

Лабораторная работа № 6.4

ЭФФЕКТ КОМПТОНА

6.4.1. Цель работы

Целью работы является экспериментальное подтверждение закономерностей эффекта Комптона и определение комптоновской длины волны электрона.

6.4.2. Краткая теория

Эффектом Комптона называется упругое рассеяние коротко волнового электромагнитного излучения на свободных или слабо связанных электронах (рис. 6.4.1).

Комптон опытным путем установил, что при рентгеновском облучении с длиной волны λ веществ (графита, парафина и др.) происходит рассеяние излучения, сопровождающееся увеличением его длины (λ').

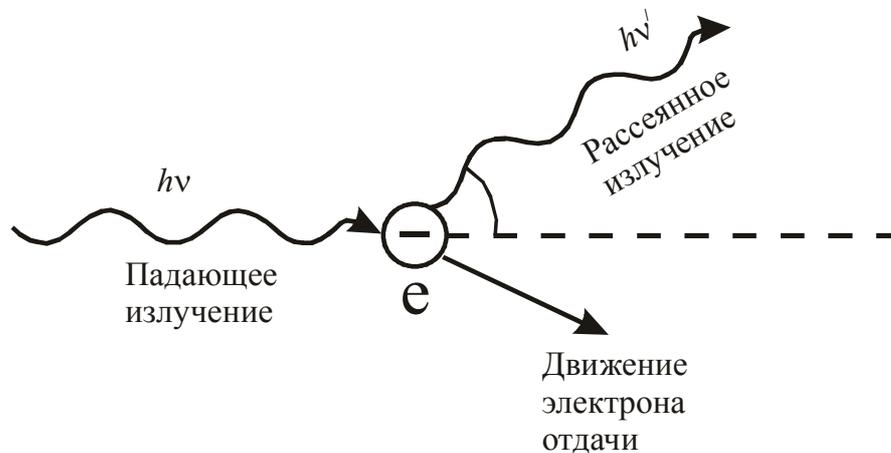


Рис. 6.4.1. Эффект Комптона

Рентгеновские лучи отражаются от электронов, окружающих ядро атома. Электроны, близко расположенные к ядру, прочно с ним связаны и рассеивают фотоны без изменения длины волны.

Наружные, слабо связанные с ядром, электроны выбиваются фотонами из атомов. При этом электроны приобретают кинетическую энергию за счет

энергии фотонов. Поэтому фотоны рассеиваются с меньшей энергией и частотой, но большей длиной волны.

Разность $\Delta\lambda = \lambda - \lambda'$ оказалась не зависящей от длины волны λ падающего излучения и природы рассеивающего вещества.

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda' = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos \Theta), \quad (6.4.1)$$

где h – постоянная Планка, равная $6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с;

m_0 – масса покоя электрона, равная $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг;

c – скорость света в вакууме, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с;

Θ – угол рассеяния фотона.

Введем новую величину

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0c}. \quad (6.4.2)$$

Она называется *комptonовской длиной волны*. Для электрона ее значение 2,43 пм.

Тогда формула Комптона запишется так:

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda' = \lambda_c (1 - \cos \Theta). \quad (6.4.3)$$

Эффект Комптона отличается от фотоэффекта тем, что фотон передает частицам вещества свою энергию не полностью.

Рассеяние рентгеновского фотона на свободном электроне можно рассматривать как процесс их упругого столкновения. При этом фотон передает электрону часть своей энергии и часть своего импульса в соответствии с законом сохранения энергии и импульса.

Рассмотрим процесс столкновения падающего фотона с покоящимся электроном вещества. Энергия электрона до столкновения равна его энергии покоя m_0c^2 , а импульс равен нулю. Энергия падающего фотона $h\nu$, импульс \vec{p} .

После столкновения электрон будет обладать импульсом \vec{p}_e и энергией, равной $c\sqrt{p_e^2 + m_0^2c^2}$. Энергия фотона станет равной $h\nu'$, а импульс \vec{p}' .

Тогда из закона сохранения энергии и импульса вытекают два равенства:

$$h\nu + m_0c^2 = h\nu' + c\sqrt{p_e^2 + m_0^2c^2}, \quad (6.4.4)$$

$$\vec{p} = \vec{p}_e + \vec{p}'. \quad (6.4.5)$$

Эффект Комптона является доказательством квантовой природы излучения.

6.4.3. Порядок выполнения работы

Запустите программу «Открытая физика 1.1». Выберите раздел «Квантовая физика» и модель «Комптоновское рассеяние». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

Внимательно рассмотрите рис. 6.4.2. Найдите регуляторы с движками, задающими угол рассеяния Θ , длину волны падающего излучения λ , и запишите их в соответствующую таблицу в отчете.

