

Сегодня: *

ФИЗИКА

БГТУ им. В.Г. Шухова



www.bstu.ru

*Институт строительных материалов
и техносферной безопасности*



ТЕМА: КВАНТОВАЯ ОПТИКА

1. Тепловое излучение

2. Характеристики теплового излучения

3. Закон Кирхгоффа

4. Законы излучения АЧТ

5. Гипотеза и уравнение Планка для АЧТ

6. Фотоэффект. Законы фотоэффекта

7. Тормозное РИ. Опыт Боте. Фотоны

8. Давление света. Эффект Комптона

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ -

***ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, ИСПУСКАЕМОЕ ВЕЩЕСТВОМ
И ВОЗНИКАЮЩЕЕ ЗА СЧЕТ ЭНЕРГИИ ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ
АТОМОВ (МОЛЕКУЛ) ИЗЛУЧАЮЩЕГО ТЕЛА.***

Свойства теплового излучения

- 1. Тепловое излучение происходит по всему спектру частот от нуля до бесконечности**
- 2. Интенсивность теплового излучения неравномерна по частотам и имеет явно выраженный максимум при определенной частоте**
- 3. С ростом температуры общая интенсивность теплового излучения возрастает**
- 4. С ростом температуры максимум излучения смещается в сторону больших частот (меньших длин волн)**
- 5. Тепловое излучение характерно для тел независимо от их агрегатного состояния**
- 6. Отличительным свойством теплового излучения является равновесный характер излучения.**

2. Характеристики теплового излучения

$$dR = r dv,$$

Величина r называется *лучеиспускательной способностью* или *спектральной плотностью энергетической светимости тела*.

$$r = r_{\nu, T},$$

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

Суммарный поток энергии излучения с единицы поверхности тела по всему диапазону частот называется ***интегральной испускающей способностью тела или его энергетической светимостью.***

$$\lambda = c / \nu,$$

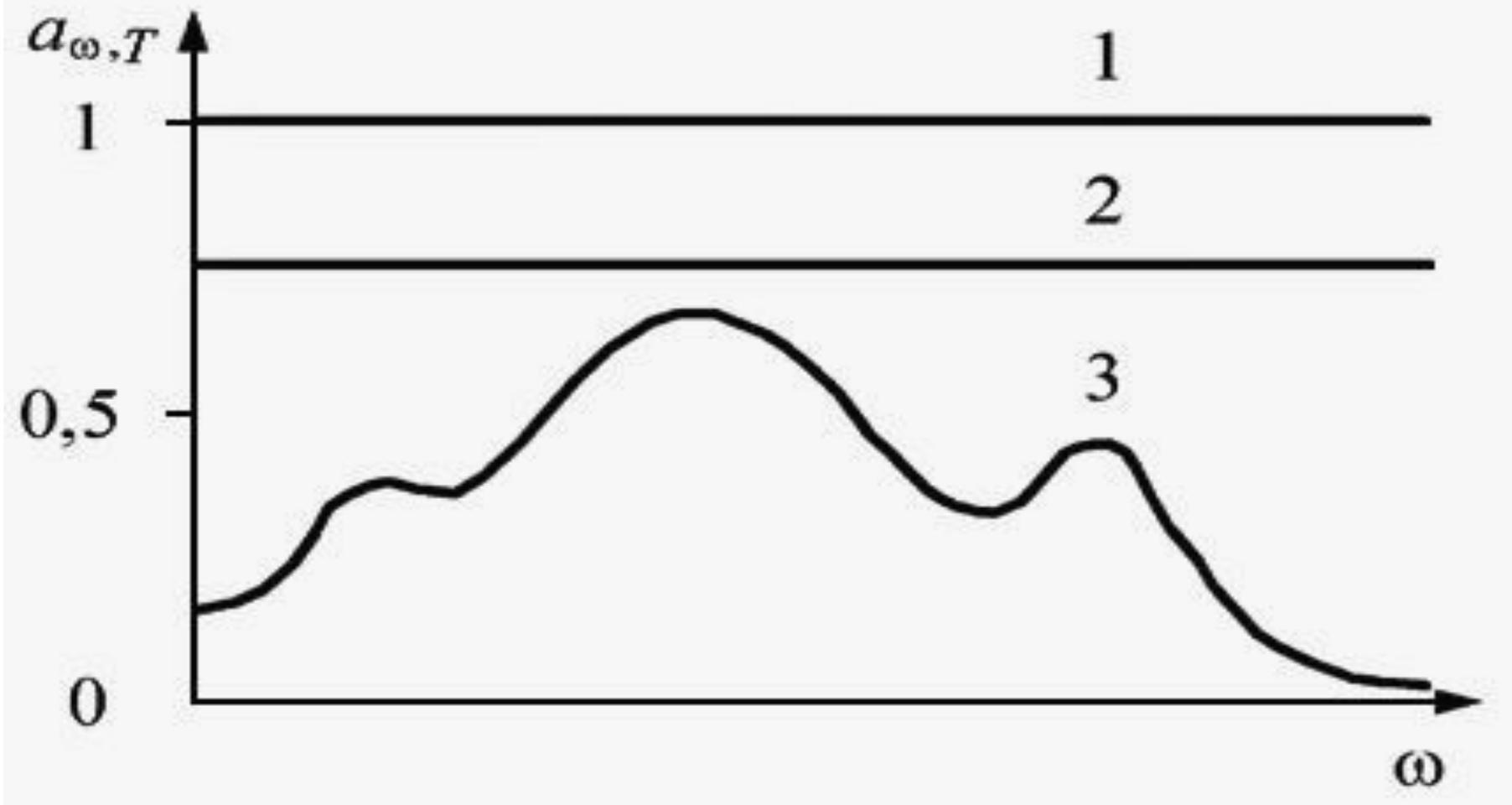
$$\frac{d\lambda}{d\nu} = -\frac{c}{\nu^2} = -\frac{\lambda^2}{c},$$

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

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

Способность тел поглощать падающее на них излучение характеризуется спектральной поглощательной способностью, показывающей, какая доля энергии, приносимой за единицу времени на единицу площади поверхности тела падающими на нее электромагнитными волнами узкого диапазона частот

