

# Лабораторная работа 5.1.2

## Эффект Комптона

Симанович Александр Паниман Александр  
Б01-108

04.09.2023

### Аннотация

### Теоретическое введение

#### Модели комптоновского и рэлеевского рассеяний

При изучении рассеянного  $\gamma$ -излучения в его составе кроме основной частоты  $\omega_0$  можно обнаружить излучение со смещенной (уменьшенной) частотой. Данный эффект называется эффектом Комптона.

Его обоснование можно дать, считая  $\gamma$ -излучение потоком квантов.

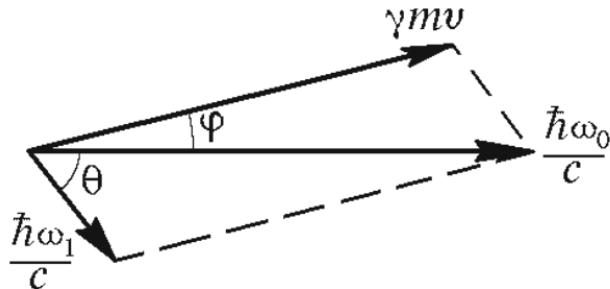


Рис. 1: Векторная диаграмма рассеяния  $\gamma$ -кванта на электроне

Рассмотрим модель комптоновского рассеяния – упругого соударения фотона и свободного электрона. Пользуясь векторной диаграммой и считая электрон покоящимся ( $E_0 = mc^2$ ) получим следующие соотношения:

$$mc^2 + \hbar\omega_0 = \alpha mc^2 + \hbar\omega_1,$$

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

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

Из данной системы получаем выражение для смещения длины волны:

$$\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda_1 = \Lambda_K(1 - \cos \theta), \quad (1)$$

где  $\lambda_0$  – начальная длина волны,  $\lambda_1$  – смещенная длина волны,

$$\Lambda_K = \frac{h}{mc} = 2.42 \text{ пкм},$$

комптоновская длина волны электрона.

Обратим внимание, что смещение не зависит от вещества рассеивателя и энергии рассеиваемого кванта. Условием применимости данной модели является  $E \gg E_{\text{связи}}$ , где  $E$  – энергия фотонов,  $E_{\text{связи}} \approx 1 \div 10$  кэВ – энергия связи электрона в атоме.

При рассеянии на связанном электроне имеет место классическое рэлеевское рассеяние. Оно описывается моделью упругого рассеяния на всем атоме. Условие применимости:  $E_{\text{связи}} \gg E$ .

## Влияние вещества рассеивателя и энергии фотонов

Сечения рассеяния зависят от атомного номера  $Z$ . Сечение рэлеевского рассеяния растет как  $\sigma_p \sim Z^2$ , поскольку электроны под действием фотона колеблются синфазно, складываются их амплитуды. В случае комптоновского электрона свободны и независимы, складываются интенсивности, поэтому  $\sigma_k \sim Z$ .

Также сечения рассеяния зависят от энергии фотонов. На рис. 2 изображена данная зависимость. Обратим внимание, что существует зона ( $\sim 20$  кэВ), где комптоновское и рэлеевское рассеяния имеют одинаковые сечения. В этой зоне Комптон наблюдал одновременно две компоненты: исходную и смещенную. В нашем эксперименте фотоны обладают энергией  $\sim 600$  кэВ, поэтому мы увидим только смещенную компоненту.

Кванты, попавшие в вещество, могут быть поглощены. Для этого существует два механизма: образование электрон-позитронных пар ( $600$  кэВ  $< E_{\text{пор}} = 2mc^2 = 1.02$  МэВ) и фотоэффект. При фотоэффекте из атома выбивается электрон, который далее теряет энергию на возбуждение других атомов. Энергия возбуждения излучается в виде мягких фотонов.

Таким образом, при исследовании высокоэнергетических рассеянных фотонов мы изучаем рэлеевское и комптоновское рассеяния.

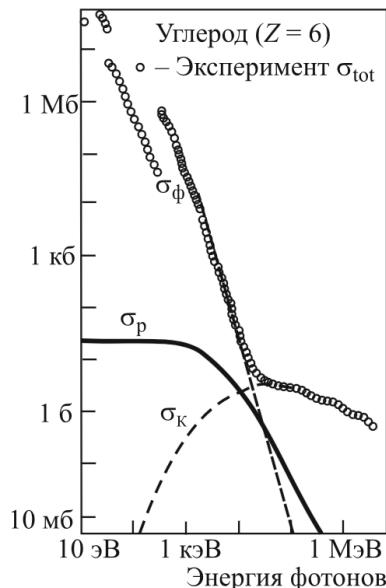


Рис. 2: Сечение взаимодействия фотонов с углеродом;  
 $\sigma_\phi$  – сечение фотоэффекта,  
 $\sigma_p$  – сечение рэлеевского рассеяния,  
 $\sigma_k$  – сечение комптоновского рассеяния,  
 $\sigma_{\text{tot}}$  – общее сечение взаимодействия.

