
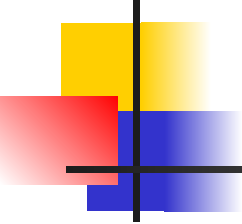
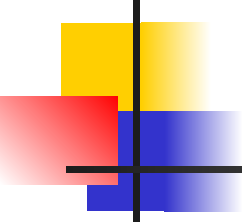


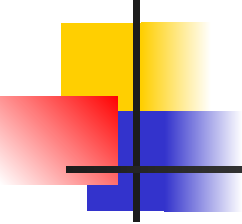
ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

- 
- Свечение тел, обусловленное нагреванием называется **ТЕПЛОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**
-

- Совершается за счет энергии теплового движения атомов и молекул
- Характеризуется сплошным спектром
- При высоких температурах излучаются короткие волны
- При низких температурах - длинные

- 
-
- Батарея центрального отопления 350 К-инфракрасная область
 - Солнце $6 \times 10^3 \text{K}$ – видимая часть спектра
 - Атомный взрыв 10^6K рентгеновское и гамма излучение

- 
-
- **Люминенсценция** – излучение не обусловленное внутренней энергией тел
 - Может возникать когда частицы налетают на тело

- 
-
- ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ -
РАВНОВЕСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
 - (т.е сколько энергии в ед. времени излучается столько же и поглощается)

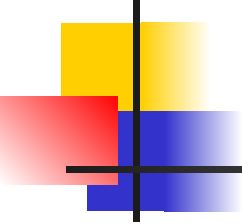
СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СВЕТИМОСТИ

- - ЭТО МОЩНОСТЬ
излучения с единицы
площади
поверхности тела в
единичном
интервале частот

$$R_{\nu, T} = \frac{dW_{\nu, \nu + d\nu}^{\text{ИЗЛ}}}{d\nu}$$

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СВЕТИСМОСТЬ

$$R_T = \int_0^{\infty} R_{\nu, T} d\nu$$

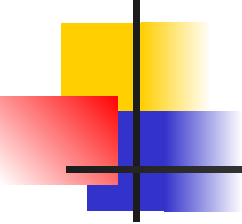

$$R = \int_0^{\infty} r_{\lambda, T} d\lambda$$

- Найдем связь между $r_{\omega, T}$ и $r_{\lambda, T}$

$$\lambda = 2\pi \frac{c}{\omega}$$

$$r_{\omega, T} d\omega = r_{\lambda, T} d\lambda$$

$$r_{\lambda, T} = r_{\omega, T} \frac{d\omega}{d\lambda}$$


$$\frac{d\omega}{d\lambda} = -\frac{2\pi c}{\lambda^2}$$

Знак «-» означает, что при увеличении длины волны частота убывает

$$r_{\lambda, T} = \frac{\hbar c}{\lambda^2} r_{\omega, T}$$

Спектральная

поглощательная способность

- показывает
какая доля
энергии,
приносимой в
единицу времени
на единицу
поверхности
ПОГЛОЩАЕТСЯ

$$A_{\nu, T} = \frac{dW_{\nu, \nu+d\nu}^{\text{погл}}}{dW_{\nu, \nu+d\nu}}$$



$$R_{\nu,T} \quad \text{И} \quad A_{\nu,T}$$

**Зависят от природы тела,
его температуры и диапазона
частот**

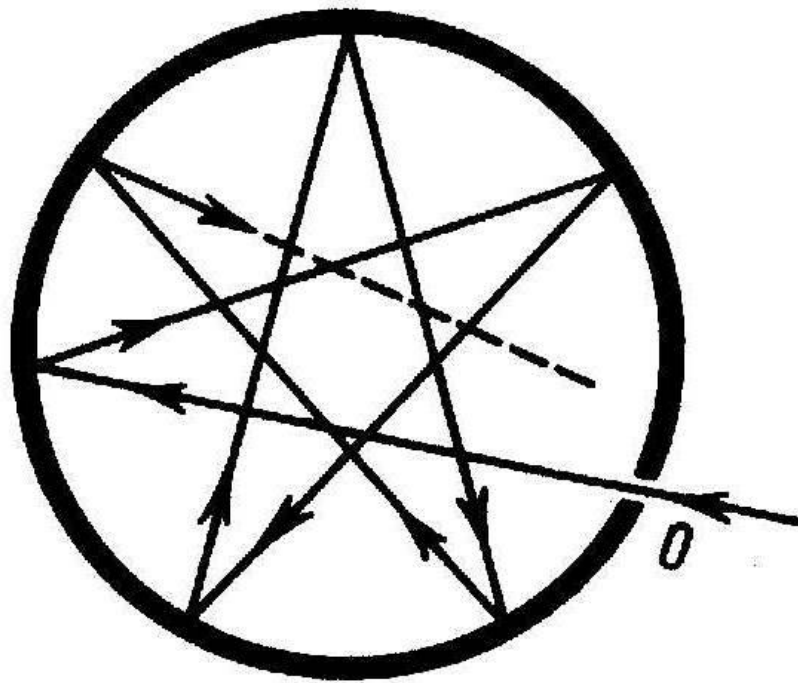


Абсолютно черное тело

- При любой температуре полностью поглощает падающее излучение в любом диапазоне частот

