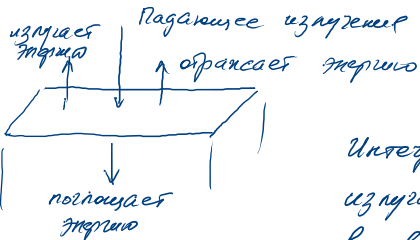


Тепловое излучение

Тела, имеющие температуру выше 0К испускают излучение, которое называют тепловое излучение, излучение происходит за счет внутренней энергии.

Тепловое излучение является равновесным

Любое излучает и поглощает энергию.



Интегральная излучательность тела

Излучательность тела зависит от длины волны или частоты излучения

Интегральная излучательность тела - энергия, которая

излучается единицей поверхности тела в единицу времени

во всех направлениях $\frac{\Delta W_{изл}}{S \Delta t} = R_T$, зависит от температуры

$$\frac{dW_{изл}}{S \Delta t \cdot d\nu} - \text{излучательность тела} = R_{\nu, T} = f(\nu, T)$$
$$\nu \leftrightarrow \lambda \quad c = \lambda \cdot \nu; \quad \lambda = \frac{c}{\nu}; \quad \nu = \frac{c}{\lambda} \quad R_T = f'(\tau)$$



$$\Delta W_{\nu \div \nu + d\nu}^{usz} \Rightarrow dW_{\nu \div \nu + d\nu}^{usz}$$

$$dW_{\nu \div \nu + d\nu}^{usz} = R_{\nu, T} d\nu = R_{\lambda, T} d\lambda$$

$$c = \nu \lambda \quad \nu = \frac{c}{\lambda}$$

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

Интегральная излучательность

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

Столбчатая способность

$$A_{\nu, T} = \frac{dW_{\nu, \nu + d\nu, T}^{nozn}}{dW_{\nu, \nu + d\nu, T}^{mag}} = (0, 1)$$

Отражательная способность (коэффициент отражения)

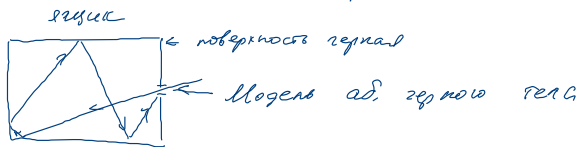
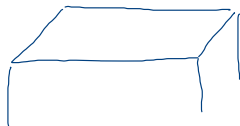
$$\rho_{\nu, T} = \frac{dW_{\nu, \nu + d\nu, T}^{ofr}}{dW_{\nu, \nu + d\nu, T}^{mag}}$$

$$\downarrow W_{\nu}^{mag} = (0 - \infty)$$

Все излучение поглощается
в $\nu = (0 - \infty)$

Абсолютно черное тело

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



$$A_{\nu, T} + \rho_{\nu, T} = 1$$

$\rho_{\nu, T} = \text{const}$, не зависит от длины волны

$$A_{\nu, T} = A_T = \text{const} < 1 \quad \leftarrow \text{серое тело}$$

$\rho_{\nu, T} = \rho_T = \text{const} = 1$ зеркальная поверхность

Закон Кирхгофа

Кирхгоф - второй закон (начала) термодинамики
анализ условий излучения в
изолированной системе тел

$R_{\nu, T}$; $A_{\nu, T}$

$\frac{R_{\nu, T}}{A_{\nu, T}}$ не зависят от природы тела и
 $A_{\nu, T}$ является функцией универсальной?
для всех тел

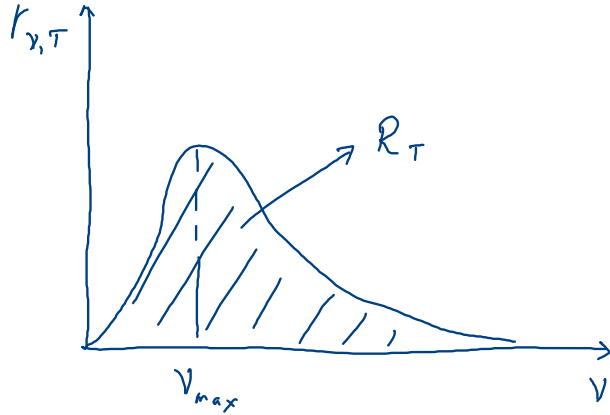
$\frac{R_{\nu, T}}{A_{\nu, T}} = r_{\nu, T}$ - закон Кирхгофа, функция
Кирхгофа

