

фотоэлектрические явления



Различают *внешний* и *внутренний* фотоэффект:

внешний фотоэффект- явление вырывания электронов с поверхности твердых и жидких веществ под действием электромагнитного излучения

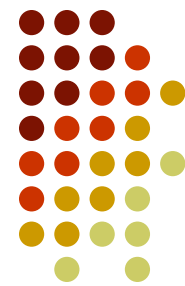
(фотоэлектронная эмиссия, в газах – фотоионизация) ;



**при внутреннем фотоэффekte –
электроны остаются в веществе,
но переходят на более высокие
энергетические уровни
(фотопроводимость, фотоЭДС,
фотодиэлектрический эффект).**

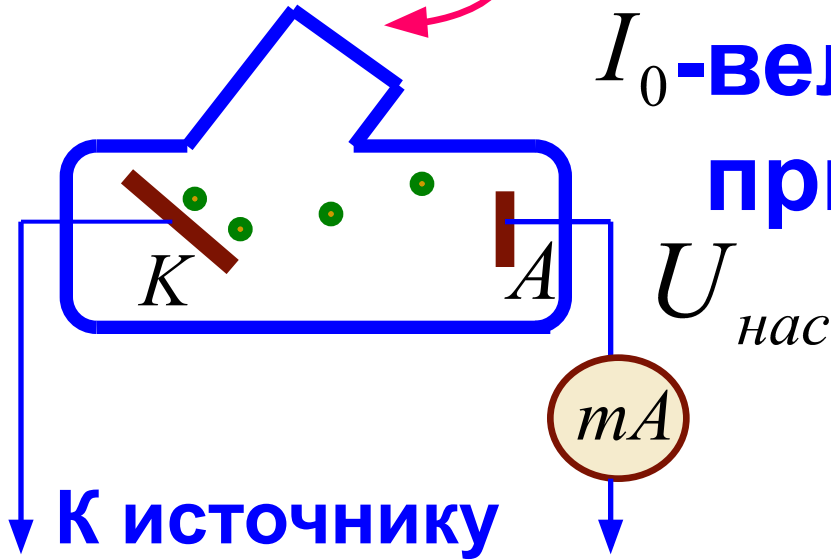


- **Г.Герц (1887):** проскакивание искры между электродами разрядника облегчается при освещении УФ - светом.
- **А.Г.Столетов (1888-1889), Ф. Ленард (1899-1902):** при освещении металла теряются электроны, их энергия пропорциональна частоте, не зависит от интенсивности света.



- **Р. Милликен (1916)** экспериментально определил постоянную Планка.
- **П.И.Лукирский, С.С.Прилежаев (1928-1937)** создали сурьяно-цезиевый фотокатод.
- **Л.А.Кубецкий (1934)** создал многокаскадный ФЭУ.

Вакуумный фотодиод



I_0 - величина фототока

при $U = 0$;