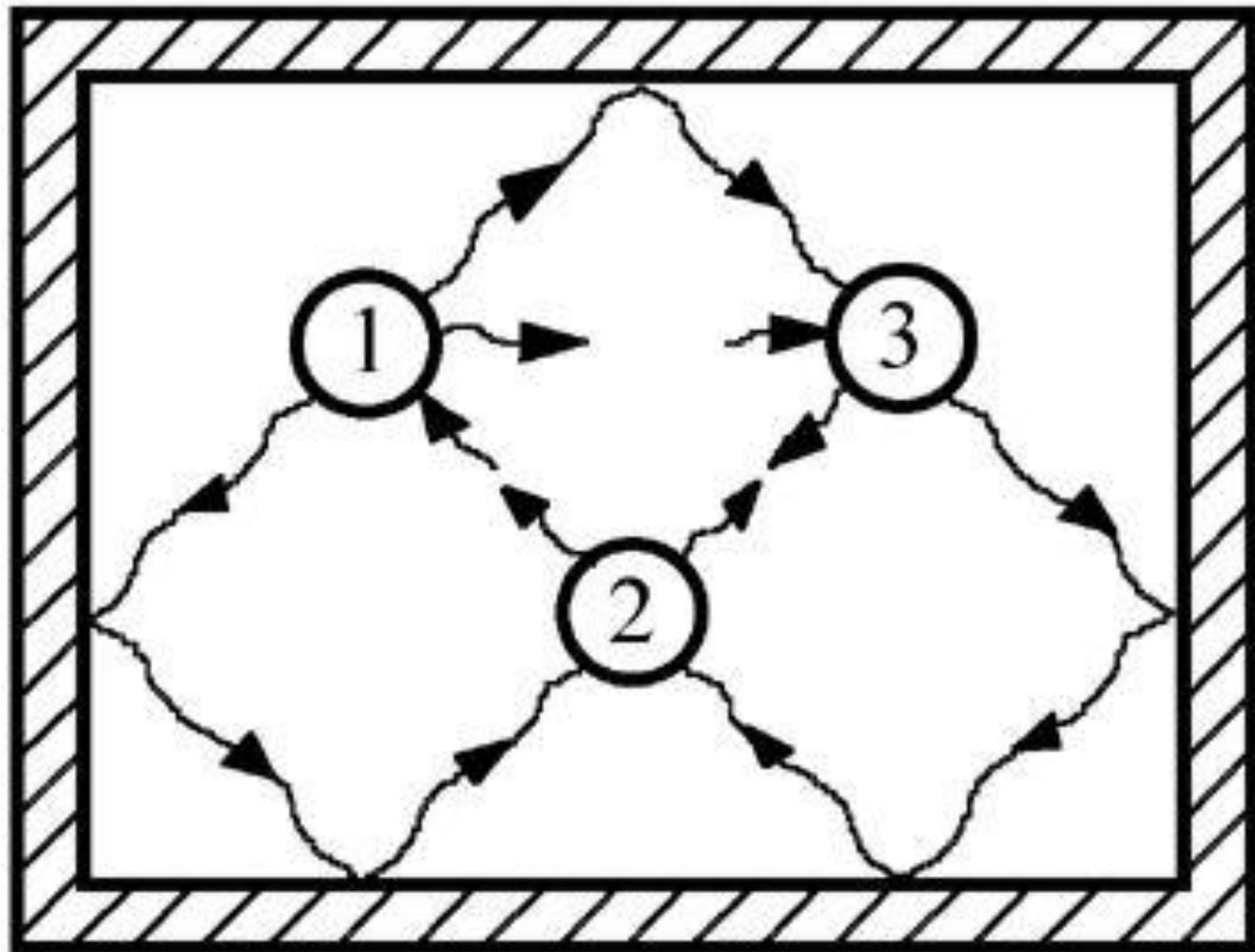
$$a_{\nu, T} = \frac{d\Phi'}{d\Phi}$$



Спектральная поглощательная способность тела:

1 – абсолютно черное тело; 2 – серое тело;

3 – реальное тело

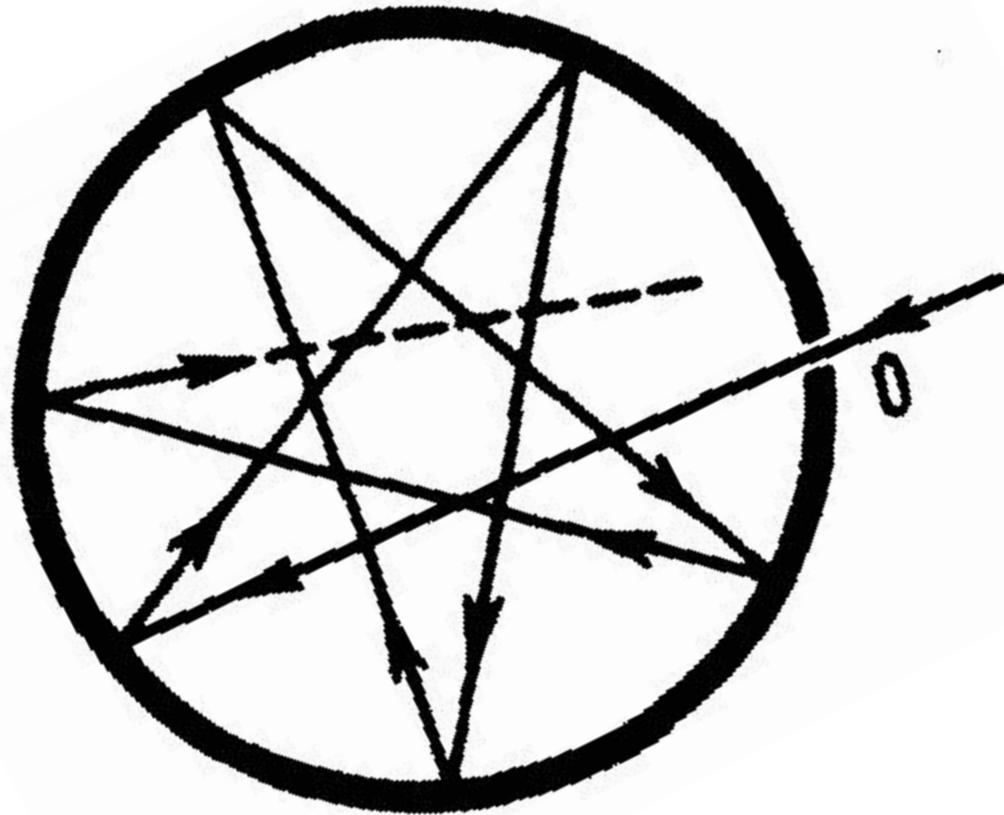


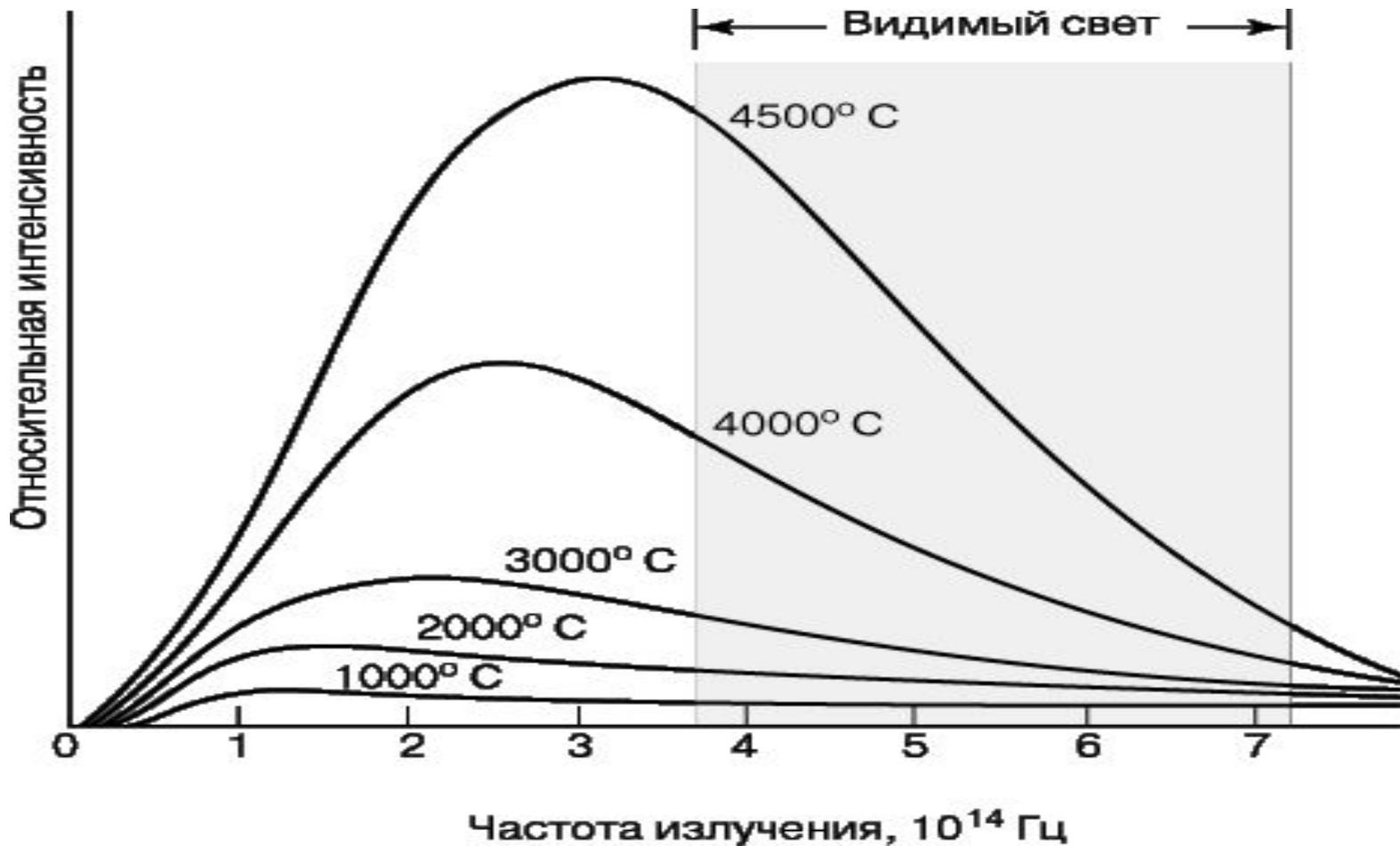
3. Закон Кирхгоффа

$$\left(\frac{r_{\nu, T}}{a_{\nu, T}} \right)_1 = \left(\frac{r_{\nu, T}}{a_{\nu, T}} \right)_2 = \left(\frac{r_{\nu, T}}{a_{\nu, T}} \right) = \dots$$

