

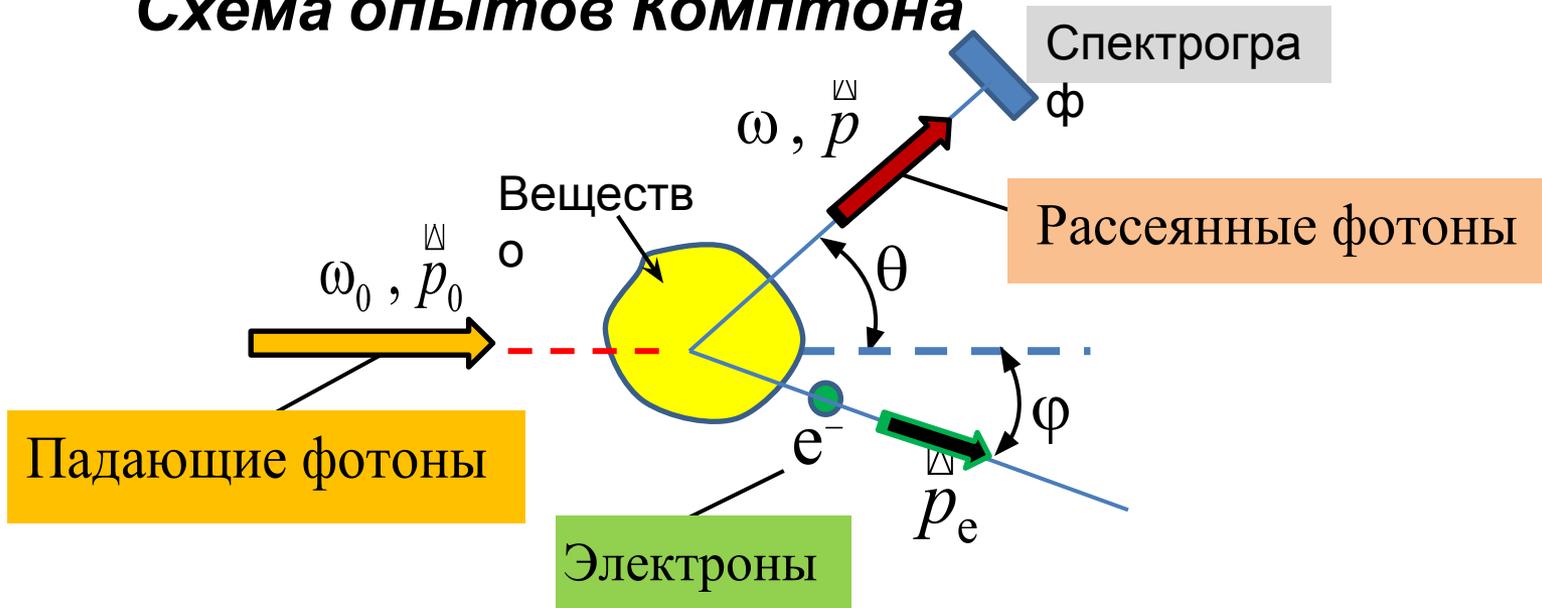
# Эффект

## 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

$$\lambda_0 = 0,7 \text{ \AA}$$

с длиной волны  $\lambda_0$  и энергией фотонов  $E_{\text{св}}$ .