$U_{нас}$ - напряжение между

A и **K** фотодиода,

при котором вели-

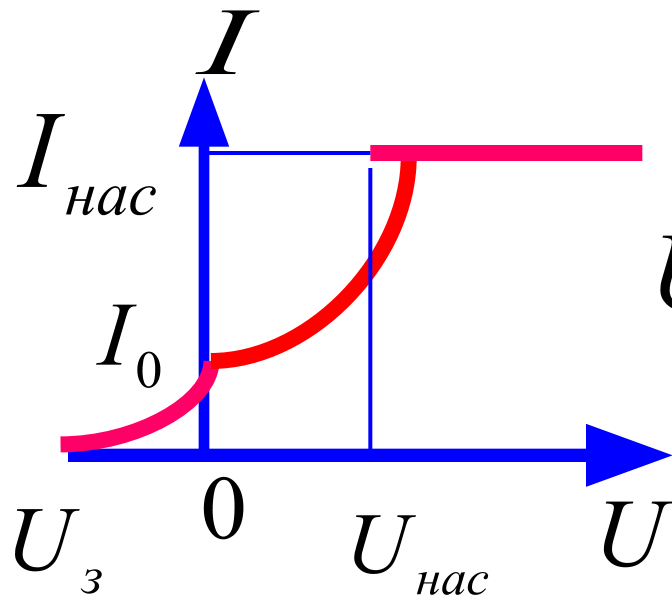
чина фототока

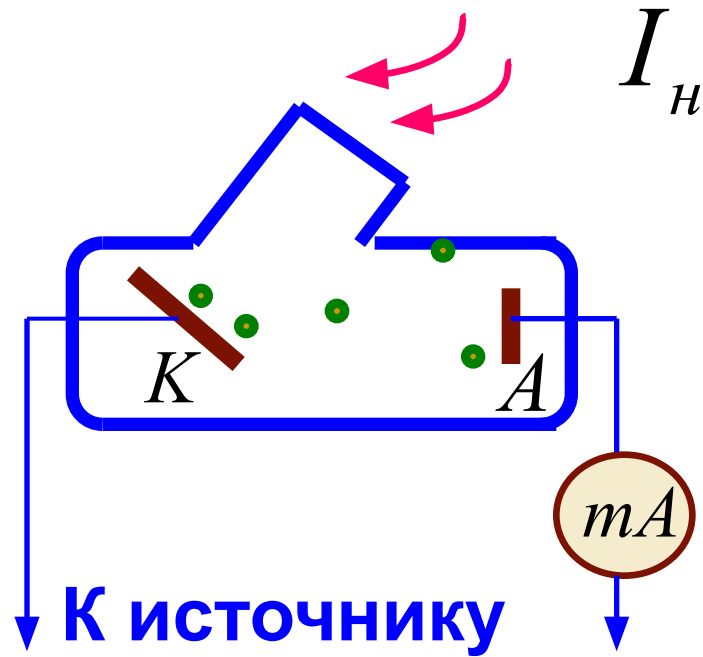
достигает $I_{нас}$;

$U_з$ - напряжение, при

котором электроны

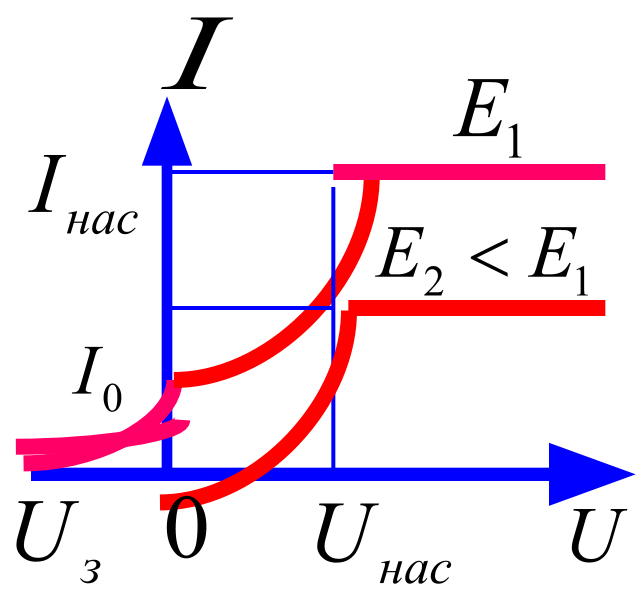
не достигают анода.





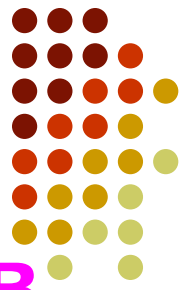
$I_{нас}$ определяет максимальное число электронов, достигших **A** за единицу времени :

$$I_{нас} = eN_{max};$$



E -освещенность **K** , пропорциональна интенсивности света .