ОТНОШЕНИЕ ИСПУСКАТЕЛЬНОЙ И ПОГЛОЩАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТЕЙ НЕ ЗАВИСИТ ОТ ПРИРОДЫ ТЕЛА, ОНО ЯВЛЯЕТСЯ ДЛЯ ВСЕХ ТЕЛ ОДНОЙ И ТОЙ ЖЕ (УНИВЕРСАЛЬНОЙ) ФУНКЦИЕЙ ЧАСТОТЫ (ДЛИНЫ ВОЛНЫ) И ТЕМПЕРАТУРЫ

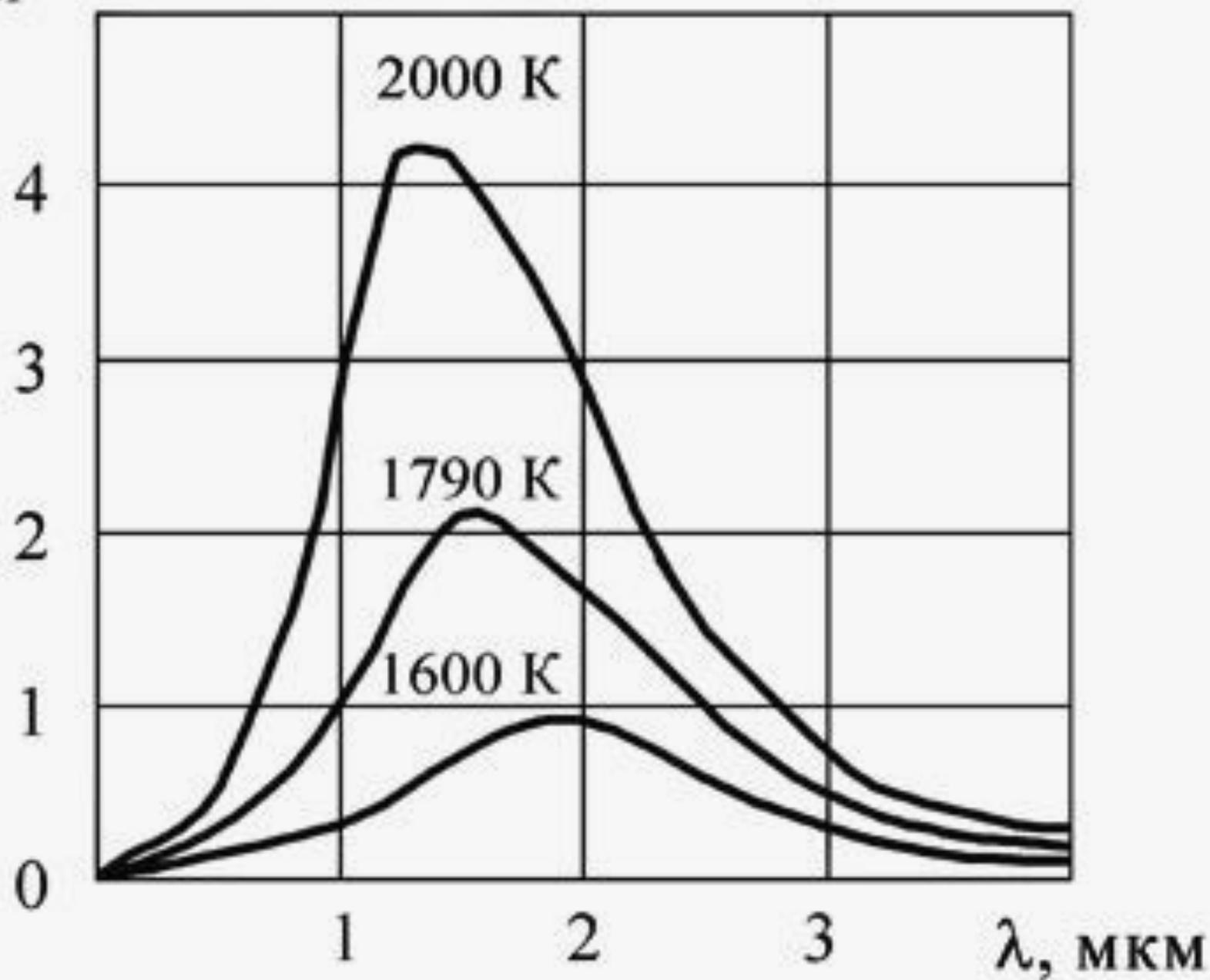
$$\frac{r_{\nu, T}}{a_{\nu, T}} = f(\nu, T)$$





1. СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА–СПЛОШНОЙ.
2. СУЩЕСТВУЕТ ОТЧЕТЛИВО ВЫРАЖЕННЫЙ МАКСИМУМ ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ И С ПОВЫШЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭТОТ МАКСИМУМ СМЕЩАЕТСЯ В СТОРОНУ КОРОТКИХ ДЛИН ВОЛН.

$r_{\lambda, T}^* \times 10^{-11} \text{ BT/M}^3$



4. Законы излучения АЧТ

$$R_s = \sigma T^4$$

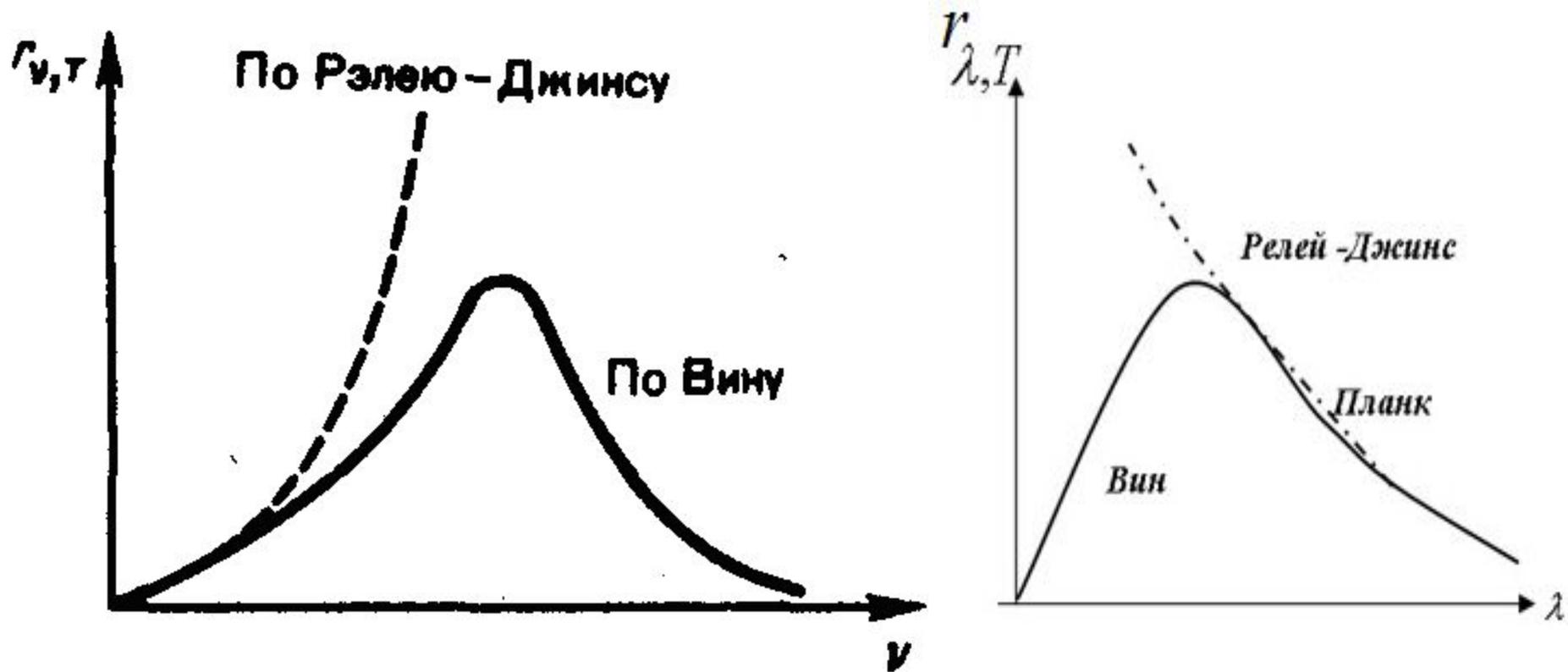
$$\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$$

