

Работа 1.2

Исследование эффекта Комптона

Подлесный Артём
группа 827

29 ноября 2020 г.

Экспериментальная установка

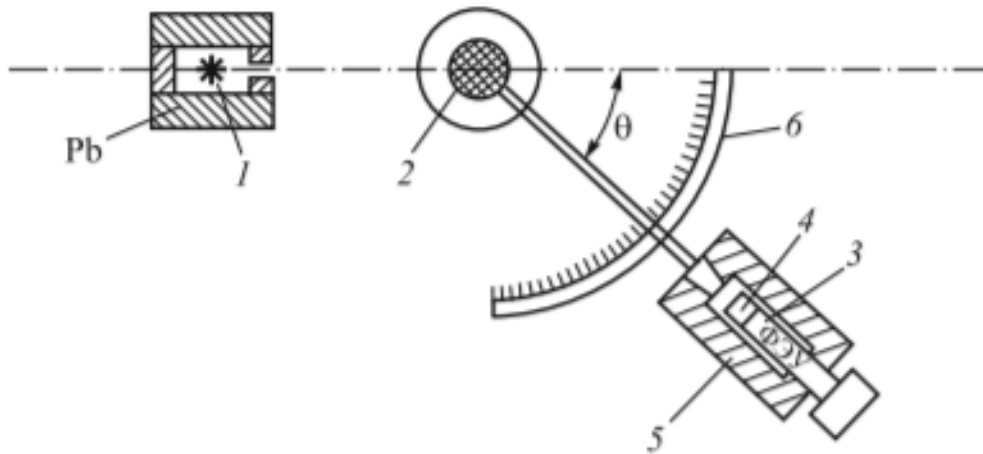


Рис. 1: Блок-схема по изучению рассеяния γ -квантов.

Эффект Комптона представляет собой один из простейших способов убедиться в дуальной природе частиц. Для энергий он записывается в следующем виде:

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

где $\varepsilon = \frac{E}{mc^2}$ – приведенная энергия γ -кванта, рассеянного и покоящегося соответственно.

В условиях эксперимента можно было изменять угол до 120° . Кванты, испытавшие рассеяние под углом, на который установлен счетчик, можно исследовать с помощью установки. Сам счетчик выводит сигналы, связанные

не с самими γ -квантами, а с образовавшимися под их действием в кристалле электроны. Над сигналом проводится амплитудный анализ по импульсам, благодаря чему каждому импульсу электрона соответствует собственный канал (с некоторой точностью). Гистограмма числа отсчетов от номера канала выводится на экран, как на рис.2:

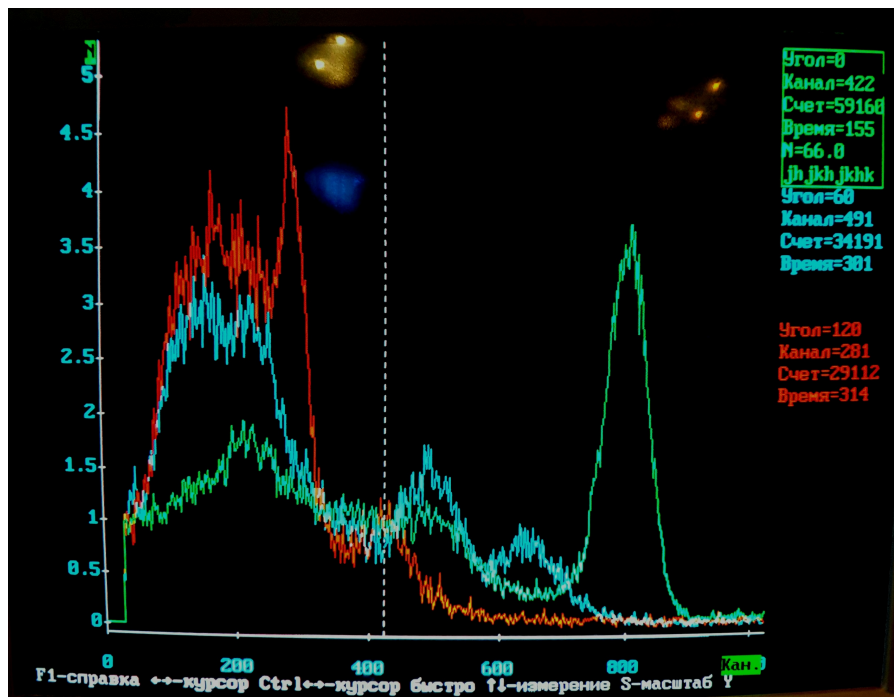


Рис. 2: Гистограмма сигналов сразу нескольких измерений. Четко видны фотопики, а так же зависимость положения пиков от угла измерения, что соответствует зависимости положения пика от энергии γ -квантов.

Так как при фотоэффекте γ -квант полностью поглощается, то положение пика соответствует энергии самого кванта. Так же кванты могут испытывать комптоновское рассеяние на свободных электронах, из-за чего появляется непрерывный амплитудный спектр электронов до самого фотопика.

Ширина пика связана со строением установки и кристалла, так что не влияет на результат. Так же на больших углах могут наблюдаться второй и третий пики. Это происходит из-за того, что при низких энергиях кванты могут испытывать повторное рассеяние, из-за чего количество быстрых электронов увеличивается, и за время измерения они возбуждают большее количество атомов ФЭУ, из-за чего число вспышек увеличивается. Это тоже является артефактом установки, так что при измерениях нужно учитывать только вершину первого пика.