Законы внешнего фотоэффекта

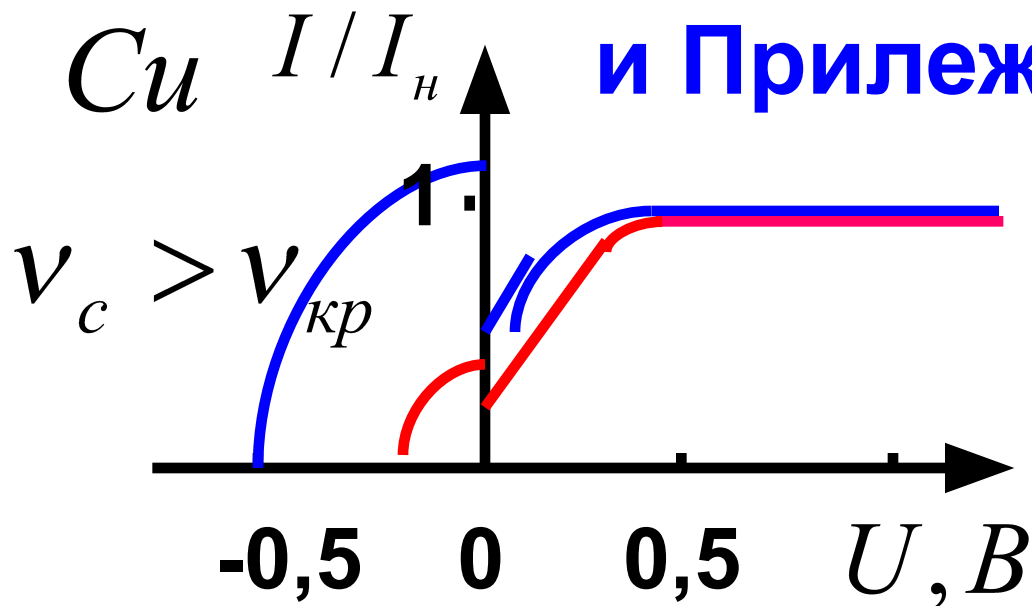


- Число электронов, испускаемых в единицу времени (сила фототока в режиме насыщения) пропорционально интенсивности света (**закон Столетова**).
- Для каждого вещества при определенном состоянии его поверхности существует “**красная граница**” λ_{\max} , при которой еще возможен фотоэффект.

- Максимальная начальная скорость фотоэлектронов определяется частотой излучения и не зависит от его интенсивности (закон Эйнштейна).



Из опытов Лукирского и Прилежаева:



1905г. Уравнение Эйнштейна



Предложена квантовая теория , в которой э/м излучение не только испускается, но и распространяется и поглощается квантами . Фотоэффект – результат взаимодей-ствия фотона и электрона вещества:

$$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2}$$



$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} - \text{энергия фотона;}$$

A – работа выхода электрона с поверхности вещества, определяет «границу» фотоэффекта:

$$h\nu_0 = A \Rightarrow \nu_0 = \frac{A}{h}; \quad \frac{hc}{\lambda_{\max}} = A \Rightarrow \lambda_{\max} = \frac{hc}{A};$$

$$W_K^{\max} = \frac{m\nu_{\max}^2}{2} = eU_3 - \text{максимальная}$$

кинетическая энергия электрона.



При использовании мощных лазеров энергия фотона передается нескольким электронам

$$Nh\nu = A + \frac{m\nu_{\max}^2}{2}$$

и “граница” фотоэффекта для данного вещества изменяется

$$Nh\nu_0 = A \Rightarrow \nu_0 = \frac{A}{Nh}$$

фотон - квант энергии электромагнитного излучения (квазичастица)

1926г.



$$\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda} - \text{энергия фотона;}$$

$$p = mc - \text{импульс фотона}$$

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{2\pi} k = \hbar k, \quad \vec{p} = \hbar \vec{k};$$

$$mc^2 = h \frac{c}{\lambda} \Rightarrow m = \frac{h}{c\lambda} - \text{масса фотона;}$$

$\varepsilon = pc$ – связь энергии и импульса ,
возможна лишь для частиц, у
которых масса покоя равна нулю.

Может ли фотон отдать всю энергию свободному электрону?



Пусть **фотон** сталкивается с покоящимся свободным электроном. Энергия покоя электрона m_0c^2 , его импульс равен нулю. Система замкнута, выполняются **ЗСЭ** и **ЗСИ** :

$$h\nu + m_0c^2 = mc^2, \quad \frac{h\nu}{c} = m\nu,$$



$$h\nu + m_0c^2 = mc^2, \quad \frac{h\nu}{c} = m\nu,$$

где

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\nu^2}{c^2}}}.$$

С учетом m оба равенства не могут выполняться одновременно при произвольных значениях ν , отличных от 0 и ∞ .