$$f(\nu, T) = \nu^3 F\left(\frac{\nu}{T}\right),$$

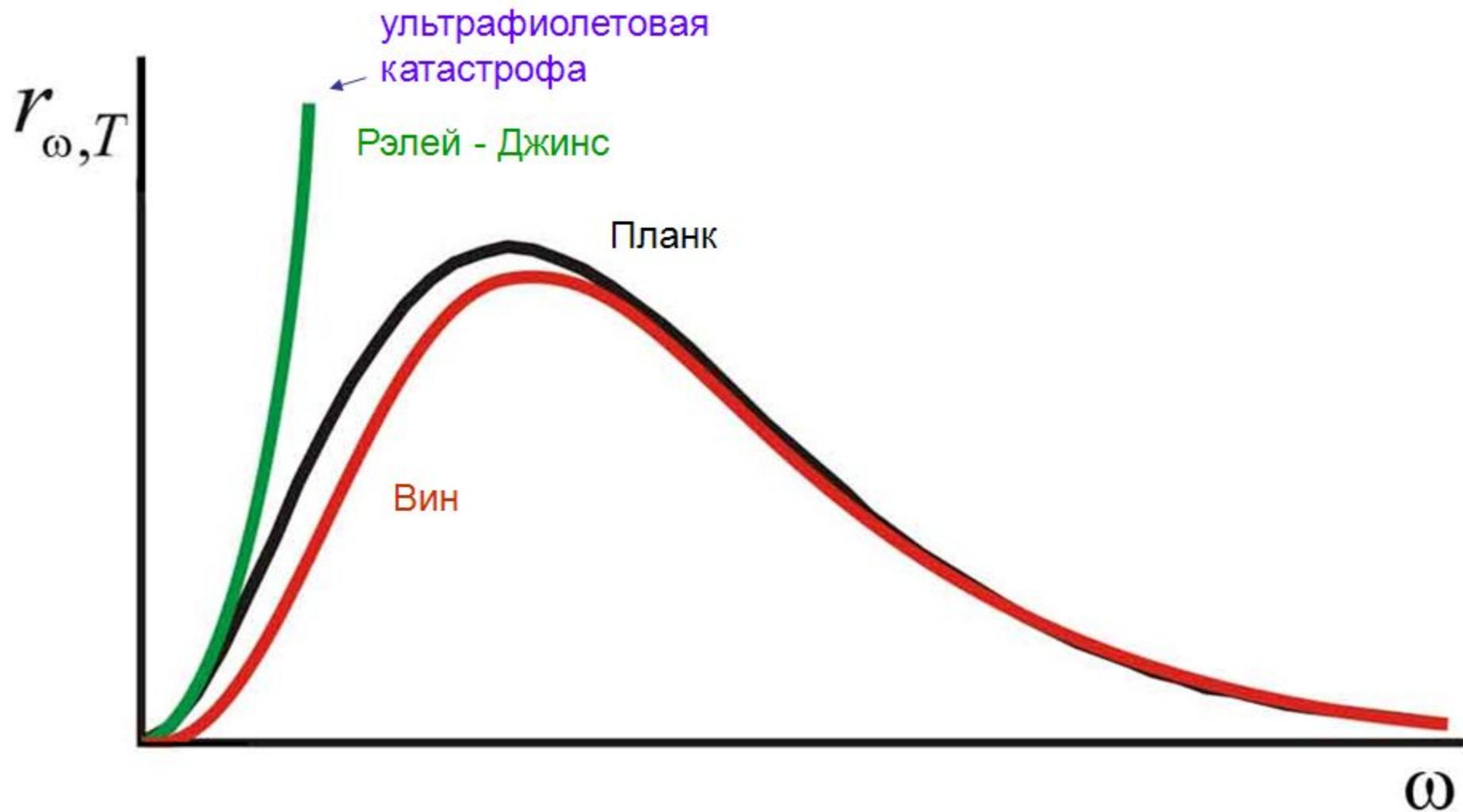
$$\lambda_m = \frac{b}{T}, \quad b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К},$$

$$r_\nu = c T^5, \quad c = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}^5$$

$$f(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT$$



5. Гипотеза и уравнение Планка для АЧТ



$$\varepsilon = h\nu, \quad h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

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

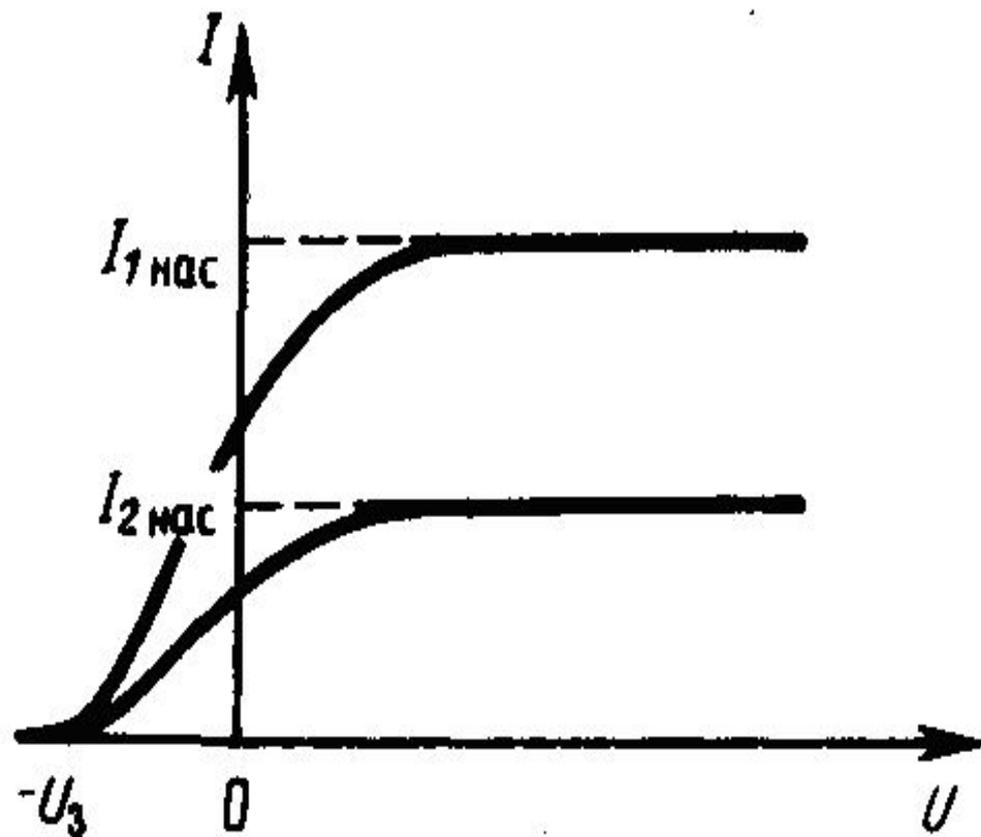
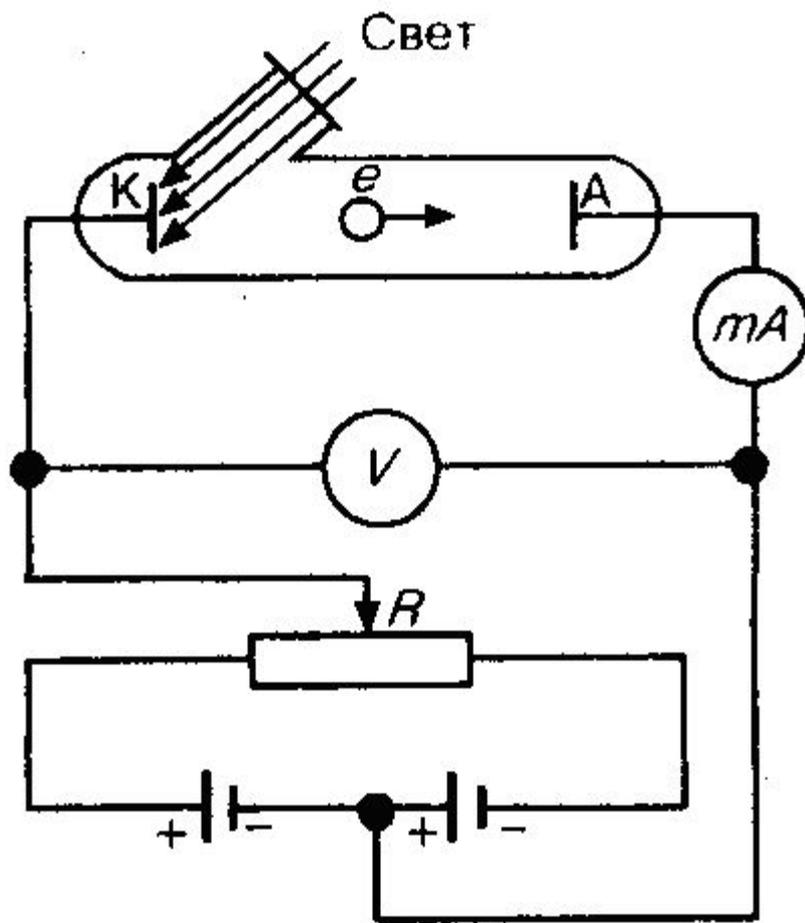
$$f(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