$$A_{\nu, T} \equiv 1$$

Модель абсолютно черного тела

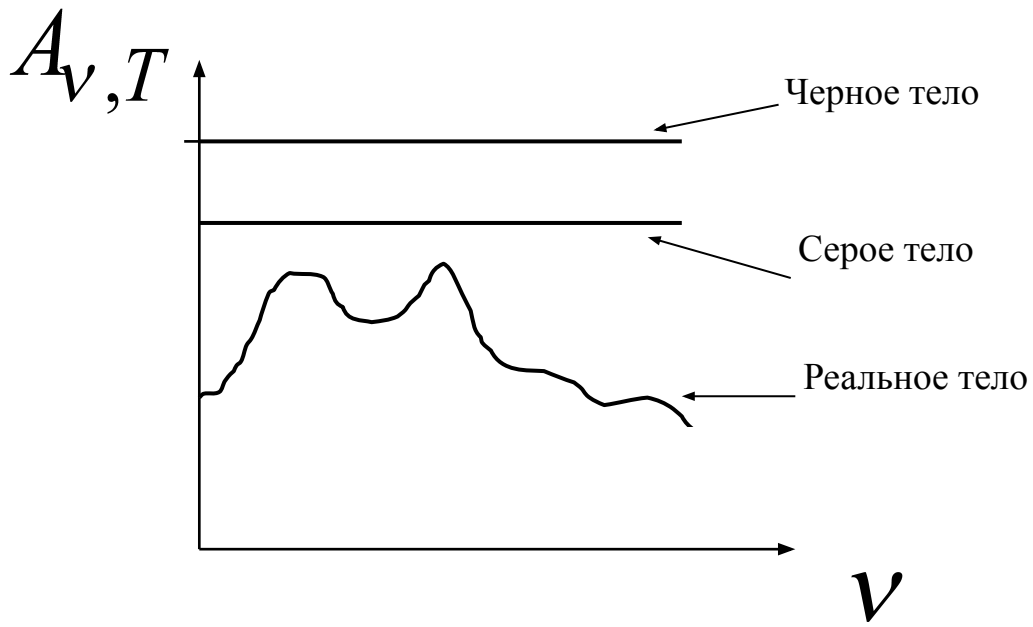




Серое тело

- Поглощательная способность меньше 1, но одинакова для всех частот и зависит только от температуры

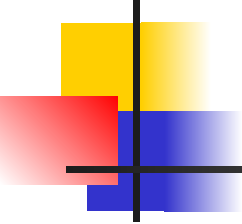
$$A_{\nu, T}^c = A_T = \textit{const} < 1$$





ЗАКОН КИРХГОФА

- Отношение спектральной плотности энергетической светимости к спектральной поглощательной способности не зависит от природы тела, а является универсальной функцией частоты и температуры


$$\frac{R_{\nu,T}}{A_{\nu,T}} = \text{const} = r_{\nu,T}$$

Для абсолютно черного
тела

$$A_{\nu,T} \equiv 1$$

$$r_{\nu,T} = R_{\nu,T}^{\text{черн}}$$

**Универсальная функция Кирхгофа-
спектральная плотность энергетической
светимости абсолютно черного тела**



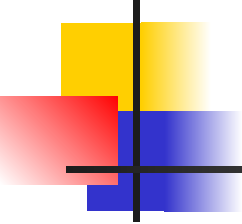
Следствия закона Кирхгофа

- 1) т.к. $A_{\nu,T} < 1$ то

$$R_{\nu,T} < R_{\nu,T}^{\text{черн}}$$

- 2) если $A_{\nu,T} = 0$ то $R_{\nu,T} = 0$

ЕСЛИ ТЕЛО НЕ ПОГЛОЩАЕТ, ТО ОНО И НЕ ИЗЛУЧАЕТ


$$R_T = \int_0^{\infty} A_{\nu, T} r_{\nu, T} d\nu$$

**Для серого
тела**

$$R_T^c = \int_0^{\infty} A_T r_{\nu, T} d\nu = A_T \int_0^{\infty} r_{\nu, T} d\nu$$

$$R_{\text{Э}} = \int_0^{\infty} r_{\nu, T} d\nu$$

**- Энергетическая
светимость
черного тела**

$$R_T^c = A_T R_{\text{Э}}$$



ЗАКОН СТЕФАНА- БОЛЬЦМАНА



Закон Стефана-Больцмана

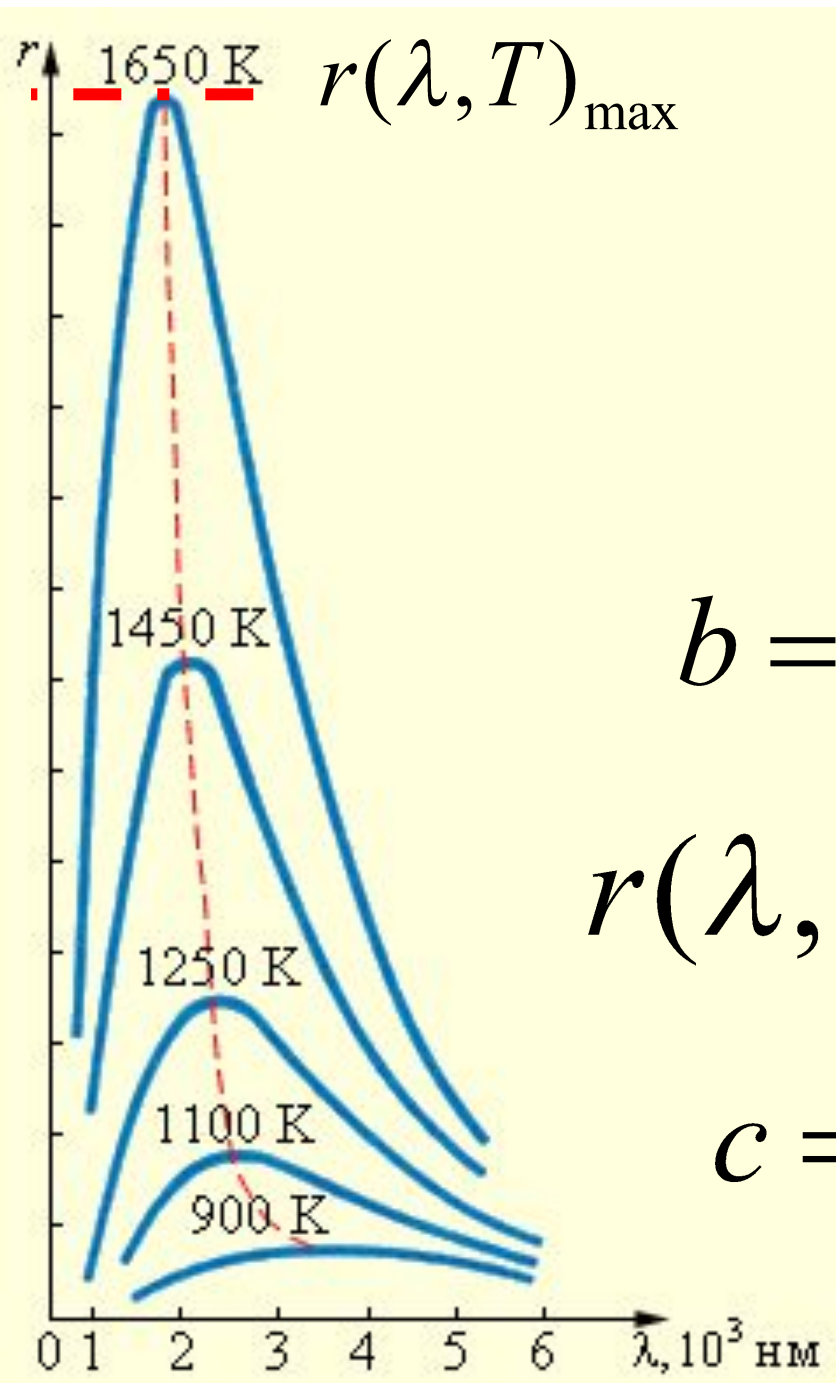
- Энергетическая светимость черного тела пропорциональна четвертой степени температуры