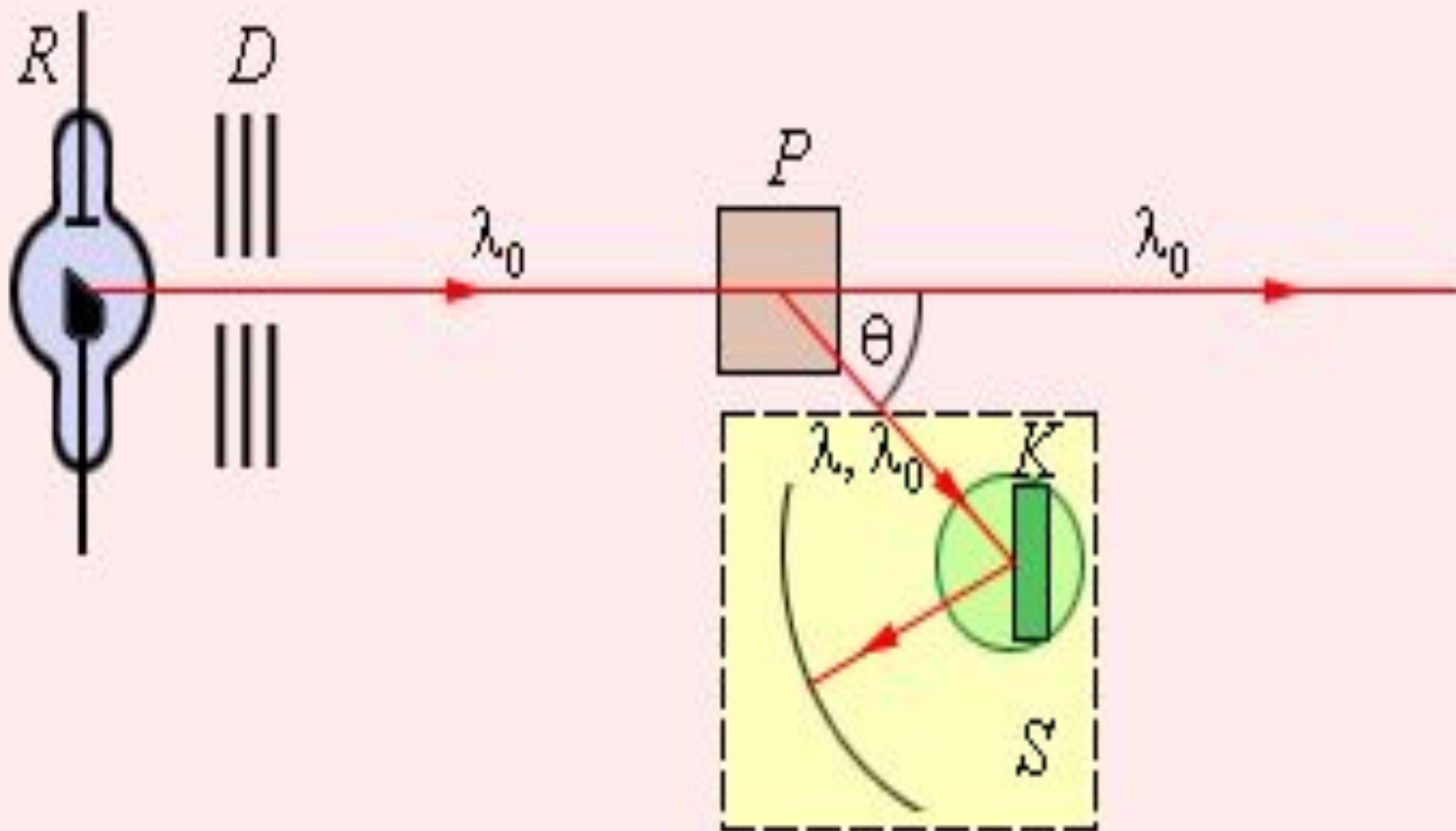
Эффект Комптона

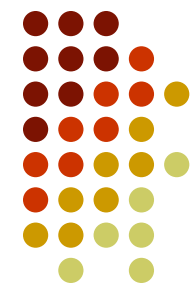
(1922г.)