$$\varphi(\lambda, T) = \frac{c}{\lambda^2} f(\nu, T),$$

$$\varphi(\lambda, T) = \frac{2\pi c^2}{\lambda^5} \frac{h}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

6. Фотоэффект. Законы фотоэффекта

ФОТОЭФФЕКТ - ОСВОБОЖДЕНИЕ (ПОЛНОЕ ИЛИ ЧАСТИЧНОЕ) ЭЛЕКТРОНОВ ОТ СВЯЗЕЙ С АТОМАМИ ИЛИ МОЛЕКУЛАМИ ВЕЩЕСТВА ПОД ДЕЙСТВИЕМ СВЕТА



ПЕРВЫЙ ЗАКОН ФОТОЭФФЕКТА:

**ПРИ НЕИЗМЕННОМ СПЕКТРАЛЬНОМ СОСТАВЕ
ПАДАЮЩЕГО НА КАТОД СВЕТА СИЛА ТОКА
НАСЫЩЕНИЯ (КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕКТРОНОВ,
ВЫРЫВАЕМЫХ СВЕТОМ С ПОВЕРХНОСТИ
МЕТАЛЛА ЗА ЕДИНИЦУ ВРЕМЕНИ
ПРОПОРЦИОНАЛЬНО ИНТЕНСИВНОСТИ
СВЕТОВОГО ПОТОКА**

ВТОРОЙ ЗАКОН ФОТОЭФФЕКТА:

**МАКСИМАЛЬНАЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ
ФОТОЭЛЕКТРОНОВ ЛИНЕЙНО ВОЗРАСТАЕТ
С УВЕЛИЧЕНИЕМ ЧАСТОТЫ ПАДАЮЩЕГО
СВЕТА И НЕ ЗАВИСИТ ОТ ЕГО ИНТЕНСИВНОСТИ**

ТРЕТИЙ ЗАКОН ФОТОЭФФЕКТА:

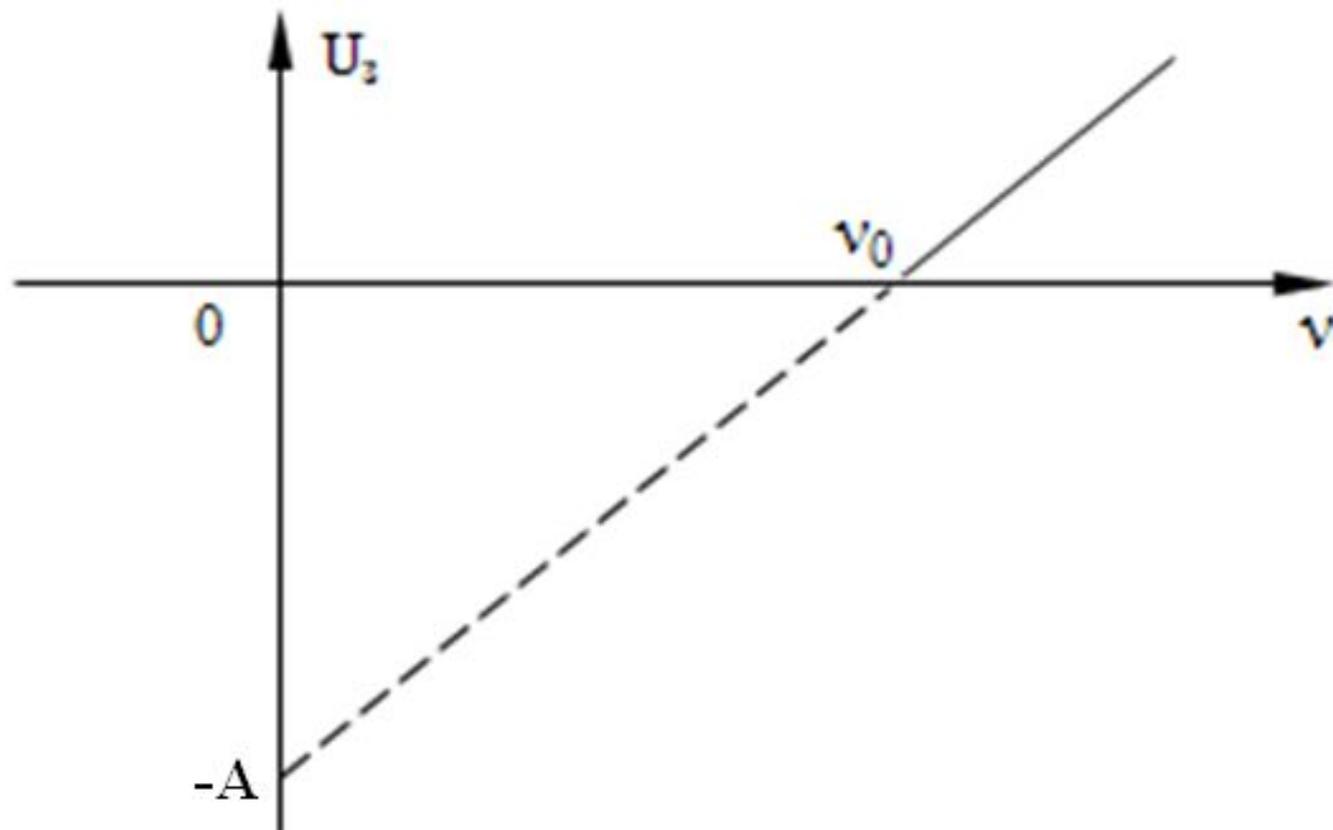
НЕЗАВИСИМО ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ПАДАЮЩЕГО СВЕТА
ФОТОЭФФЕКТ НАЧИНАЕТСЯ ТОЛЬКО ПРИ ОПРЕДЕЛЕННОЙ
(ДЛЯ ДАННОГО МЕТАЛЛА) МИНИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЕ СВЕТА,
НАЗЫВАЕМОЙ КРАСНОЙ ГРАНИЦЕЙ ФОТОЭФФЕКТА