$$R_{\Sigma} = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$$



Закон смещения Вина



$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

$$b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{K}$$

$$r(\lambda, T)_{\max} = c T^5$$

$$c = 1,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{K}^5}$$

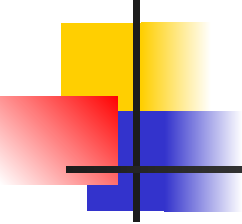


Формула Рэлея -Джинса

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \langle \varepsilon \rangle$$

$$\langle \varepsilon \rangle = kT \quad \text{- средняя энергия осциллятора}$$

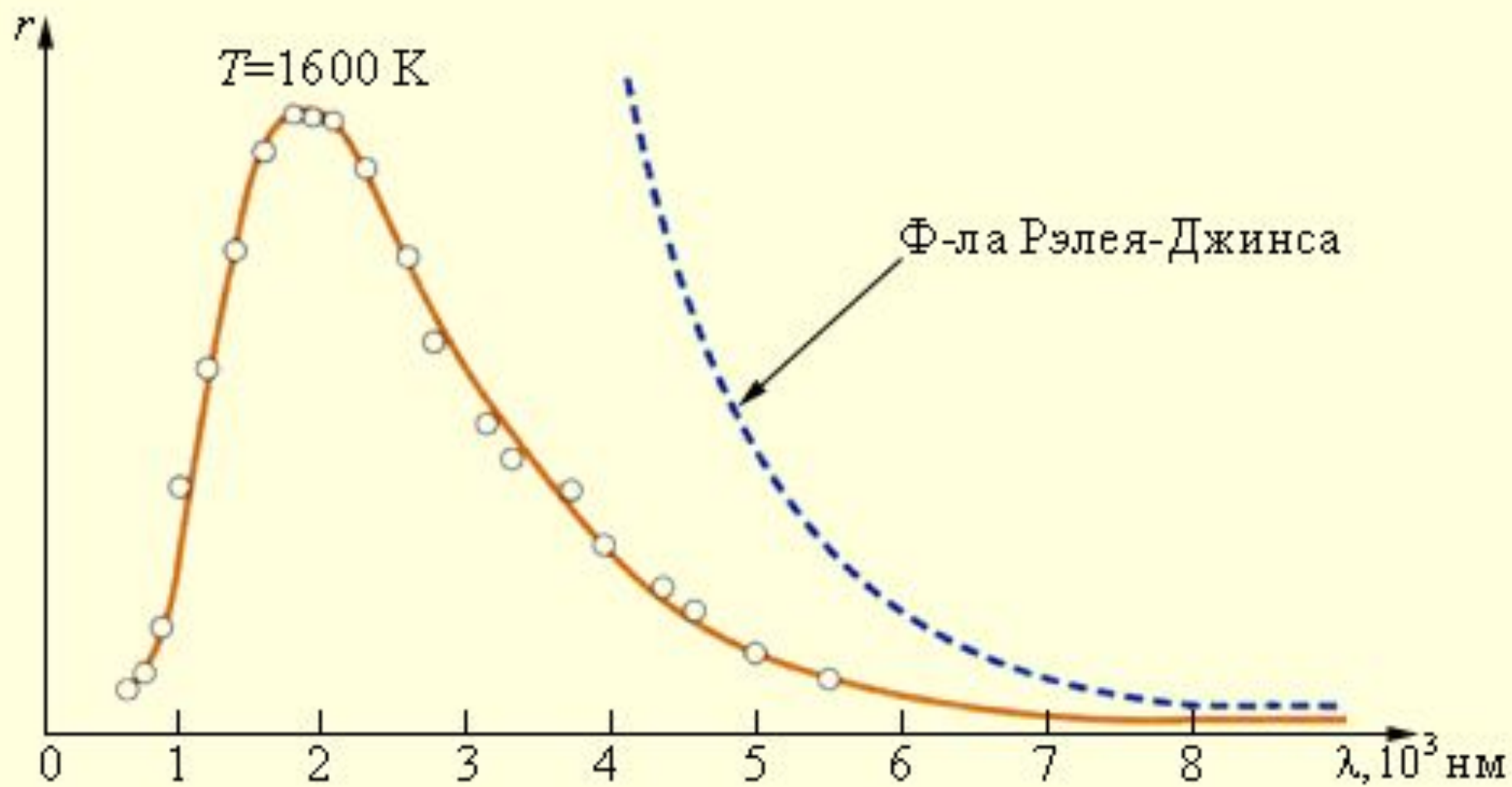
$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT$$


$$R_{\Sigma} = \int_0^{\infty} r_{\nu, T} d\nu$$

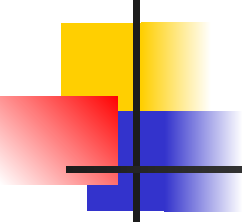
$$R_{\Sigma} = \frac{2\pi kT}{c^2} \int_0^{\infty} \nu^2 d\nu = \infty$$

