим по формуле косвенных измерений:

$$y_{\text{аппрокс}} = ax + b$$

$$N(0) = \frac{1}{b}$$

$$\varepsilon_{N(0)} = \frac{\sigma_b}{b}$$

По пересечению графика с прямой $\cos \theta = 0$ определим $N(90)$:

$$N(90) = 327 \pm 4$$

Погрешность оценим по формулам:

$$y_{\text{аппрокс}} = ax + b$$

$$N(90) = \frac{1}{b + a}$$

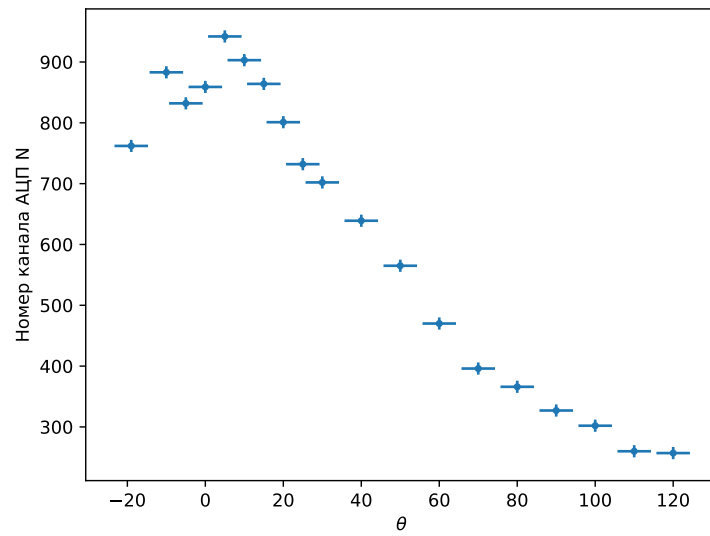


Рис. 2: График зависимости канала АЦП (энергии) от угла $N(\theta)$.

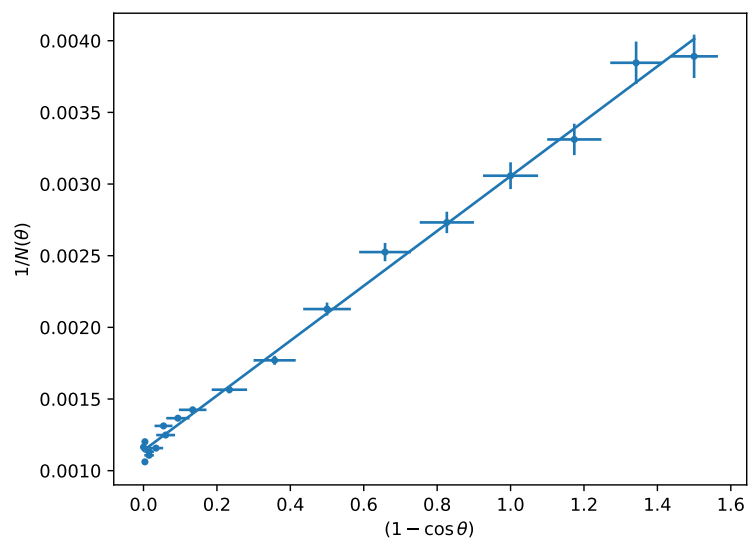


Рис. 3: График зависимости $1/N(\theta)$ от $(1 - \cos \theta)$.

$$\sigma_{N(90)} = \frac{1}{(a+b)^2} \sqrt{\sigma_b^2 + \sigma_a^2}$$

Определим энергию покоя электрона, на котором происходило рассеяние гамма-квантов:

$$mc^2 = E_\gamma \frac{N(90)}{N(0) - N(90)} = 400 \pm 14 \text{ кэВ}$$

где $E_\gamma = (662 \pm 1) \text{ кэВ}$ – энергия гамма-лучей, испускаемых источником. Оценим погрешность определения mc^2 :

$$\sigma_{mc^2} = \sqrt{\left(\frac{N(90)}{N(0) - N(90)} \sigma_{E_\gamma}\right)^2 + \left(\frac{N(90)E_\gamma}{(N(0) - N(90))^2} \sigma_{N(0)}\right)^2 + \left(E_\gamma \frac{N(0)}{(N(0) - N(90))^2} \sigma_{N(90)}\right)^2}$$

Обсуждение результатов и выводы

В работе был проверен закон комптоновского рассеяния:

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

Экспериментальные точки ложатся на прямую в пределах 2σ .

Определено значение энергии покоя электрона

$$mc^2 = 400 \pm 14 \text{ кэВ}$$

.

Табличное значение энергии покоя электрона

$$mc_{\text{табл}}^2 = 510.998 \text{ кэВ}$$

.