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

$$v_0 = \frac{A}{h},$$

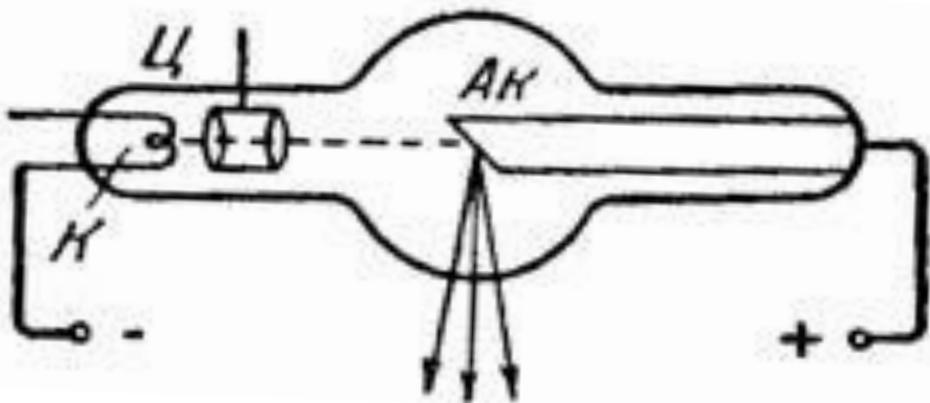
$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_3,$$

$$U_3 = \frac{h}{e} \nu - \frac{A}{e}$$

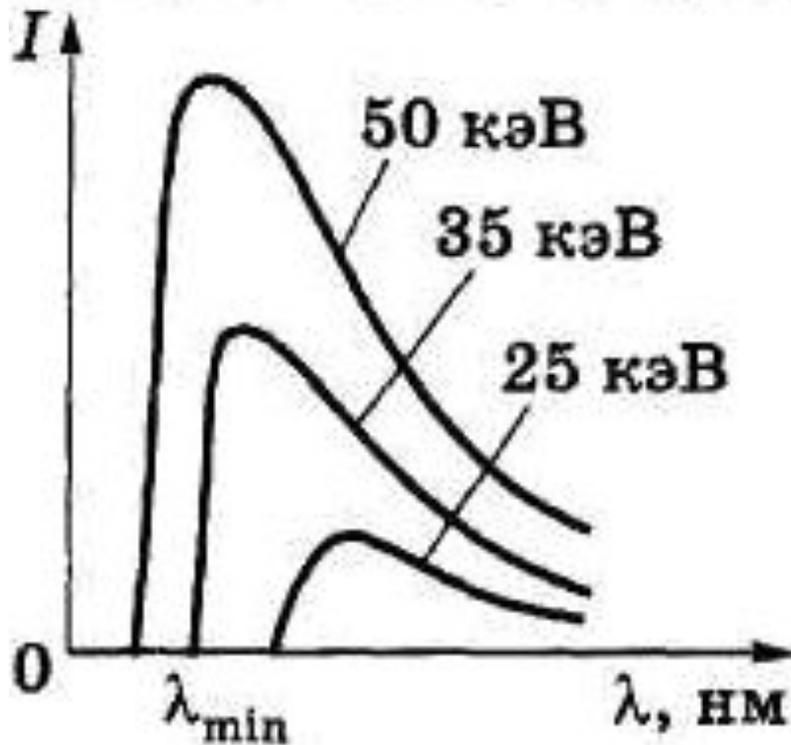


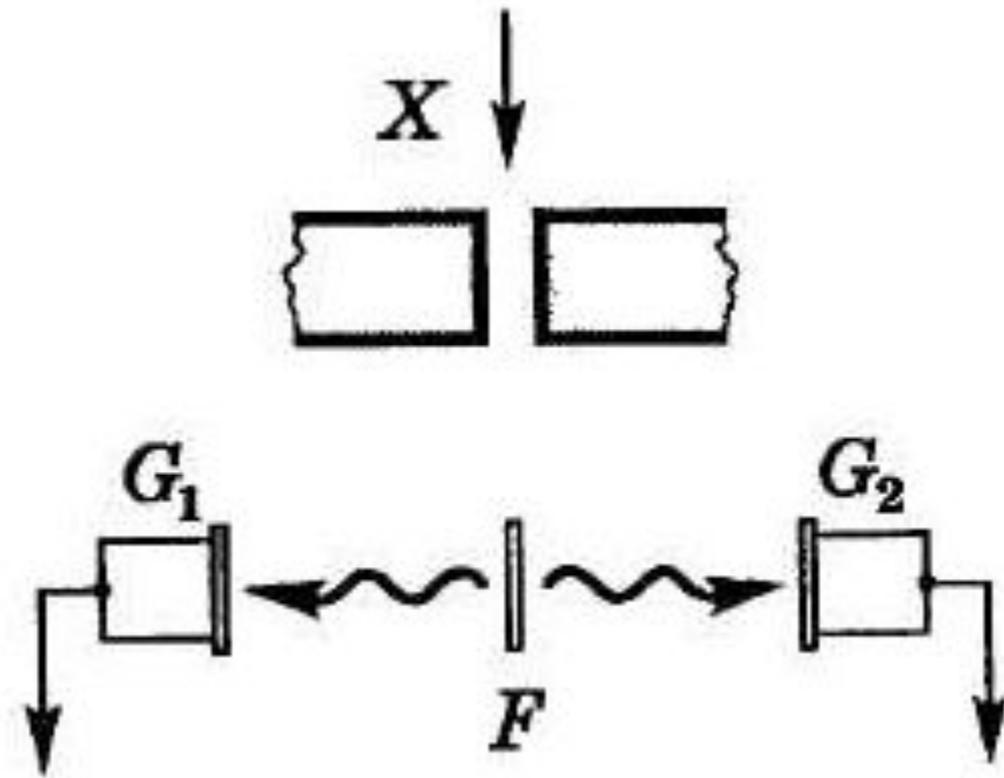
7. Тормозное РИ. Опыт Боте. Фотоны

$$h\nu = \frac{mv_{\max}^2}{2}, \quad eU = h\nu$$



$$\lambda_{\min} = \frac{2hc}{eU} = \frac{1240}{U}$$





$$\varepsilon = h\nu, \quad E = mc^2 / \sqrt{1 - v^2 / c^2},$$

$$v = c,$$

$$\boxed{m = 0}, \quad E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4,$$

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} =$$

$$\frac{h}{2\pi} \frac{2\pi}{\lambda} = \hbar k, \quad \varepsilon = h\nu,$$

$$\varepsilon = \hbar \omega, \quad \vec{p} = \hbar \vec{k}$$

8. Давление света. Эффект Комптона

ρN - отразится фотонов

$(1 - \rho)N$ - поглотится фотонов

$$P = \frac{2h\nu}{c} \rho N + \frac{h\nu}{c} (1 - \rho)N =$$

$$(1 + \rho) \frac{h\nu}{c} N, \quad E_{\text{Э}} = Nh\nu,$$

$$\varpi = \frac{E_{\text{Э}}}{c}, \quad P = (1 + \rho)\varpi$$

$$\varepsilon = h\nu,$$

$$\varepsilon = mc^2,$$

$$m = h\nu / c^2$$

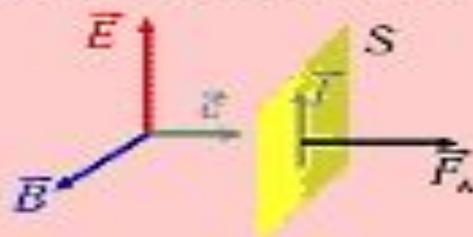
электромагнитная волна



$$E = E_0 \cos(\omega t - kx)$$

$$B = B_0 \cos(\omega t - kx)$$

Светосей поток падает нормально на поверхность, площадью S



Возникает ток

$$I \sim j$$

На ток действует сила Ампера.
Ее направление определяется по правилу левой руки:

$$F_A \sim I \cdot B$$

Давление света

$$p = \frac{F_A}{S}$$

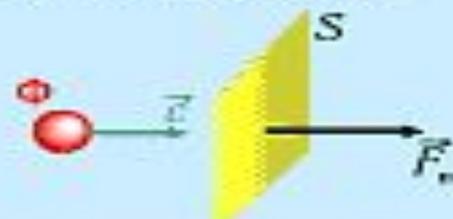
поток частиц, фотонов



Импульс фотона $p_\phi = \frac{h}{\lambda}$

Энергия фотона $W_\phi = h\nu$

Масса фотона $m_\phi = \frac{h\nu}{c^2}$



Импульс фотона изменяется:

$$\Delta p_\phi = \begin{cases} m_\phi c & \text{- полное поглощение} \\ 2m_\phi c & \text{- полное отражение} \end{cases}$$

Изменению импульса фотона приводит к появлению силы, действующей на фотон (второй закон Ньютона):

