

## Лекция 1

# Тепловое излучение

Содержание:

- 1) Основные характеристики теплового излучения
- 2) Абсолютно черное тело
- 3) Закон Кирхгоффа
- 4) Законы Стефана-Больцмана и смещения Вина
- 5) Формула Релея-Джинса. Ультрафиолетовая катастрофа
- 6) Гипотеза Планка

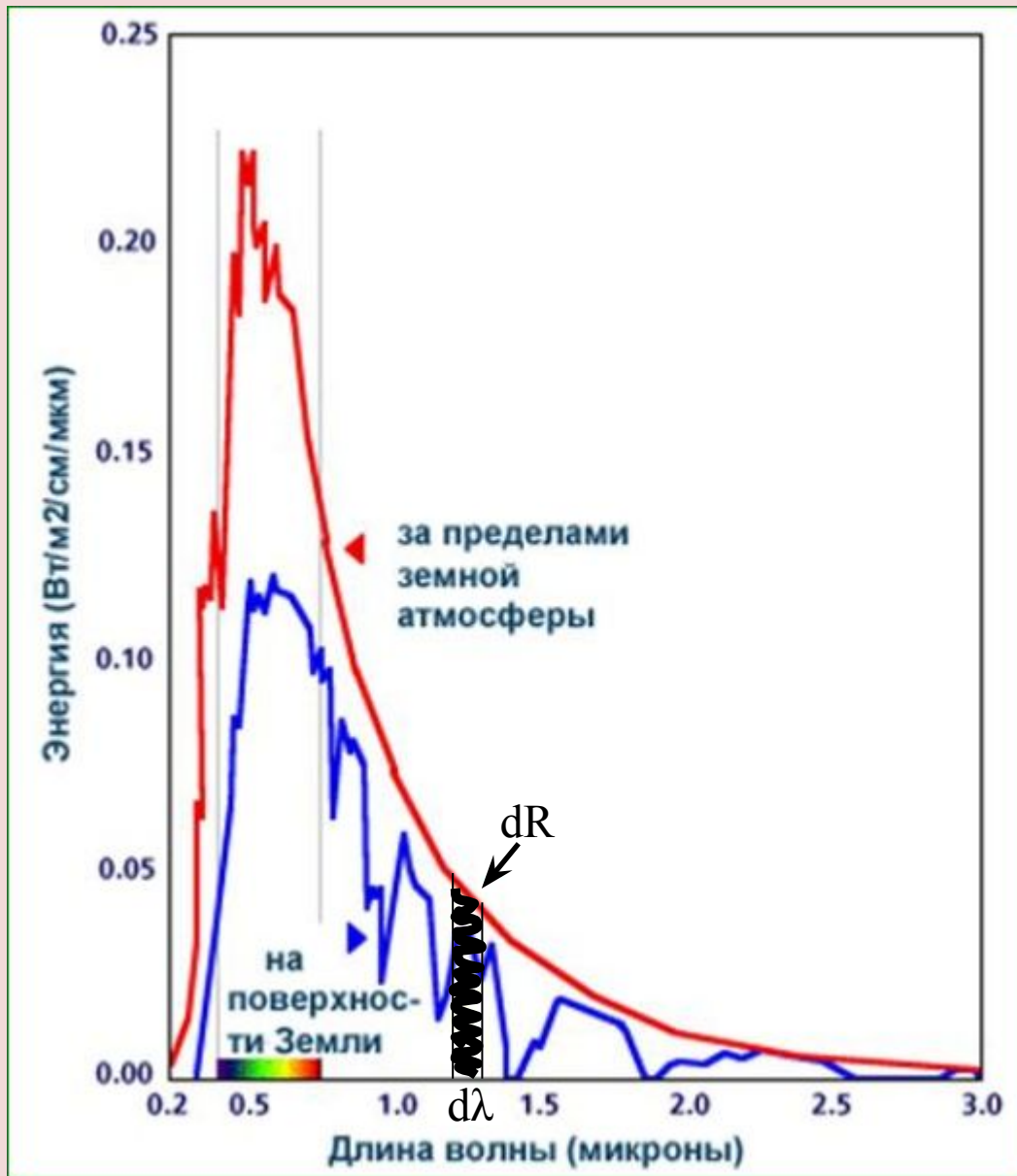
# Основные характеристики теплового излучения

**Тепловое излучение** - это электромагнитное излучение, которое возникает за счет энергии вращательного и колебательного движения атомов и молекул в составе вещества. Тепловое излучение характерно для всех тел, которые имеют температуру, превышающую температуру абсолютного нуля.

