

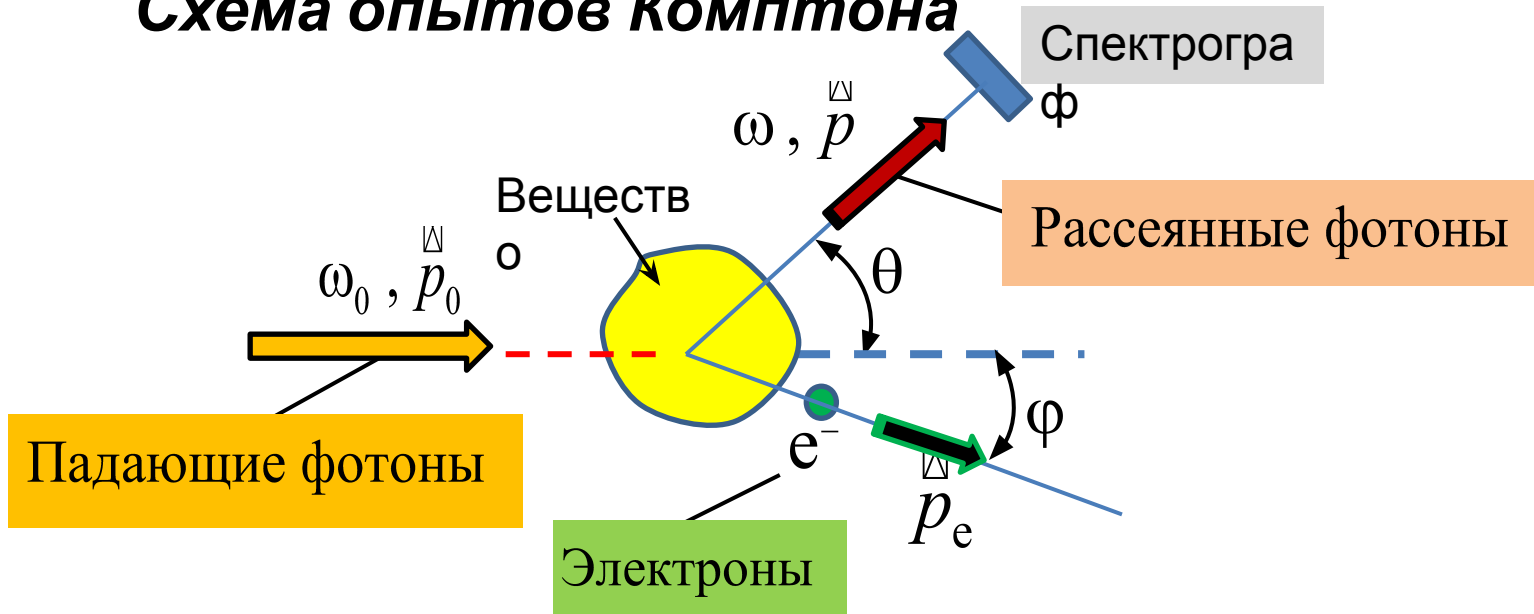
Эффект

Комптона

Эффект Комптона – изменение энергии и импульса фотонов при рассеянии на свободных электронах.

В 1922 – 1923гг американский физик Артур Комптон изучал рассеяние графитом (углерод) монохроматического рентгеновского излучения.

Схема опытов Комптона



Результаты опытов

На вещество падает узкий пучок монохроматического рентгеновского излучения

с длиной волны $\lambda_0 = 0,7$ нм и энергией фотонов $E_{св} = 1,8$ эВ.