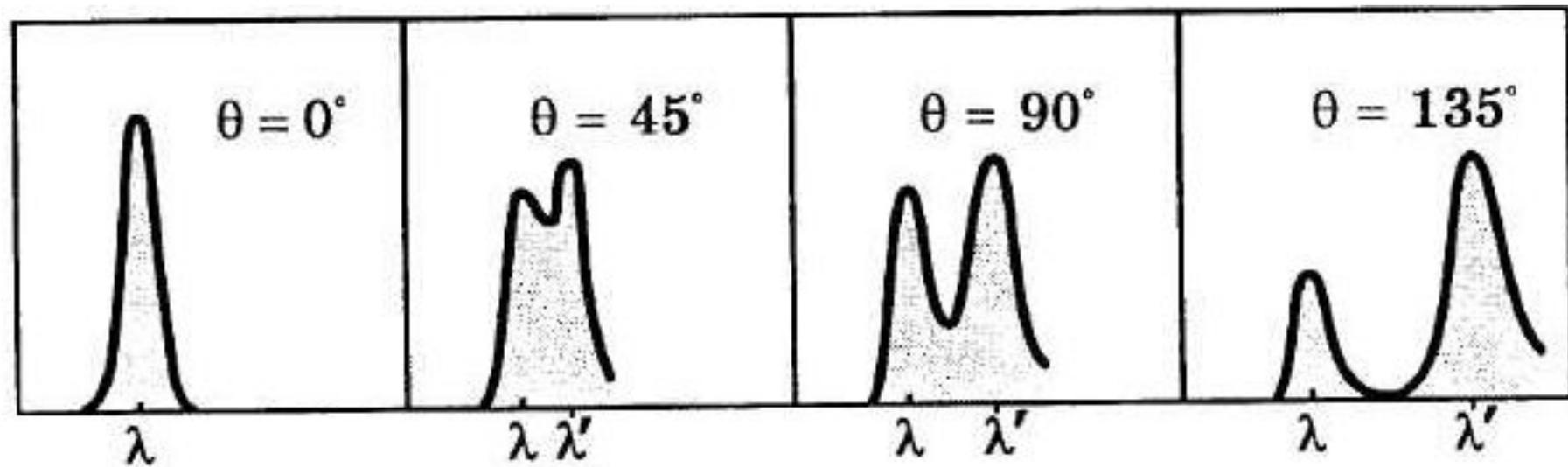
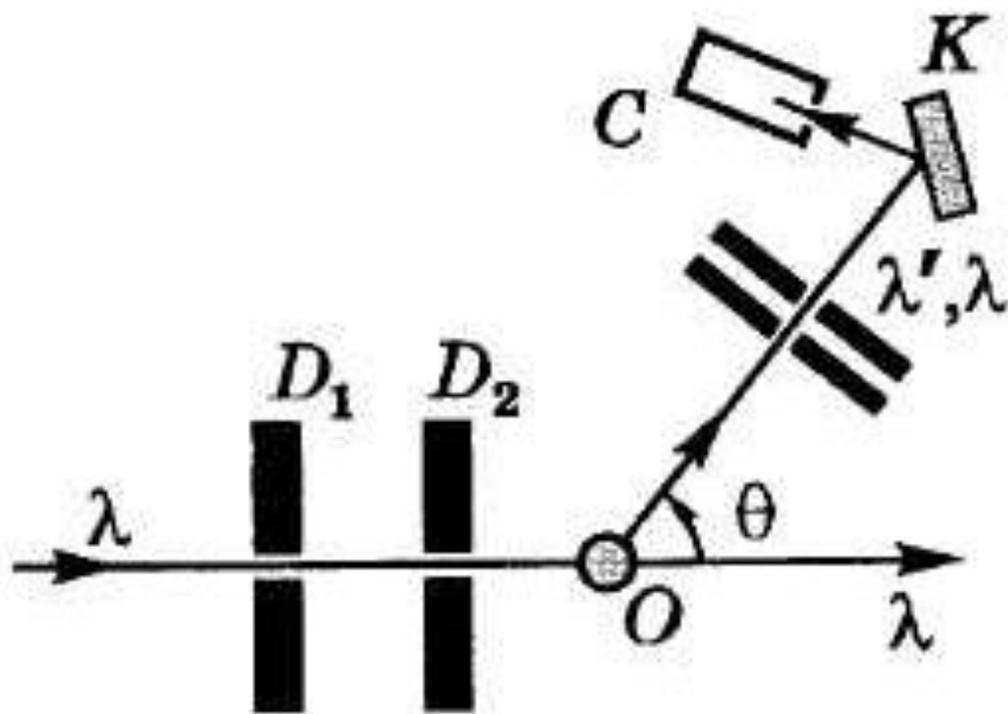
$$\vec{F}_\phi = \frac{\Delta \vec{p}_\phi}{\Delta t}$$

Сила, действующая на поверхность (третий закон Ньютона):

