

1.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА КОМПТОНА

Денис Васильев

1 Цель:

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

2 Оборудование:

Источник излучения, коллиматор, графитовая мишень, сцинтилляционный счётчик, высоковольтный выпрямитель, усилитель-анализатор, ЭВМ.

3 Введение

Рассеяние γ -лучей в веществе относится к числу явлений, в которых особенно ясно проявляется двойственная природа излучения. Волновая теория, хорошо объясняющая рассеяние длинноволнового излучения, испытывает трудности при описании рассеянии рентгеновских и γ -лучей. Эта теория, в частности, не может объяснить, почему в составе рассеяного излучения, измеренного Комптоном, кроме исходной волны с частотой ω_0 появляется дополнительная длинноволновая компонента, отсутствующая в спектре первичного излучения. Появление этой компоненты легко объяснимо, если считать, что γ -излучение представляет собой поток квантов, имеющих энергию $\hbar\omega$ и импульс $p = \frac{\hbar\omega}{c}$. Эффект Комптона – увеличение длины волны рассеяного излучения по сравнению с падающим – интерпретируется как результат упругого соударения двух частиц: γ -кванта и свободного электрона.

4 Теория:

Рассмотрим элементарную теорию эффекта Комптона. Пусть электрон до соударения покоился, а γ -квант имел начальную энергию $\hbar\omega_0$ и импульс $\frac{\hbar\omega_0}{c}$. После соударения электрон приобретает энергию γmc^2 и импульс γmv , где $\gamma = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}}$, $\beta = \frac{v}{c}$, а γ -квант рассеивается на некоторый угол θ по отношению к первоначальному направлению движения. Энергия и импульс γ -кванта становятся соответственно равными $\hbar\omega_1$ и $\frac{\hbar\omega_1}{c}$. Запишем для рассматриваемого процесса законы сохранения энергии и импульса:

$$\begin{aligned} mc^2 + \hbar\omega_0 &= \gamma mc^2 + \hbar\omega_1, \\ \frac{\hbar\omega_0}{c} &= \gamma mv \cos\phi + \frac{\hbar\omega_1}{c} \cos\theta, \\ \gamma mv \sin\phi &= \frac{\hbar\omega_1}{c} \sin\theta. \end{aligned}$$

Решая совместно эти уравнения и переходя от частот ω_0 и ω_1 к длинам волн λ_0 и λ_1 , нетрудно получить, что изменение длины волны рассеянного излучения равно

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

где λ_0 и λ_1 – длины волн γ -кванта до и после рассеяния, а величина

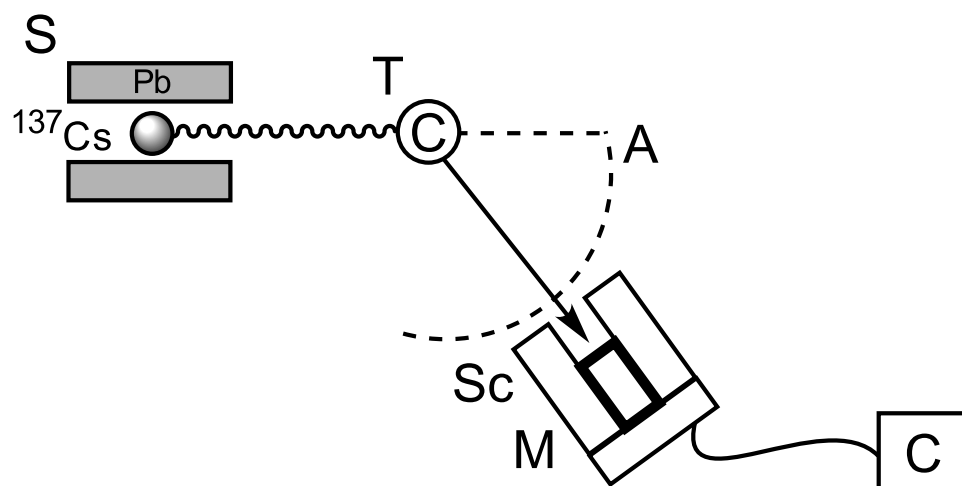
$$\Lambda_k = \frac{h}{mc} = 2.42 \cdot 10^{-10} \text{ cm}$$