## Методика эксперимента

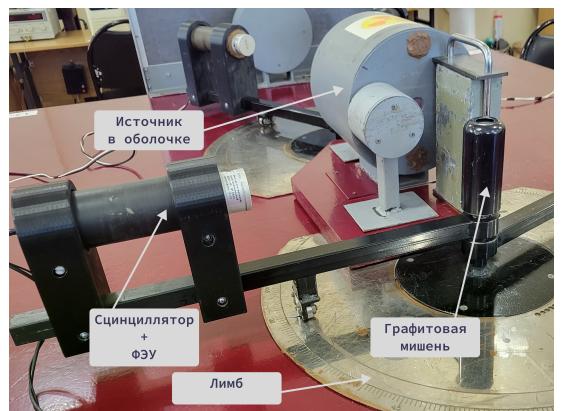
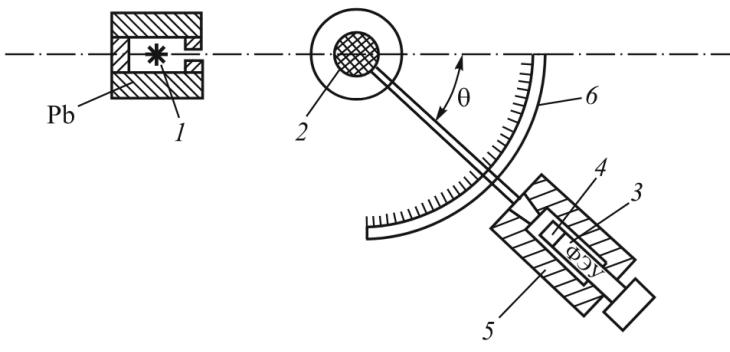


Рис. 3: Схема установки для изучения рассеяния  $\gamma$ -квантов

В качестве источника  $\gamma$ -квантов используется  $^{137}\text{Cs}$  с энергией квантов 662 кэВ, помещенный в свинцовый контейнер с коллиматором. Излучение попадает на графитовую мишень, в которой происходит рассеяние. Рассеянное излучение улавливается сцинтиляционным детектором NaI(Tl) в паре с фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). Сигнал ФЭУ подается на ЭВМ с АЦП. ЭВМ получает спектр сигнала.

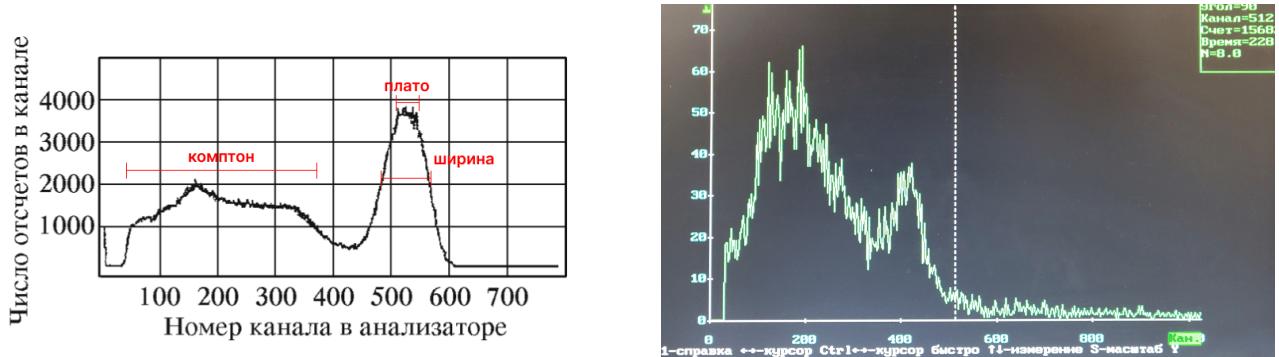


Рис. 4: Спектр, получаемый на ЭВМ

Рассеянный  $\gamma$ -квант порождает быстрые электроны в сцинтиляторе механизмами комптоновского рассеяния и фотоэффекта. Эти электроны возбуждают атомы в сцинтиляторе. Возбужденные атомы излучают фотоны оптического диапазона, которые улавливаются ФЭУ. При комптоновском рассеянии  $\gamma$ -квант передает лишь часть энергии и создает шумовую часть спектра. При фотоэффекте происходит *полное поглощение* кванта электроном, в этом случае амплитуда вспышек пропорциональна полной энергии кванта. Положение этого пика однозначно определяет энергию  $\gamma$ -кванта.

Для численной обработки перепишем формулу (1):

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

где  $\varepsilon(\theta)$  – энергия рассеянных на угол  $\theta$  квантов  $\varepsilon_0$  – энергия исходных квантов, выраженные в единицах  $mc^2$  ( $m$  – масса электрона).

Переписывая для каналов ЭВМ в спектре:

$$\frac{1}{N(\theta)} - \frac{1}{N_0} = A(1 - \cos \theta), \quad (2)$$

где соответствующие  $N$  – номера каналов,  $A$  – коэффициент пропорциональности:  $\varepsilon = AN$ .

Также мы можем вычислить энергию покоя частиц, на которых происходит рассеяние (предположительно, электроны):

$$mc^2 = E(0) \frac{E(90)}{E(0) - E(90)} = E_\gamma \frac{N(90)}{N(0) - N(90)}, \quad (3)$$

где  $N(\theta)$  – номер канала, на котором находится пик полного поглощения для угла  $\theta$ ,  $E_\gamma = 662$  кэВ – начальная энергия квантов.

## Результаты

## Заключение и выводы