и

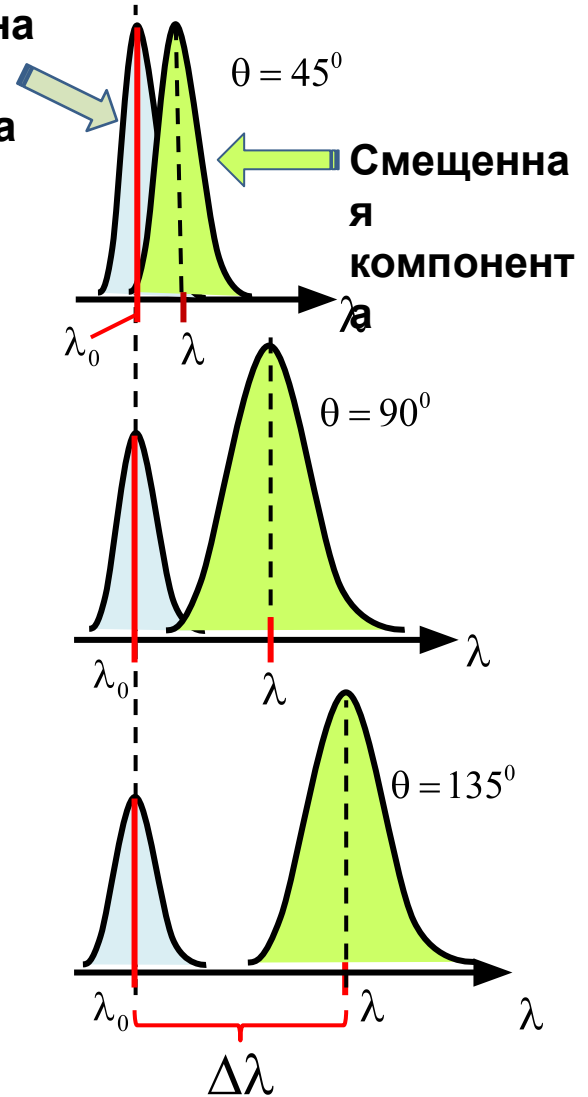
$E_{св} = 1,8$ эВ

. Эта энергия весьма велика по сравнению с энергией связи внешних электронов атома углерода. В этих условиях можно считать, что процесс рассеяния происходит на свободных электронах.

На рисунке представлены результаты рассеяния рентгеновского излучения на графите, полученные в опытах Комптона, для трех углов рассеяния 45° , 90° и 135° . По вертикальной оси отложена интенсивность рассеянного излучения, по горизонтальной оси — длина волны излучения.

- несмещенная компонента

Несмещенная компонента



$$\Delta\lambda(\theta) = \Lambda_K (1 - \cos \theta)$$

$$\Lambda_K = 0,24$$

Из экспериментов по рассеянию излучения разными веществами следовало, что $\Lambda_K = \hbar m v$ и величина смещения $\Delta\lambda$ не зависит от того, из каких атомов состоит рассеивающее вещество.

Вывод: *Рассеяние происходит на свободных электронах.*

Увеличение длины волны излучения при его рассеянии необъяснимо с точки зрения волновой теории электромагнитного излучения.

Кроме того, в экспериментах обнаружено, что с увеличением угла θ интенсивность несмещенной компоненты с длиной волны уменьшается, а интенсивность смещенной компоненты увеличивается.

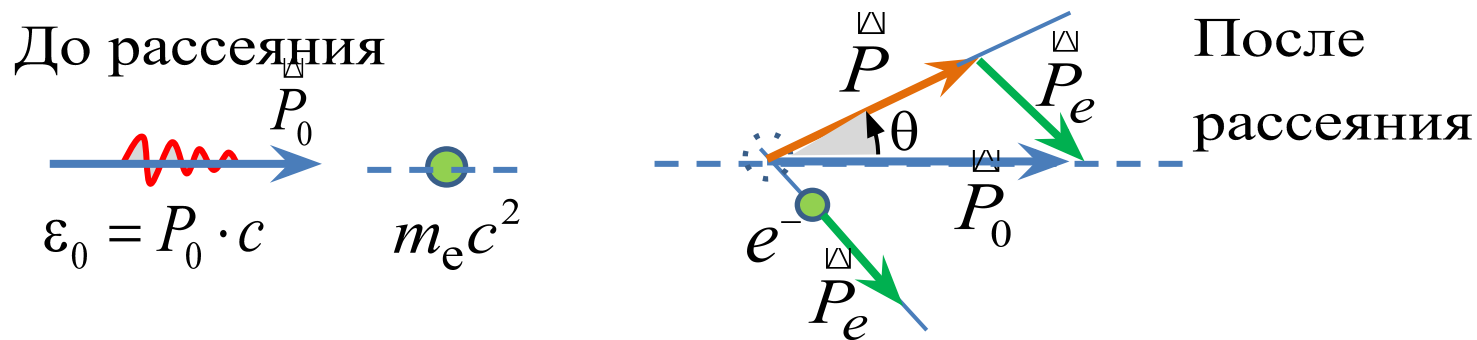
С точки зрения классической физики:

* Электромагнитная волна должна воздействовать сразу на все электроны вещества. При этом доля энергии и импульса волны, передаваемая одному электрону, должна быть ничтожно малой.