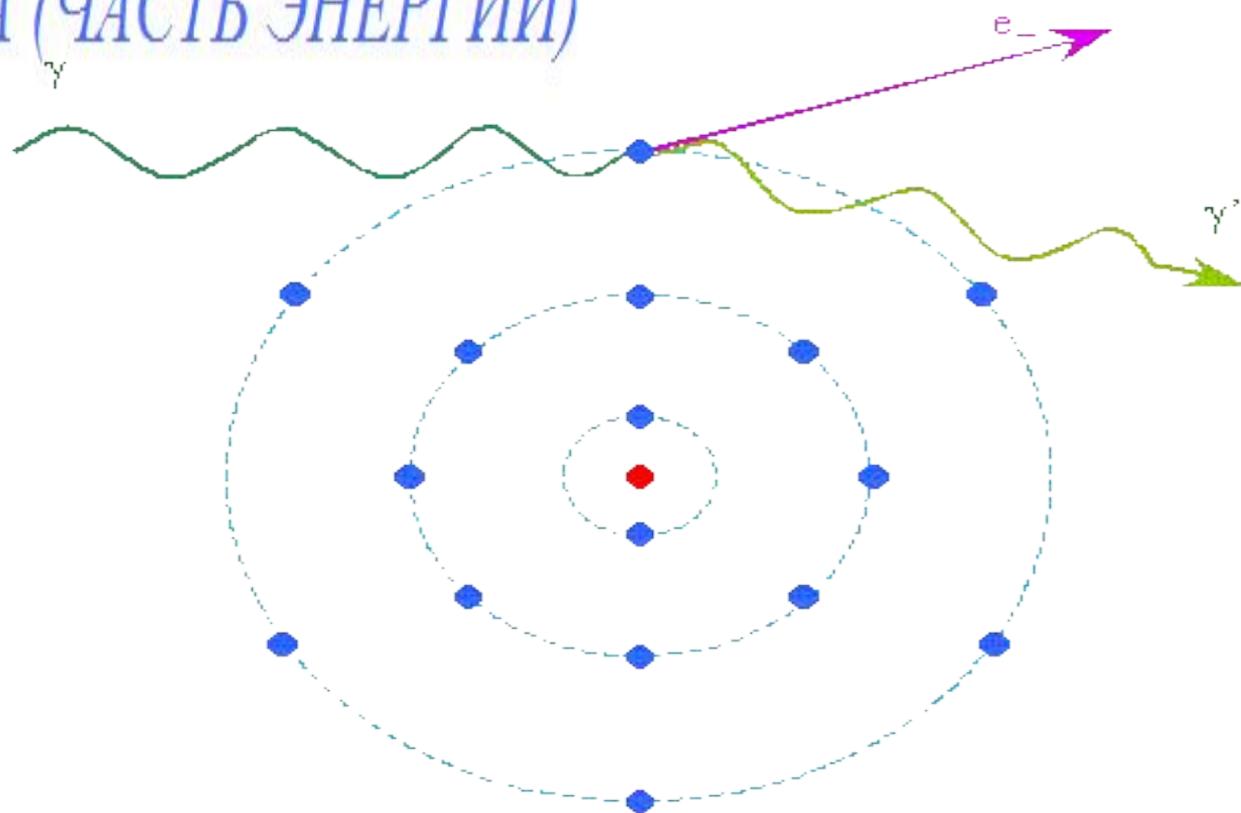
$$\vec{F}_\phi = -\vec{F}_n$$

Давление света

$$p = \frac{F_n}{S}$$

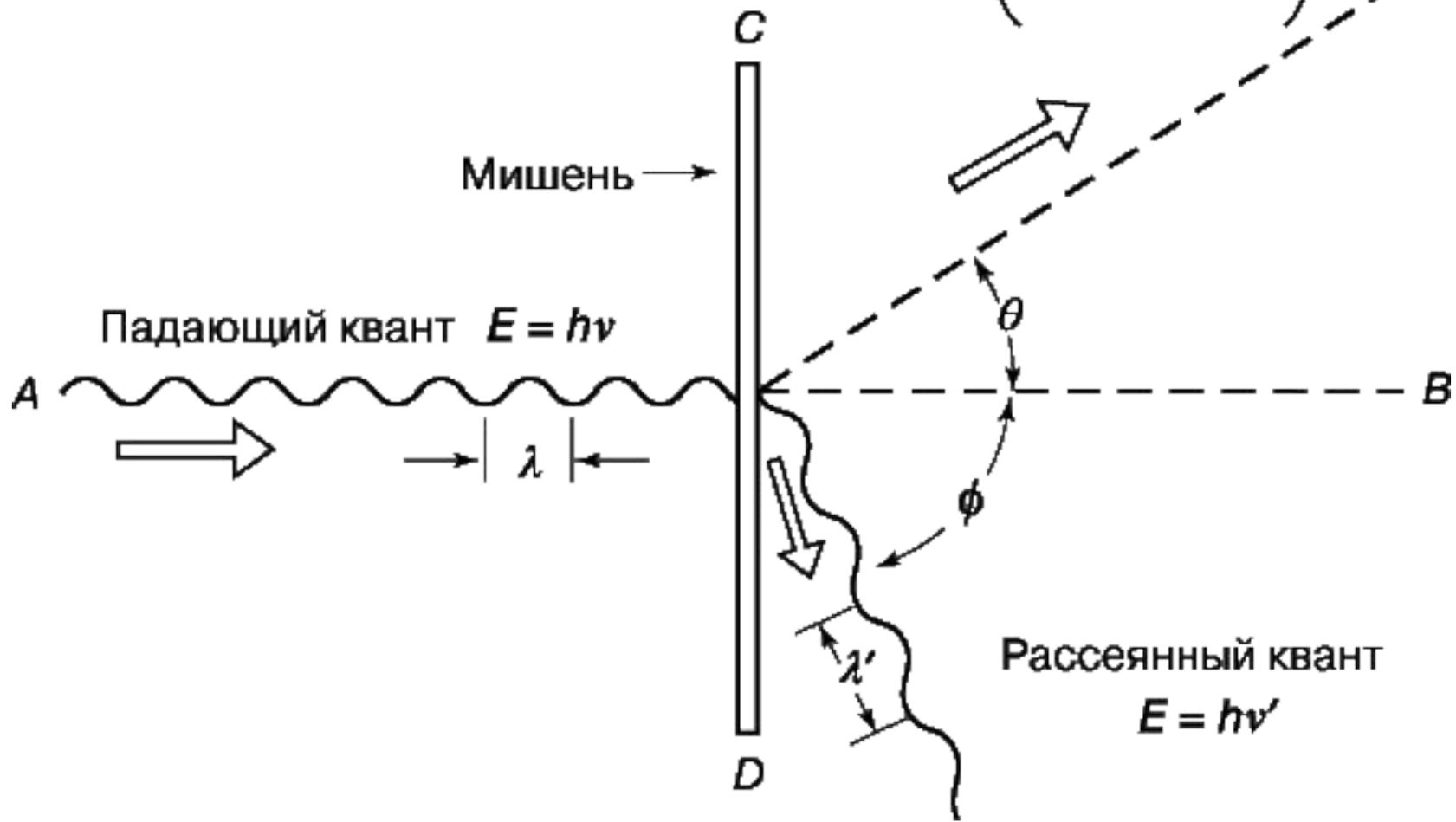


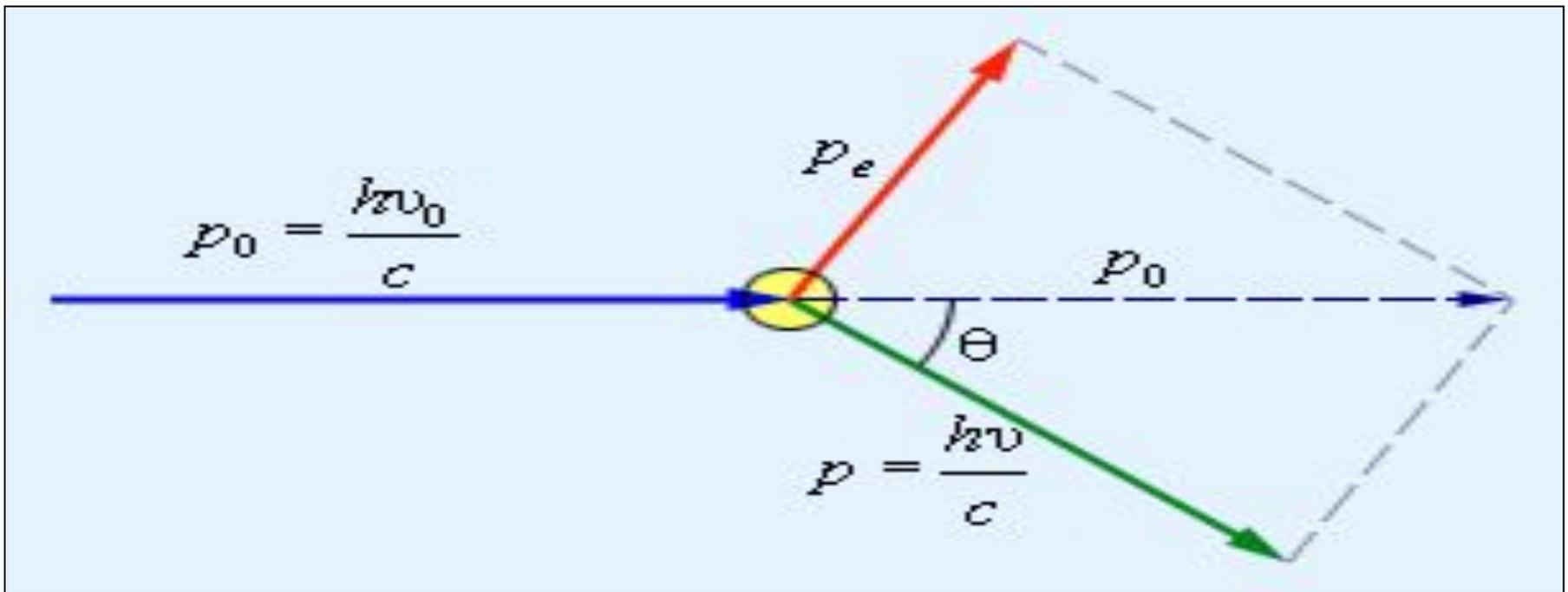
ЭФФЕКТ КОМПТОНА - РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВОБОДНЫХ ИЛИ СВЯЗАННЫХ ЭЛЕКТРОНАХ, ПРИ КОТОРОМ ОТДЕЛЬНЫЙ ФОТОН В РЕЗУЛЬТАТЕ УПРУГОГО СОУДАРЕНИЯ С ЭЛЕКТРОНОМ ПЕРЕДАЕТ ЕМУ ЧАСТЬ СВОЕГО ИМПУЛЬСА (ЧАСТЬ ЭНЕРГИИ)



Электрон отдачи

$$E = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1 \right)$$





$$h\nu + m_0c^2 = h\nu' + E',$$

$$p = p' + p_e,$$

$$h\nu + m_0c^2 = h\nu' + \sqrt{p_e^2c^2 + m_0^2c^4},$$

$$p = \frac{h\nu}{c},$$

$$p_e^2 = \left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 + \left(\frac{h\nu'}{c}\right)^2 - 2\frac{h^2}{c^2}\nu\nu'\cos\theta,$$

$$m_0c^2(\nu - \nu') = h\nu\nu'(1 - \cos\theta),$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \Theta)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_c (1 - \cos \theta) = 2\lambda_k \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0 c} = 2,43 \text{ nm}$$

$$N = \chi A^2,$$

A^2 определяет вероятность того, что фотон попадает в данную точку поверхности

$$dP = \chi A^2 dV,$$

$$\frac{dP}{dV} = \chi A^2$$