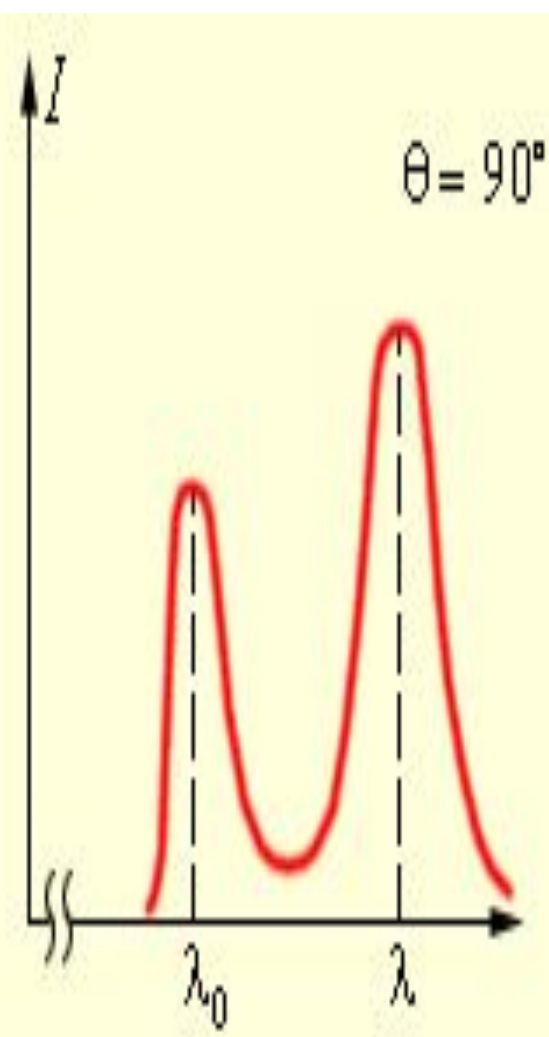
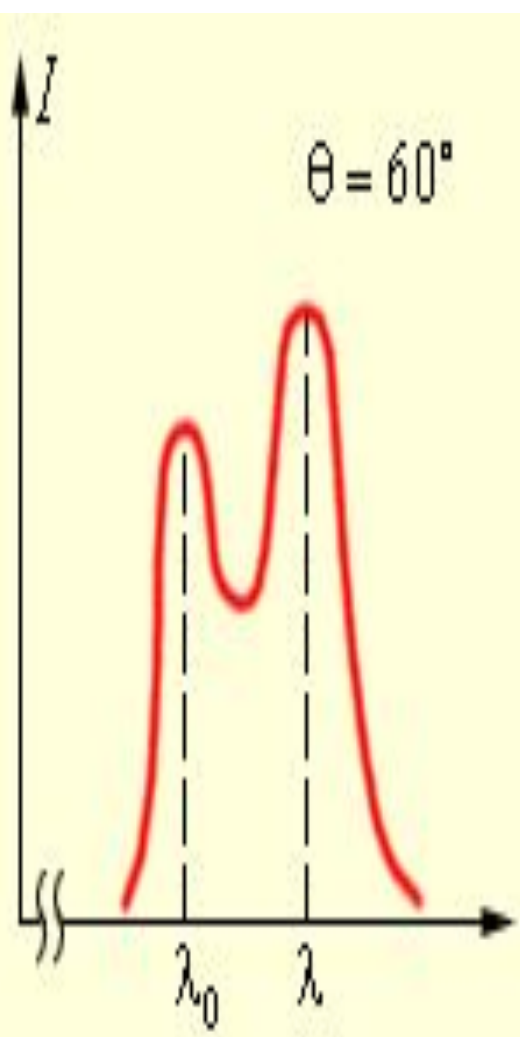
С увеличением частоты излучения фотоэлектрическое поглощение веществом уменьшается, ему на смену приходит рассеяние фотонов на слабо связанных электронах. Комптон обнаружил это явление при рассеянии РЛ на парафине.