ПРОТИВОРЕЧИЕ С ЗАКОНОМ СТЕФАНА - БОЛЬЦМАНА

УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ КАТАСТРОФА



Гипотеза Планка

- 
- Атомные осцилляторы излучают энергию определенными порциями – **квантами**

- Энергия одного кванта $\varepsilon = h\nu$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

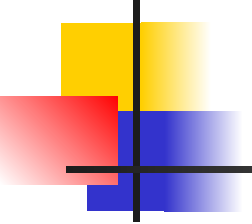
- Энергия осциллятора

$$\varepsilon = nh\nu \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

Средняя энергия осциллятора

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{h\nu}{e^{kT} - 1}$$

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{kT} - 1}$$

- 
- При малых частотах, когда энергия кванта меньше энергии теплового движения формула Планка переходит в формулу Рэлея-Джинса

$$e^{\frac{h\nu}{kT}} = 1 + \frac{h\nu}{kT}$$

$$\nu_{\nu,T} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{\frac{h\nu}{kT}} = \frac{2\pi \nu^2}{c^2} \cdot kT$$

- 
-
- **Формула Планка для универсальной функции Кирхгофа – начало квантовой физики**



ФОТОЭФФЕКТ

- Внешний фотоэффект – испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения

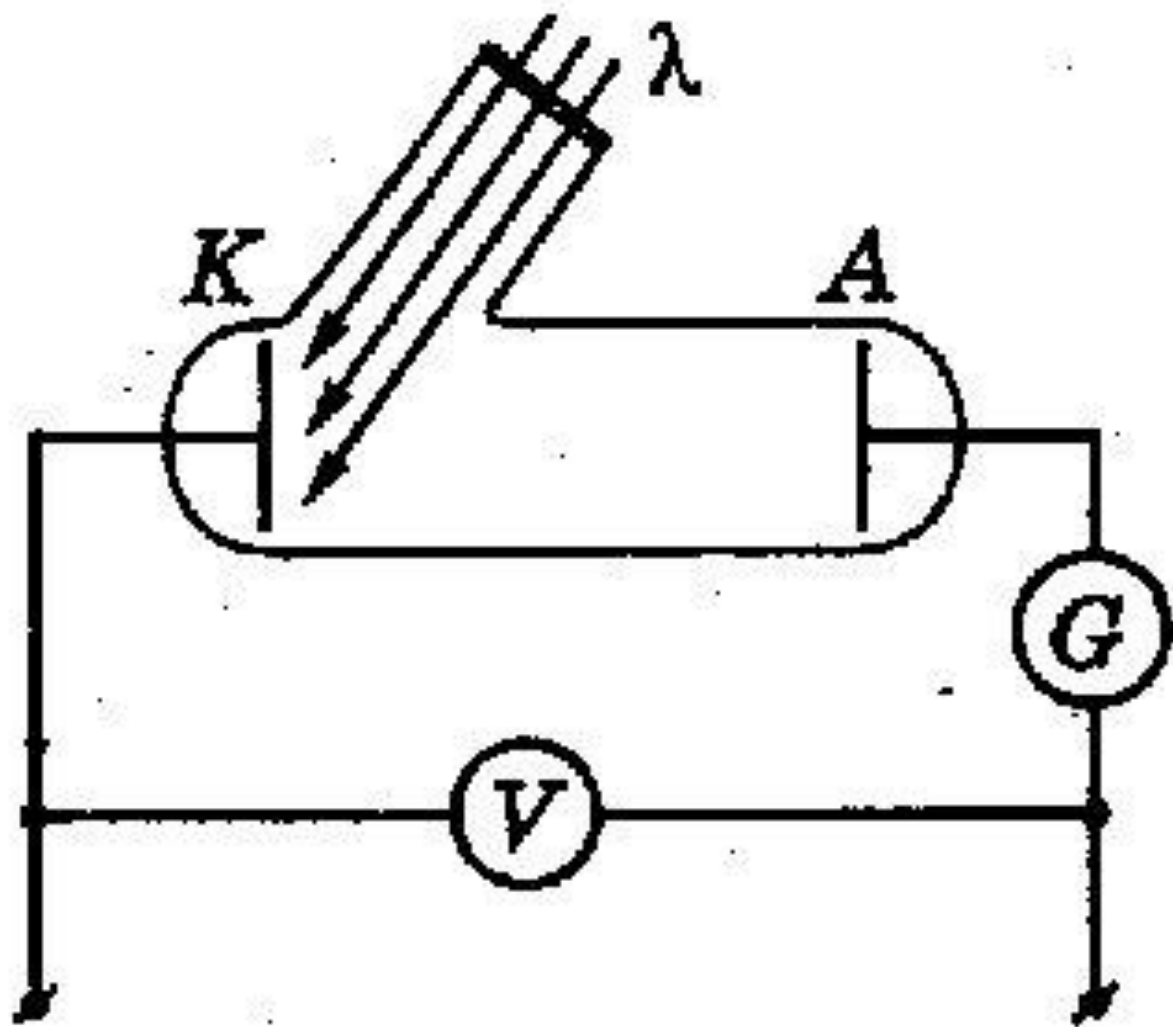
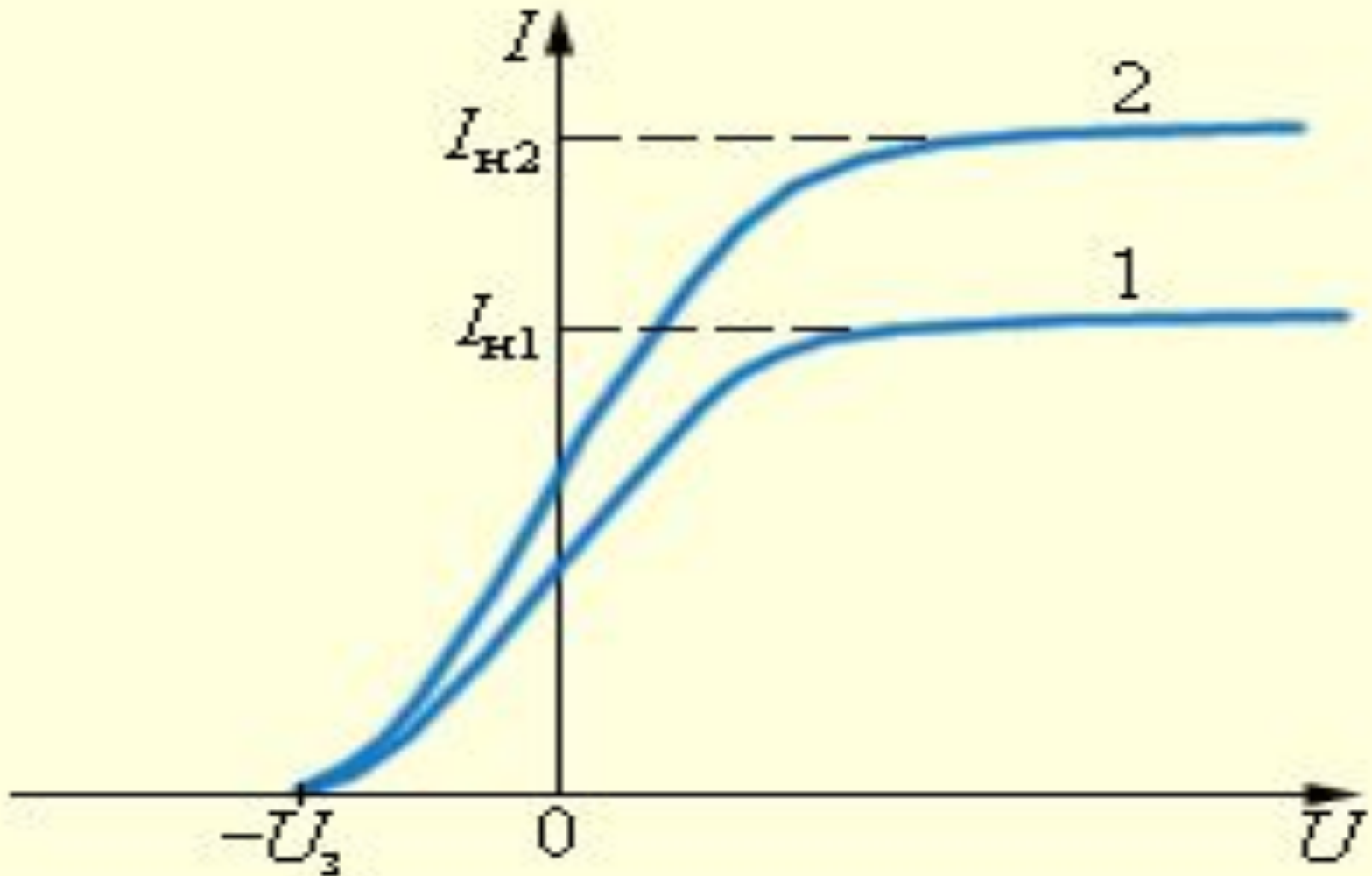
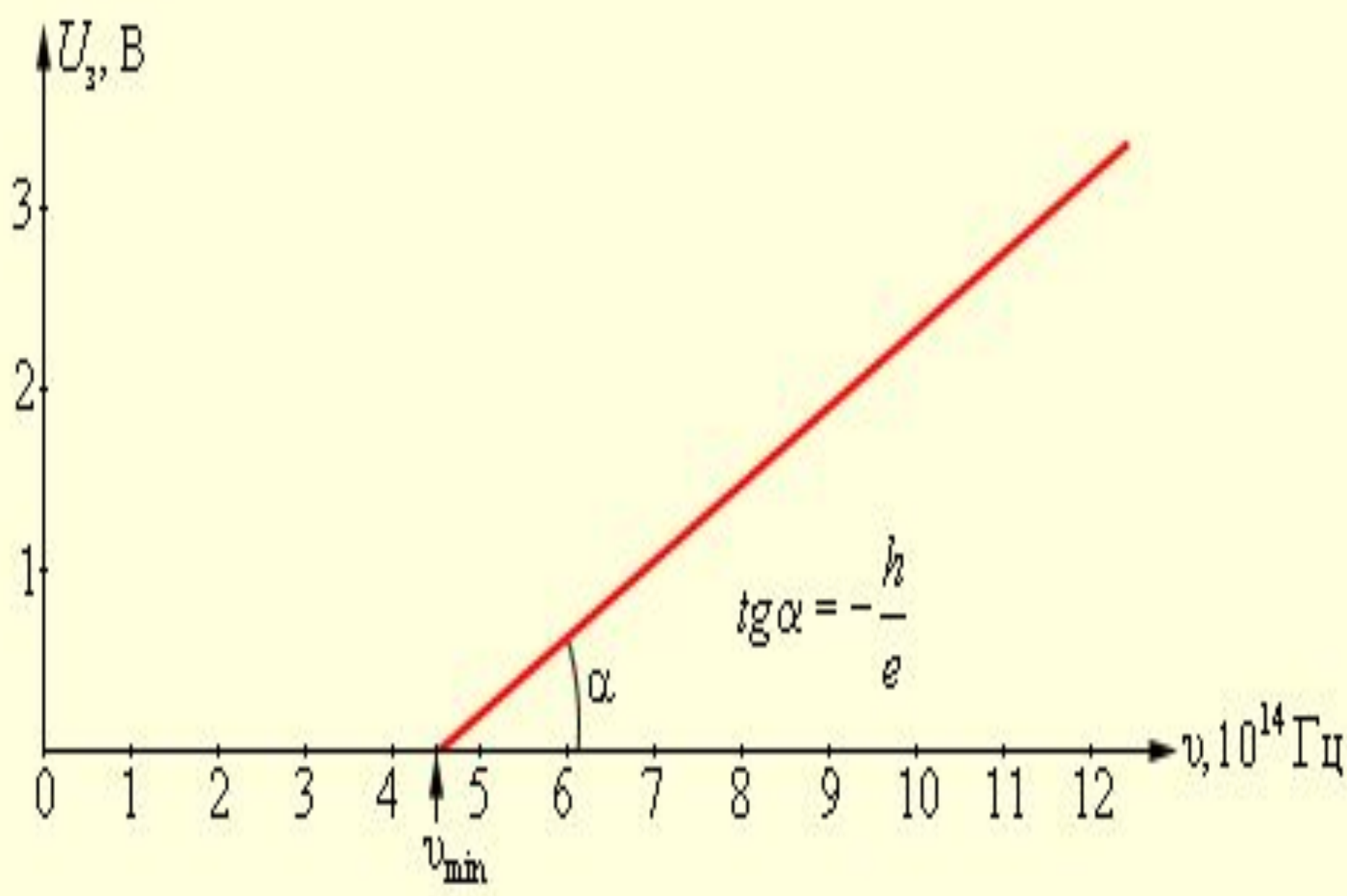