* В классической теории рассеяние рассматривается как процесс, в котором электроны совершают вынужденные колебания под действием электрического поля падающей волны, излучая вторичные (рассеянные) электромагнитные волны на частоте падающего излучения.

Эффект Комптона относится к явлениям **КВАНТОВОЙ ОПТИКИ**.

Импульс фотона $\vec{p} = \hbar\omega/c = 2\pi\hbar/\lambda$, энергия фотона $\hbar\omega = P \cdot c$



Закон сохранения импульса при упругом рассеянии фотона электроном: $\vec{p}_0 = \vec{p} + \vec{p}_e$

Закон сохранения энергии: $P_0 \cdot c + m_e c^2 = P \cdot c + E_e$

$$E_e^2 = P_e^2 c^2 + (m_e c^2)^2$$

$$\begin{cases} P_e^2 = (P_0 - P)^2 + 2(P_0 - P)m_e c \\ P_e^2 = P_0^2 + P^2 - 2P_0 P \cos \theta \end{cases}$$

$$\Delta\lambda = \frac{2\pi\hbar}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

$$\Lambda_K = \frac{2\pi\hbar}{m_e c} = \lambda_K$$

Энергия рассеянных фотонов в эффекте

Комптона

Из тех же уравнений $P_e^2 = (P_0 - P)^2 + 2(P_0 - P)m_e c$

$$P_e^2 = P_0^2 + P^2 - 2P_0 P \cos \theta ,$$

полученных из законов сохранения энергии и импульса, можно получить формулу для импульса и энергии рассеянного фотона:

$$P = \frac{P_0}{1 + \frac{P_0}{m_e c} (1 - \cos \theta)} ,$$

$$\hbar \omega = \frac{\hbar \omega_0}{1 + \frac{\hbar \omega_0}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$$

Для электрона $m_e c^2 = 0,511$ МэВ . Из формул видно, что для эффекта Комптона требуется рентгеновская область спектра и область гамма диапазона, когда отношение $\frac{\hbar \omega_0}{m_e c^2}$ не слишком мало и достаточно для регистрации смещения длины волны .

При **рассеянии назад** (угол $\theta = 180^\circ$, $\cos \theta = -1$), когда $\hbar \omega_0 = m_e c^2$, энергия рассеянного фотона в три раза меньше энергии падающего фотона: $\hbar \omega = \hbar \omega_0 / 3$

. $\hbar \omega \approx m_e c^2 / 2 = 0,255$

А в случае фотонов большой энергии, когда $\hbar \omega_0 \gg m_e c^2$, энергия рассеянного назад фотона

Формул

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_{\text{к}} = \Lambda (1 - \cos \theta)$$

, где

а

$$\Lambda_{\text{к}} = \frac{2\pi\hbar}{m_e c}$$

— это комптоновская длина волны для электрона

получена в предположении, что **электрон перед столкновением с фотоном находился в состоянии покоя.**

Формула Комптона содержит постоянную Планка \hbar , и способ, каким эта величина вошла в эту формулу, является сильным доводом в пользу фотонных представлений.

Значение эффекта Комптона состоит в том, что он подтверждает универсальный характер соотношений:

$$\text{энергия фотона } \varepsilon = \hbar\omega, \quad \text{импульс фотона } P = \hbar k, \quad P = \hbar\omega/c$$

В опыте Комптона **фотон** ведет себя как **неделимая частица.**

В элементарном процессе рассеяния **падающий фотон исчезает, и рождается новый фотон** с меньшей энергией **и электрон отдачи.**