Для абсолютно черного тела

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

$r_{\nu, T} = R_{\nu, T}$ для абс. черного тела

$$R_T^{\text{a.r.m}} = \int_0^{\infty} \underbrace{R_{\nu, T}}_{r_{\nu, T}} \cdot d\nu = \int_0^{\infty} r_{\nu, T} d\nu$$



$$\lambda_{\max} = \frac{c}{\nu_{\max}}$$

Закон Стефана-Больцмана и закон смещения Вина

Излучательность тела (спектральная излучательность тела) для аб. черного тела является универсальной функцией

$$R_{\lambda, T}^{аб.ч} = r_{\lambda, T}$$

И. Стефан (1835-1893), 1879

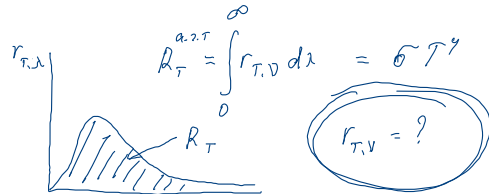
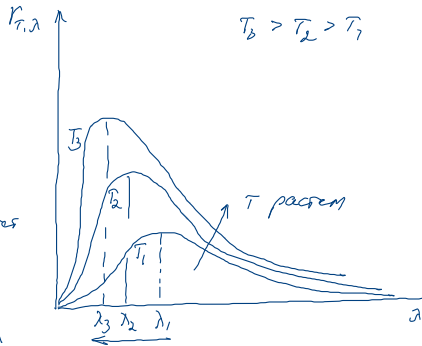
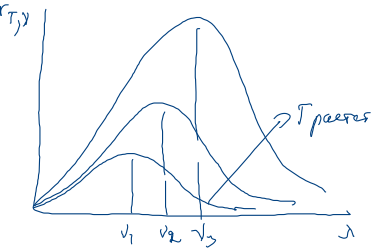
$$R_T^{аб.ч} = \sigma T^4$$

Закон Стефана-Больцмана

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{Вт}{(м^2 \cdot K^4)} \quad \sigma_m = \frac{\sigma_{ис}}{c}$$

Л. Больцман 1884г.

$$R_{\lambda, \nu} = f(T, \lambda) = r_{\lambda, \nu}$$



$$R_T^{аб.ч} = \int_0^{\infty} r_{\lambda, \nu} d\lambda = \sigma T^4$$

$r_{\lambda, \nu} = ?$

В. Вин (1864-1928)

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} \quad \text{закон Вина}$$

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

Формула Рэлея - Динса

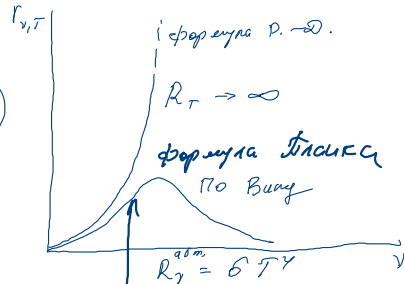
Д. Рэлея
Д. Динкс (1877-1946)

Тепловое излучение

Методы статистической физики

Закон о равномерном распределении энергии по степеням свободы

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi^2 \nu^3}{c^2} kT$$



Формула Планка

М. Планк, 1900г.

Гипотеза

$$\epsilon_0 = h\nu; \quad h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

+ Статистические методы

$$R_T = 6 T^3, \quad b = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3}$$

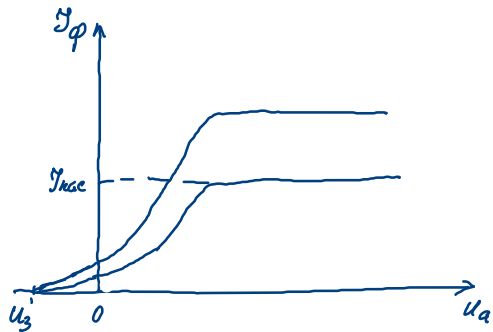
Тепло излучается порциями
 $\epsilon = nh\nu = n\epsilon_0$
 n - целое число

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

$$R_T = \int_0^{\infty} r_{\nu, T} d\nu = \int_0^{\infty} \frac{2\pi^2 \nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{e^{-\frac{h\nu}{kT}} - 1} d\nu$$
$$T \lambda_{\max} = \frac{hc}{4,965 k} = b^0$$

фотозарядка. Выход фотоэлектрона

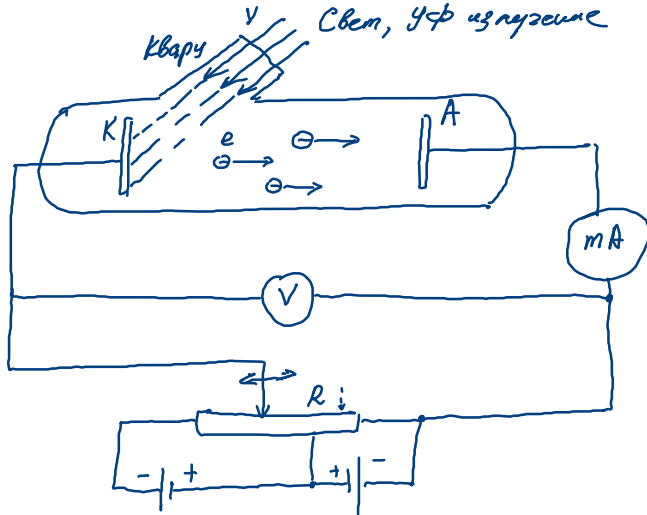
1. Внешний фотоэффект
2. Внутренний фотоэффект
3. Вексельный фотоэффект