Энергия покоя частицы, на которой происходит рассеяние

Из формулы (1) и описания работы установки получаем формулу для экспериментальных данных:

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

где N – номер канала, на котором находится вершина пика, A – коэффициент пропорциональности между N и ε . Результаты измерений представлены на таблице 1.

| $\theta, ^\circ$ | N | $t, \text{сек}$ |
|------------------|-----|-----------------|
| 0 | 690 | 303 |
| 10 | 820 | 275 |
| 20 | 763 | 372 |
| 30 | 713 | 277 |
| 40 | 643 | 218 |
| 50 | 545 | 484 |
| 60 | 491 | 301 |
| 70 | 432 | 237 |
| 80 | 391 | 250 |
| 90 | 354 | 281 |
| 100 | 327 | 329 |

Таблица 1: Зависимость $N(\theta)$. На данной установке была возможность измерять только в диапазоне $0 \div 100^\circ$.

По этим данным построен линеаризованный график, представленный на рис.3.

По приведенным данным видно, что N_0 не вписывается в зависимость. Данная точка была перемеряна несколько раз, так что такой результат является следствием установки. Возможно неудачное строение мишени, или влияние фона от соседнего счетчика. К сожалению времени было мало, а эффект Комптона – подтвержденный научный факт, так что эту точку мы просто признали недостоверной.

После преобразования исходной формулы получим выражение для массы покоя частицы рассеяния от энергии испускаемых γ -квантов (E_γ):

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

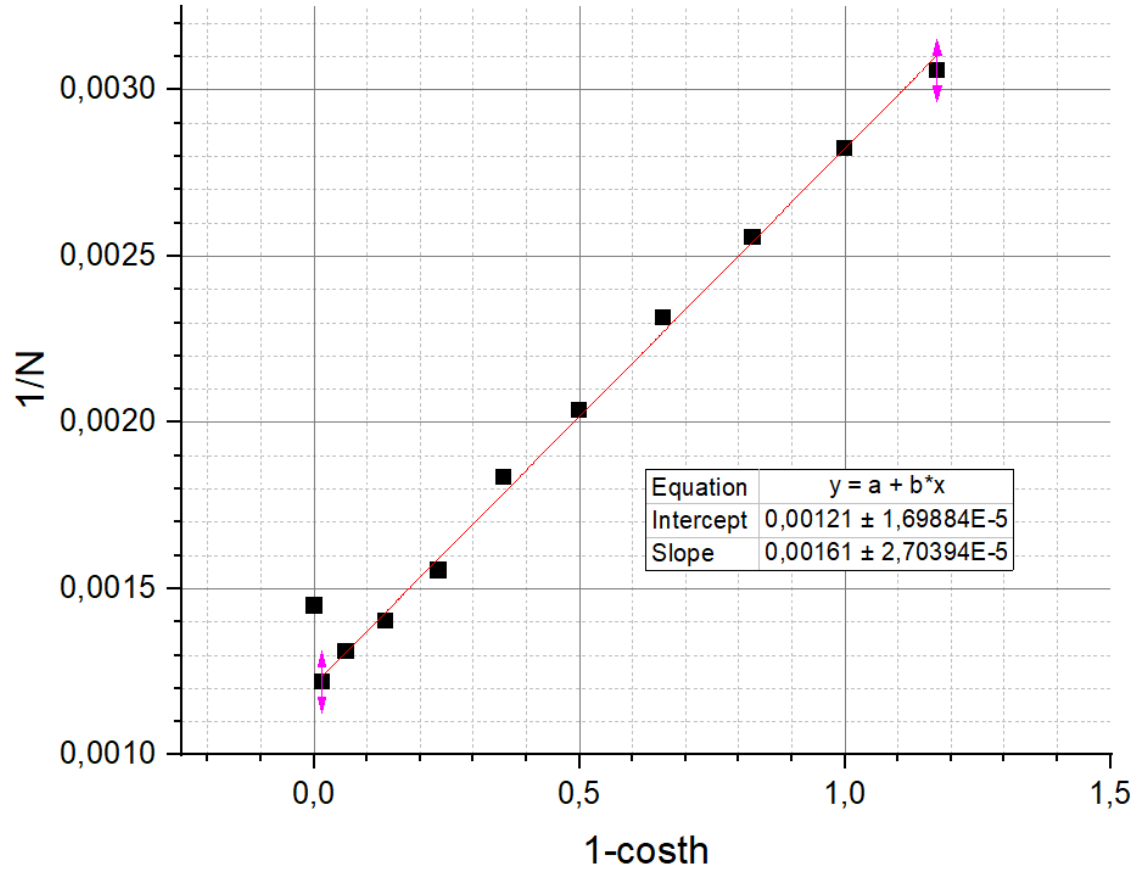


Рис. 3: График зависимости $\frac{1}{N}(1 - \cos \theta)$. Точка при 0° из-за влияния установки оказывается недостоверной, поэтому при построении прямой она не учитывается.

Здесь номера каналов получены из графика зависимости, чтобы избежать влияния случайных процессов:

$$N(90) = \left(\frac{1}{N(0)} + A(1 - \cos 90^\circ) \right)^{-1} = (Intercept + Slope \cdot 1)^{-1}.$$

Для установки известна энергия испускаемых *gamma*-квантов – 662 кэВ. Таким образом масса частицы равна:

$$mc^2 = 497 \pm 37 \text{ кэВ}.$$

Учитывая, что масса покоя электрона равна 511 кэВ, то результат совпадает с табличным значением с учетом погрешности.

Вывод

Не считая странный результат измерения при $\theta = 0$ эксперимент подтвердил эффект Комптона. Результат измерения энергии покоя частицы, на которой происходит рассеяние, подтвердил, что это электрон. Из-за величины погрешности нельзя сказать, насколько отдельный электрон можно считать покоящимся, однако раз зависимость оказалась линейной, для данного эксперимента относительно *гамма*-квантов электроны в мишени покоящиеся.