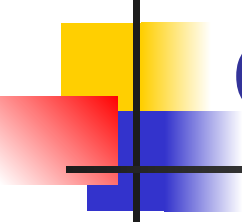
Рис. 1.1

Зависимость силы фототока от приложенного напряжения.

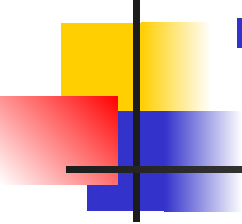




Основные закономерности фотоэффекта



- Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты света и не зависит от его интенсивности.
- Для каждого вещества существует так называемая **красная граница фотоэффекта**, т. е. наименьшая частота при которой еще возможен внешний фотоэффект.

- 
- Число фотоэлектронов, вырываемых светом из катода за 1 с, прямо пропорционально интенсивности света.
 - Фототок возникает мгновенно после начала освещения катода



- **ФОТОЭФФЕКТ
НЕВОЗМОЖНО
ОБЪЯСНИТЬ С
КЛАССИЧЕСКОЙ ТОЧКИ
ЗРЕНИЯ**



УРАВНЕНИЕ ЭЙНШТЕЙНА

- Свет не только испускается, но распространяется и поглощается отдельными порциями – **КВАНТАМИ**

- Кванты электромагнитного излучения наз. **ФОТОНАМИ**

- Энергия одного кванта

$$\varepsilon = h\nu$$


$$h\nu = A + T$$

- Энергия фотона расходуется на **вырывание электрона из металла** (работа выхода $-A = \text{const}$)
- и на сообщение вылетевшему электрону **кинетической энергии (T)**

$$T = \frac{mV_{\text{max}}^2}{2}$$

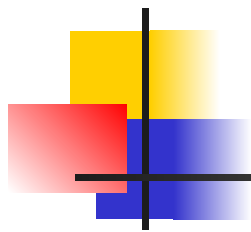

$$h\nu = A + 0$$

$$h\nu_0 = A$$

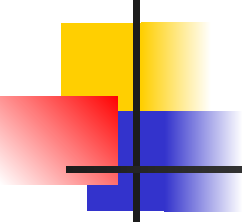
СУЩЕСТВУЕТ КРАСНАЯ ГРАНИЦА ФОТОЭФФЕКТА,
Т.е. МИНИМАЛЬНАЯ ЧАСТОТА ПАДАЮЩЕГО СВЕТА ,
ПРИ КОТОРОЙ ЕЩЕ ВОЗМОЖЕН ФОТОЭФФЕКТ

Работы выхода для некоторых металлов

Металл	Работа выхода (эВ)
Калий	2,2
Литий	2,3
Платина	6,3
Рубидий	2,1
Серебро	4,7
Цезий	2,0
Цинк	4,0



$$1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$



Чтобы фототок исчез
необходимо приложить
задерживающее напряжение

$$eU_3 = \frac{mV_{\max}^2}{2}$$



МАССА И ИМПУЛЬС ФОТОНА

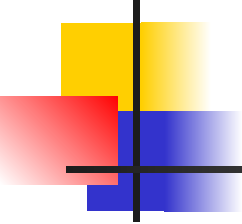

$$\varepsilon = h\nu \quad \varepsilon = mc^2$$

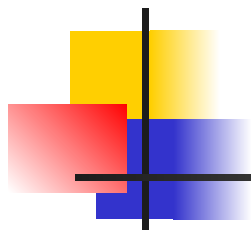
$$m = \frac{h\nu}{c^2}$$

Масса фотона

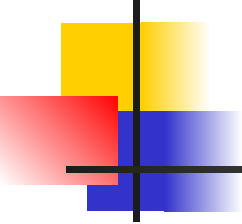
$$p_\gamma = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