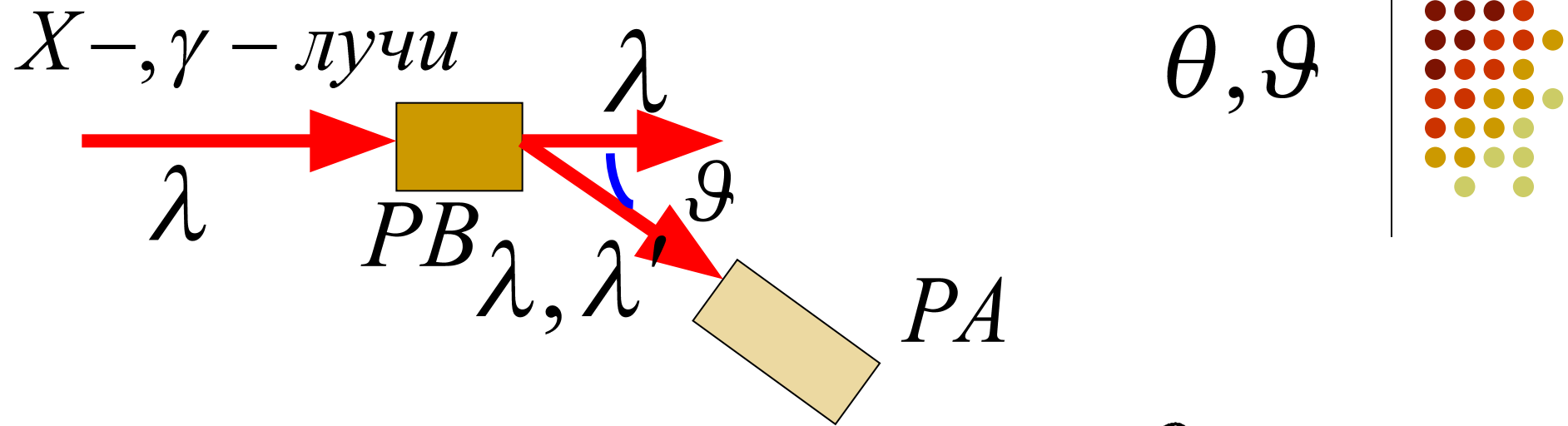
Схема эксперимента Комптона





Спектры рассеянного излучения





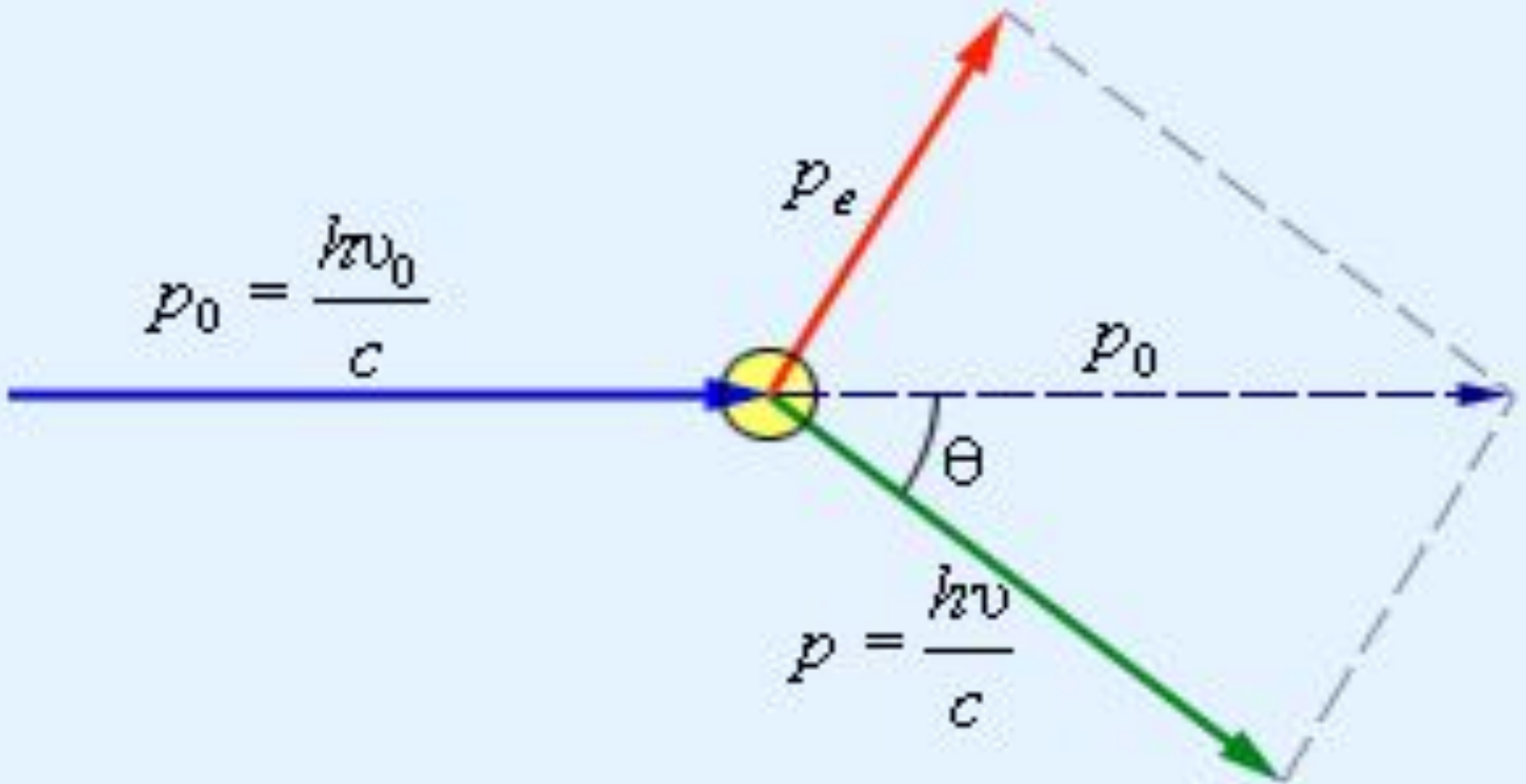
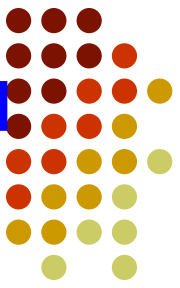
(1)
$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\vartheta}{2},$$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos \vartheta);$$

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0 c} = 2,426 \cdot 10^{-12} \text{ м} - \text{при рассеянии}$$

фотона на слабо связанном электроне.

Диаграмма импульсов при упругом рассеянии фотона на покоящемся электроне



При рассеянии “энергичных” фотонов на “почти” свободных электронах выполняются **ЗСИ** и



ЗСЭ:

(2)
$$\begin{cases} \vec{p} = \vec{p}_e + \vec{p}', \\ E_0 + \varepsilon = E + \varepsilon', \end{cases}$$

\vec{p} и ε - импульс и энергия фотона до рассеяния;

\vec{p}' и ε' - импульс и энергия фотона после рассеяния;

$\hbar p_e$ - импульс электрона отдачи ;

E_0 и E - энергия покоящегося электрона и полная энергия электрона отдачи.



Решение системы (2) - уравнение (1).

Кинетическая энергия электрона отдачи

$$T = E - E_0 = c^2 (m - m_0) = \varepsilon - \varepsilon',$$

так как $E = mc^2$ и $E_0 = m_0c^2$.



**Двойственная
корпускулярно – волновая
природа электромагнитного
излучения:**

**оно одновременно обладает
свойствами непрерывных
электромагнитных волн и
свойствами дискретных
фотонов.**

**Это диалектическое единство проти-
воположных свойств, проявляющих
определенную закономерность.**

Проявление противоположных свойств света: с уменьшением длины волны проявляются **квантовые свойства излучения, с ее увеличением – **волновые**.**



Корпускулярные свойства обусловлены локализацией энергии и импульса излучения в дискретных частицах, волновые – статистическими закономерностями их распределения в пространстве.