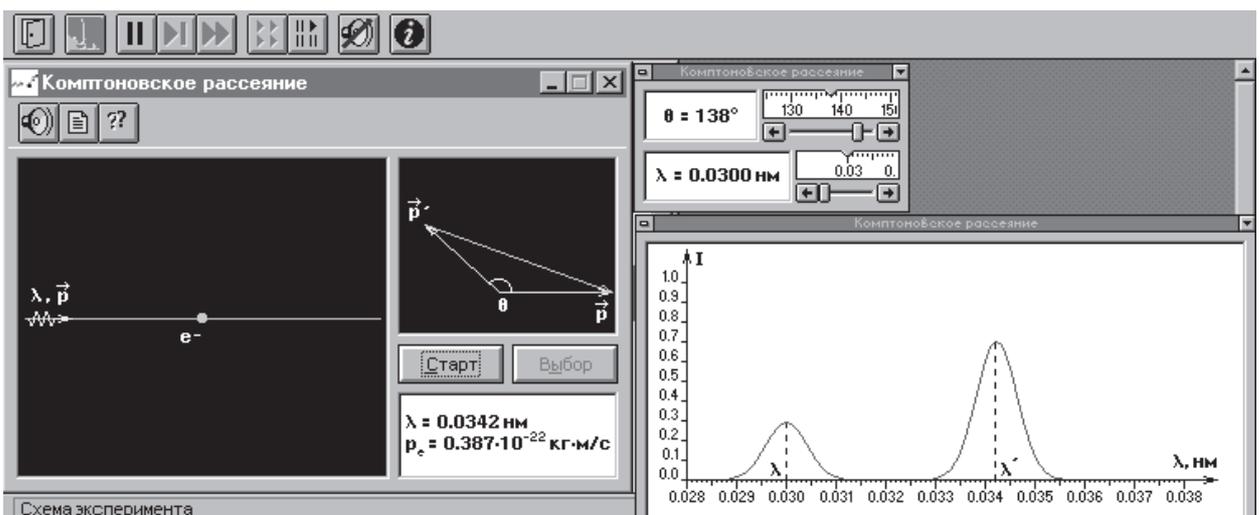


Рис. 6.4.2. Комптоновское рассеяние

1. Подведите маркер мыши к движку регулятора длины волны падающего ЭМИ и установите первое значение длины волны из табл. 6.4.1, соответствующее номеру вашей бригады.

2. Аналогично установите первое значение угла рассеяния 60° из табл. 6.4.2.

3. Нажмите мышью кнопку «Старт» и наблюдайте комптоновское рассеяние. Запишите в первую строку табл. 6.4.2 длину волны λ' рассеянного излучения (в окне эксперимента она обозначена, как λ).

4. Изменяйте угол рассеяния с шагом 20° , а записывайте измеренные значения λ' в соответствующие строки той же таблицы.

Таблица 6.4.1

Исходные данные

Номер бригады	λ , нм	Номер бригады	λ , нм
1	0,030	5	0,035
2	0,040	6	0,045
3	0,050	7	0,055
4	0,060	8	0,065

Таблица 6.4.2

Результаты измерений и расчетов

$\lambda = \underline{\hspace{2cm}}$ нм

Номер измер.	Θ , град	λ' , нм	$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$, нм	$1 - \cos \Theta$
1	60			
2	70			
3	80			
4	90			
5	100			
6	110			
7	120			
8	130			
9	140			
10	150			
11	160			

6.4.4. Обработка результатов измерений

1. Вычислите и запишите в табл. 6.4.2 необходимые величины: $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ и $(1 - \cos \Theta)$.

2. Постройте график зависимости изменения длины волны ($\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$) от разности $(1 - \cos \Theta)$.

3. Определите по тангенсу угла наклона графика значение комптоновской длины волны электрона (см. с. 6).

$$\lambda_c = \frac{\Delta(\Delta\lambda)}{\Delta(1 - \cos\vartheta)}. \quad (6.4.6)$$

4. Сравните полученное значение с теоретическим значением для электрона $\lambda_c = 2,43 \cdot 10^{-12}$ м.

5. Определите относительную и среднюю абсолютную погрешности определения комптоновской длины волны (см. с. 8).

6. Запишите окончательный результат и сделайте вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется эффектом Комптона?
2. Опишите процесс взаимодействия падающего рентгеновского фотона и свободного электрона вещества.
3. Напишите формулу для эффекта Комптона.
4. Напишите формулу для комптоновской длины волны электрона. Чему она равна?
5. Какие законы сохранения выполняются при взаимодействии фотона с электроном в эффекте Комптона?
6. Напишите закон сохранения энергии и импульса для эффекта Комптона.
7. Чему равно максимальное изменение длины волны рассеянного фотона и когда оно наблюдается?