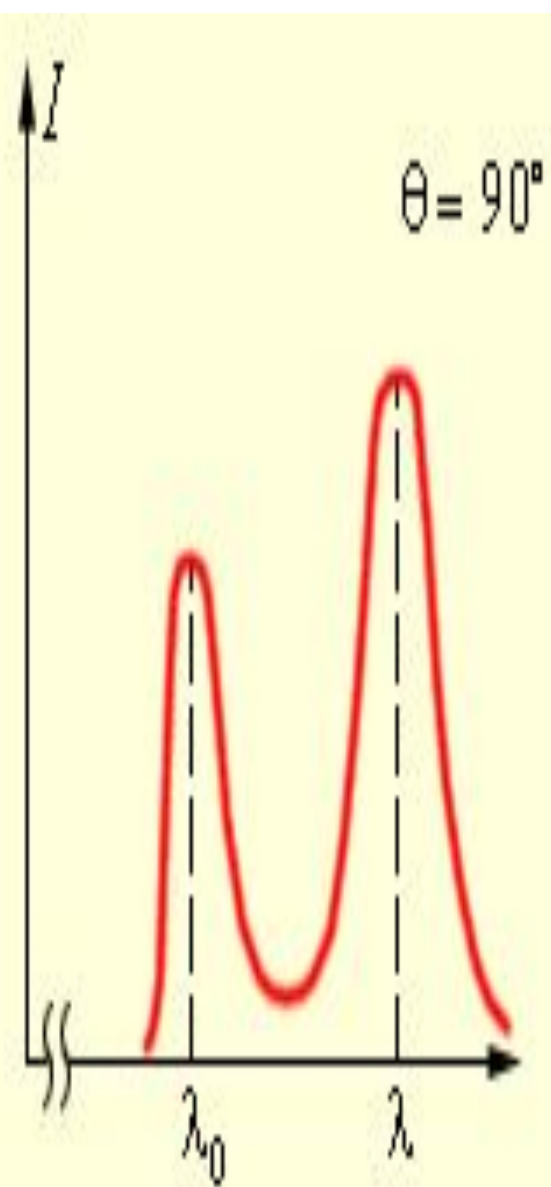
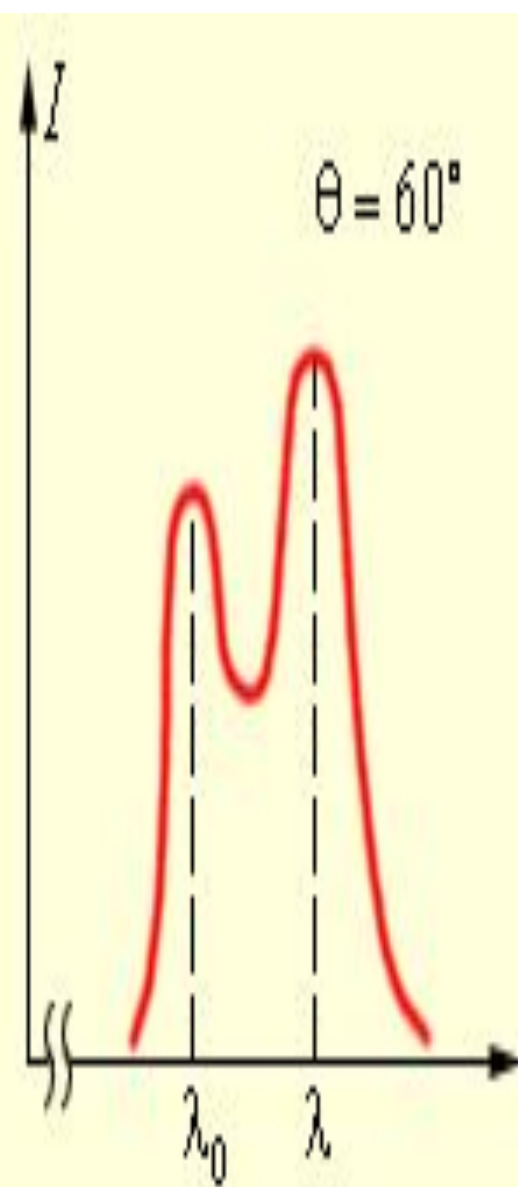
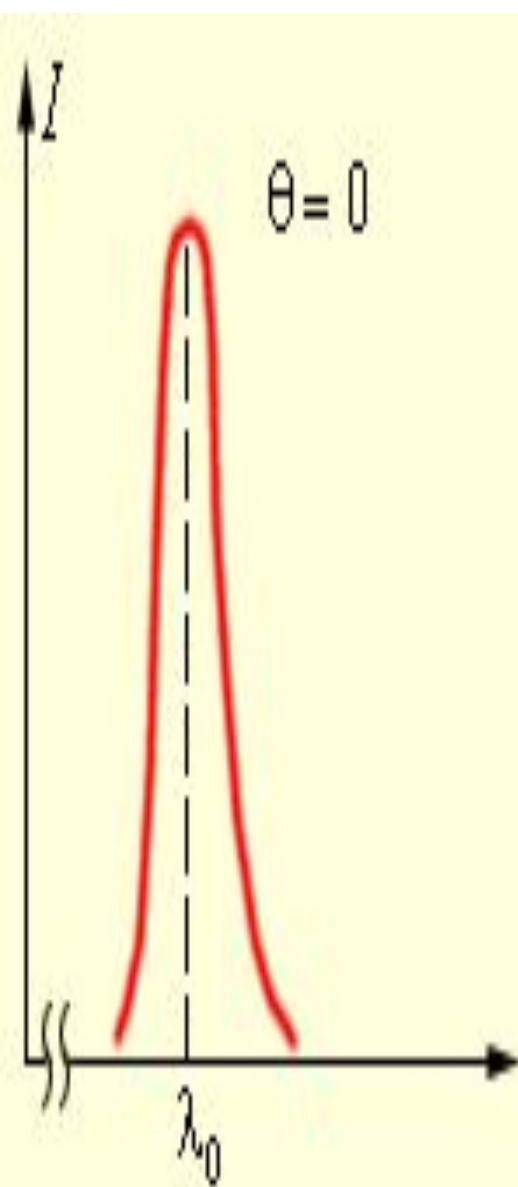
Импульс фотона