И

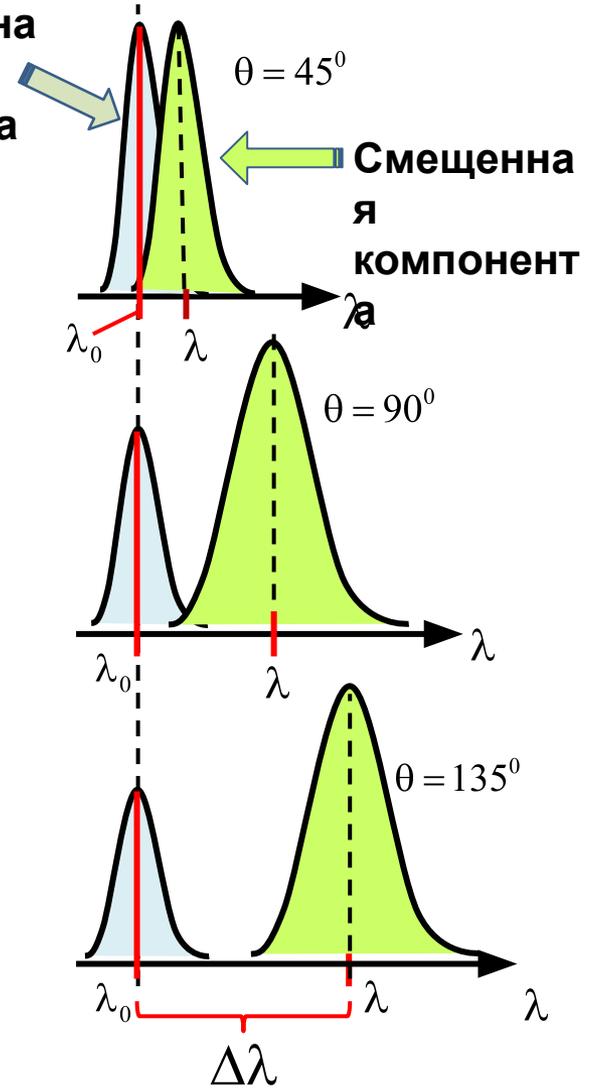
$$E_{\text{св}} \approx 1,8 \text{ эВ}$$

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  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $135^\circ$ . По вертикальной оси отложена интенсивность рассеянного излучения, по горизонтальной оси — длина волны излучения.

- несмещенная компонента

Несмещенная компонента



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

$$\Lambda_K = 0,24 \text{ \AA}$$

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  $\theta$  интенсивность несмещенной компоненты с длиной волны уменьшается, а интенсивность смещенной компоненты увеличивается.

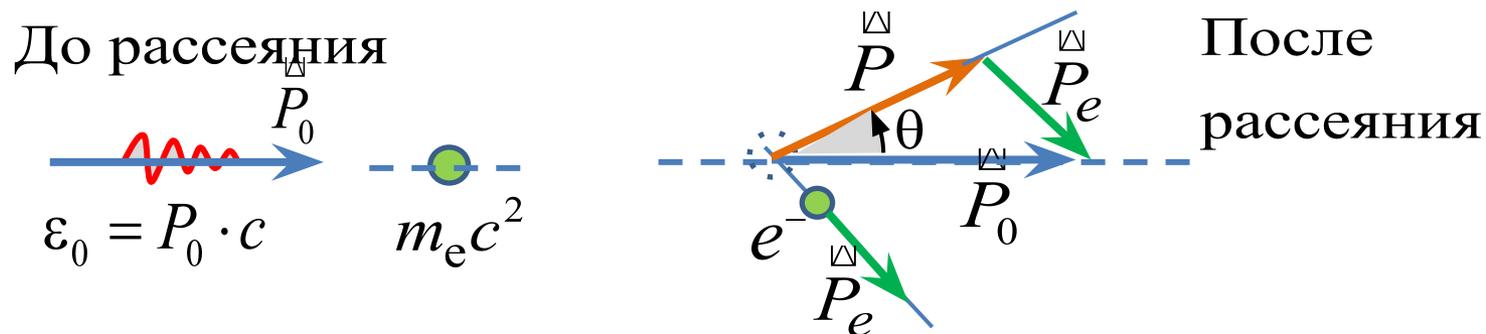
**С точки зрения классической физики:**

\* 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:**  $P_0 \cdot c + m_e c^2 = P \cdot c + E_e$

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

$$P_e^2 = (P_0 - P)^2 + 2(P_0 - P)m_e c$$

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

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

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

# 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

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

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.**