Законы Столетова

1. $\nu = \text{const}$
2. $I_{\text{max}} \propto \nu, \lambda$
3. U_3 красная граница фотоэффекта

Г. Герц 1887, А.Г. Столетов
Свет, УФ излучение



$$h\nu_0 = U_3 e = \frac{m \sigma_{\text{max}}^2}{2} = h \nu_{\text{кр}}$$

1. При фиксированной частоте падающего света число фотоэлектронов, выходящих из катода в единицу времени, пропорционально интенсивности света.
2. Максимальная кинетическая энергия (максимальная скорость электронов) фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а определяется только его частотой; линейно возрастает с увеличением частоты.
3. Для каждого вещества существует "красная граница фотоэффекта", т.е. минимальная частота ν_0 света, при которой свет любой интенсивности фотоэффекта не вызывает.

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

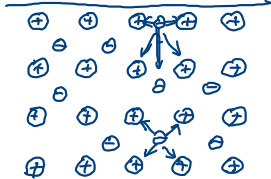
1905г. А. Эйнштейн

Гипотеза: свет (т.е. как излучение) не только излучается порциями (гипотеза М. Планка), но и поглощается порциями, квантами, $E_0 = h\nu$

Закон сохранения энергии для внешнего фотоэффекта

$$E_0 = h\nu = A_{\phi} + \frac{mv_{\max}^2}{2} \leftarrow \text{Ур-е Эйнштейна для внешнего фотоэффекта}$$

поверхность



Электрон находится у поверхности, результирующая сила втягивает электрон

Электрон находится далеко от поверхности.

Результирующая сила ≈ 0 . Требуется совершить работу, чтобы вырвать электрон из металла, носив название "работа выхода".

Эффект Комптона

Комpton 1892 - 1962

1923

Рассеяние рентгеновского излучения
(x-ray) на веществе (парафин, др)



$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 2\lambda_e \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

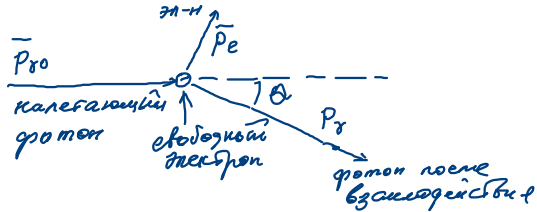
$$\lambda_e = 2,426 \text{ нм} \quad \lambda > \lambda_0$$

$$\text{нм} = 10^{-12} \text{ м}$$

λ_e - комптоновская длина волны

Эффект Комптона - изменение рассеяние
x-ray (λ_0) на свободных электронах

$$\lambda_1 = \lambda_0 + \text{вспомогательная величина}$$



$$\begin{cases} W_0 + E_{\gamma 0} = W + E_{\gamma} \\ \vec{p}_{\gamma 0} = \vec{p}_{\gamma} + \vec{p}_e \end{cases}$$

$$W_0 = m_0 c^2$$

$$E_{\gamma} = h\nu$$

$$E_{\gamma 0} = h\nu_0$$

W - энергия
эп-кэ после
столкновения

$$W = \sqrt{p_e^2 c^2 + m_0^2 c^4}$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}; \quad \lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta)$$

$$\Delta\nu = \frac{2h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

Масса и импульс фотона

Квант энергии — фотон — это свет

$$E = h\nu = mc^2$$

$$m_\gamma = \frac{h\nu}{c^2} \quad m_\gamma - \nu, \lambda$$

$$p_\gamma = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} \quad p_\gamma - \nu, \lambda$$

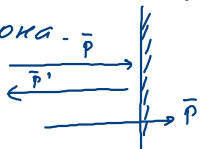
$$\nu, \lambda - m_\gamma; p_\gamma; E_\gamma$$

Корпускулярно-волновой дуализм

Двойственная природа света

Давление света

фотоны переносят импульс и падая на поверхность передают ей импульс. фотон поглощается поверхностью, поглощенный импульс равен импульсу фотона. фотон отражается упруго от поверхности, поглощенный импульс равен удвоенному импульсу фотона.



Давление света с точки зрения квантовой теории

Пусть на поверхность абсолютно **черного** тела площадью S перпендикулярно к ней падает N фотонов за время Δt

Каждый фотон обладает импульсом: $p = \frac{h\nu}{c}$

Сила давления: $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{h\nu N}{c\Delta t}$

Световое давление: $p = \frac{F}{S} = \frac{h\nu \cdot N}{cS\Delta t} = \frac{I}{c}$ на черную поверхность

$p = \frac{2I}{c}$ на белую(и зеркальную) поверхность

Интенсивность света I энергетическая характеристика:

$$I = \frac{E_1 N}{S\Delta t} = \frac{W}{S\Delta t} \quad [I] = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