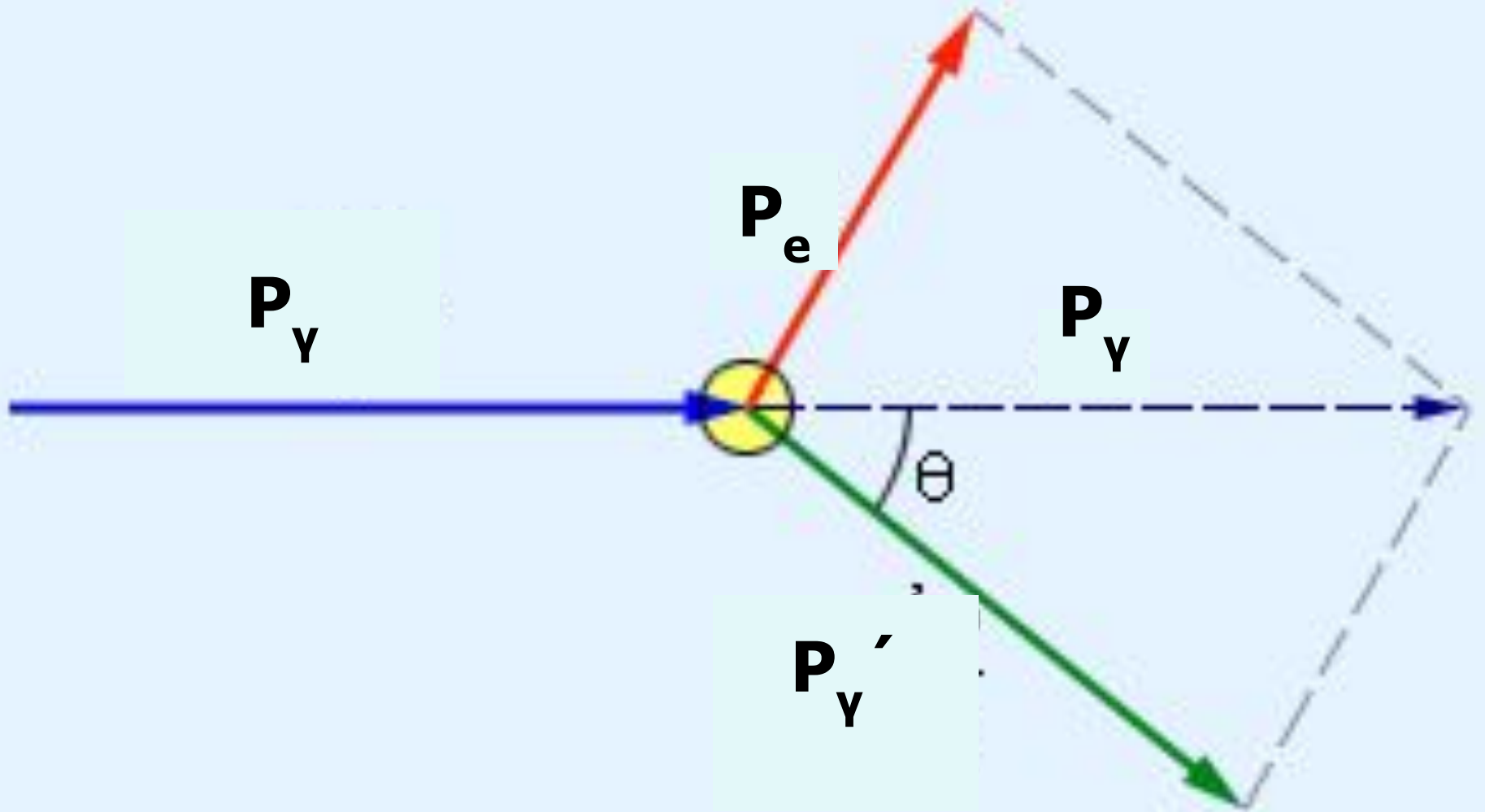
- 
-
- **Корпускулярные свойства частицы (импульс, масса) связываются с ее волновыми свойствами (частота)**

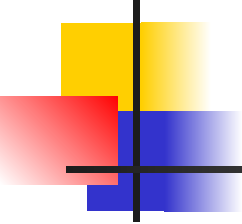


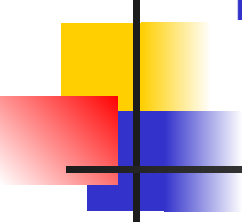
ЭФФЕКТ КОМПТОНА

- 
-
- Упругое рассеяние коротковолнового рентгеновского излучения на свободных (или слабо связанных с атомами) электронах вещества.
 - При этом наблюдается **увеличение длины волны рассеянного излучения** в зависимости от угла рассеяния





- 
-
- P_e – Импульс электрона после столкновения
 - P_{γ}' – Импульс фотона после столкновения
 - P_{γ} – Импульс фотона до столкновения

- 
- Фотон, столкнувшись с электроном, передает ему часть своей энергии и импульса и изменяет направление своего движения (**рассеивается**).
 - Электрон, получивший скорость после столкновения с фотоном, называется **электроном отдачи**.
 - **Выполняются законы сохранения энергии и импульса**. Для расчетов удобно выбирать систему отсчета, в которой электрон первоначально покоился.



Закон сохранения импульса

$$\overset{\square\square}{P_\gamma} = \overset{\square\square}{P_{\gamma'}} + \overset{\square\square}{P_e}$$

$$\left| \overset{\square\square}{P_\gamma} \right| = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad \left| \overset{\square\square}{P_{\gamma'}} \right| = \frac{h\nu'}{c} = \frac{h}{\lambda'}$$

$$\left| \overset{\square\square}{P_e} \right| = mV$$



По теореме косинусов

$$(mV)^2 = \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{h}{\lambda'}\right)^2 - \frac{2h^2}{\lambda\lambda'} \cos \theta$$



Закон сохранения энергии

$$\frac{hc}{\lambda} + m_0c^2 = \frac{hc}{\lambda'} + mc^2$$

$\frac{hc}{\lambda}$ - Энергия падающего фотона

$\frac{hc}{\lambda'}$ - Энергия рассеянного фотона

m_0c^2 - Энергия покоящегося электрона

mc^2 - Энергия электрона отдачи



Изменение длины волны

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta) = \frac{2h}{m_0c} \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

θ – угол рассеяния

$$\lambda_c = \frac{2h}{m_0c} = 2,426 \text{ пм} - \text{КОМПТОНОВСКАЯ длина волны}$$