называется комптоновской длиной волны электрона. Из формулы (1) следует, что комптоновское смещение не зависит ни от длины волны первичного излучения, ни от рода вещества, в котором наблюдается рассеяние. В приведенном выводе электрон в атоме считается свободным. Для γ -квантов с энергией в несколько десятков, а тем более сотен килоэлектрон-вольт, связь электронов в атоме, действительно, мало существенна, так как энергия их связи в лёгких атомах не превосходит нескольких килоэлектрон-вольт, а для большинства электронов ещё меньше. Основной целью данной работы является проверка соотношения (1). Применительно к условиям нашего опыта формулу (1) следует преобразовать от длин волн к энергии γ -квантов. Как нетрудно показать, соответствующее выражение имеет вид

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

Здесь $\varepsilon_0 = \frac{E_0}{mc^2}$ – выраженная в единицах mc^2 энергия γ -квантов, падающих на рассеиватель, $\varepsilon(\theta)$ – выраженная в тех же единицах энергия квантов, испытавших комптоновское рассеяние на угол θ , m – масса электрона.

5 Экспериментальная установка:



Блок-схема установки изображена на рисунке. Источником излучения служит Cs^{137} , испускающий γ -лучи с энергией 662кэВ. Он помещен в толстостенный свинцовый контейнер с коллиматором. Сформированный коллиматором узкий пучок γ -квантов попадает на графитовую мишень. Кванты, испытавшие комптоновское рассеяние в мишени, регистрируются сцинтилляционным счетчиком. Счетчик состоит из фотоэлектронного

умножителя и сцинтиллятора. Сцинтиллятором служит кристалл NaI цилиндрической формы, его выходное окно находится в оптическом контакте с фотокатодом ФЭУ. Сигналы, возникающие на аноде ФЭУ, подаются на ЭВМ для амплитудного анализа. Кристалл и ФЭУ расположены в светонепроницаемом блоке, укрепленном на горизонтальной штанге. Штанга вместе с этим блоком может вращаться относительно мишени, угол поворота отсчитывается по лимбу. Головная часть сцинтилляционного блока закрыта свинцовым коллиматором, который формирует входной пучок и защищает детектор от постороннего излучения. Основной вклад в это излучение вносят γ -кванты, проходящие из источника через стенки защищенного контейнера. Этот фон особенно заметен при исследовании комптоновского рассеяния на большие углы, когда расстояние между детектором и источником уменьшается.

6 Ход работы:

Устанавливая сцинтилляционный счетчик под разными углами θ к первоначальному направлению полёта γ -квантов и вводя значения этих углов в ЭВМ, снимаем амплитудные спектры и определяем положения фотопиков для каждого угла θ . По-



#	Угол	Канал	Счет	Время	Частиц	I, [1/с]	Комментарий
1	0	857	25415	62	715543	11541.8	
2	10	748	37606	105	808522	7624.8	
3	20	783	18458	89	92689	1041.4	
4	30	747	13127	83	52899	637.3	
5	40	696	13574	97	48385	498.8	
6	50	571	11803	109	36592	335.7	
7	60	503	12942	133	36959	277.9	
8	70	461	18375	206	53005	257.3	
9	80	413	20059	234	56563	241.7	
10	90	379	12857	161	36864	229.8	
11	100	349	21564	262	58402	222.9	
12	110	314	25785	323	73031	226.1	
13	120	302	46765	550	131510	239.1	

лучаем: Используя экспериментальные результаты, построим график, откладывая по оси абсцисс величину $1 - \cos\theta$, а по оси ординат величину $\frac{1}{N(\theta)}$ и её ошибку. По МНК находим коэффициент наклона лучшей прямой, а также ошибку, равную:

$$\varepsilon = 3.8\%$$

. Далее с помощью графика и формулы

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

считаем энергию покоя частицы, на которой происходит комптоновское рассеяние первичных гамма квантов. С помощью МНК мы нашли коэффициенты k и b , которые задают наилучшую прямую $y = kx + b$, причём $y = 1.43 \cdot 10^{-3}$, а $b = 1.21 \cdot 10^{-3}$.

По этим значениям легко находим $N(90) = k \cdot N'(90) + b = 5.46 \cdot 10^{-1}$ и $N(0) = k \cdot N'(0) + b = 1.23$, где $N'(90), N'(0)$ экспериментальные результаты. Теперь, зная, что $E_\gamma = 662 \text{кэВ}$ мы находим значение энергии покоя: $mc^2 = (526.05 \pm 19.99) \text{кэВ}$. Результат совпадает в пределах погрешности с истинным значением, равным 511кэВ .