**Энергетическая светимость** - это количество энергии электромагнитного излучения во всем диапазоне длин волн теплового излучения, которое излучается телом во всех направлениях с единицы площади поверхности за единицу времени:  $R = E/(S \cdot t)$ ,  $[\text{Дж}/(\text{м}^2\text{с})] = [\text{Вт}/\text{м}^2]$  Энергетическая светимость зависит от природы тела, температуры тела, состояния поверхности тела и длины волны излучения.

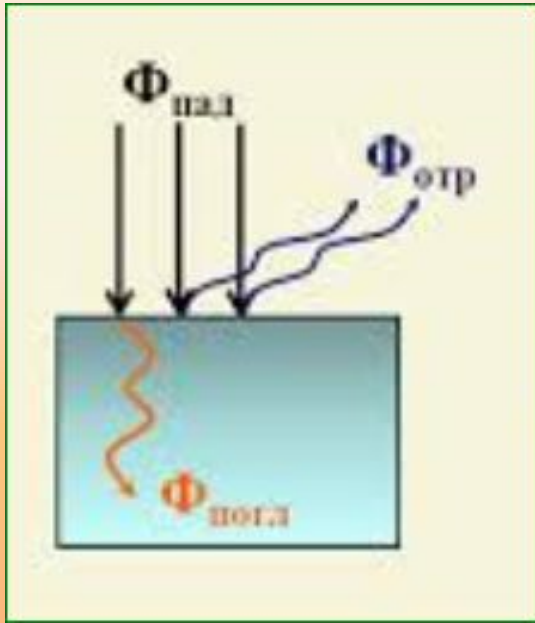
**Поток излучения ( $\Phi$ )** – средняя мощность испускаемая телом за время значительно больше их периода

**спектральная плотность энергетической светимости**  $r_{\lambda T}$   $[\text{Вт}/\text{м}^3]$ - функция распределения теплового излучения по спектру.



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

$$R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r_{\lambda T} d\lambda = \int_{\nu_1}^{\nu_2} r_{\nu T} d\nu$$

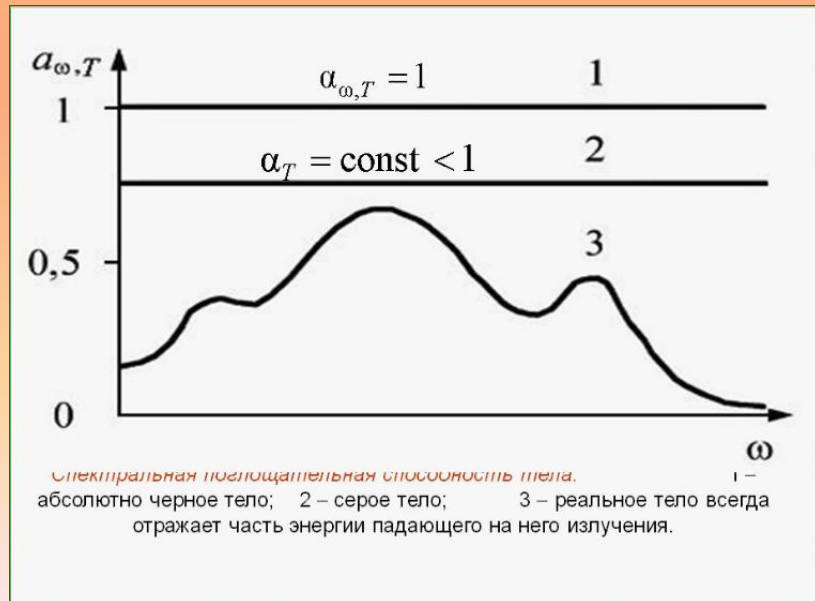


- $\Phi_{пад}$  – поток излучения, падающий на поверхность тела
- $\Phi_{отр}$  – поток излучения, отраженный от поверхности тела
- $\Phi_{погл}$  – поток излучения, поглощенный телом

**Спектральный коэффициент отражения (альbedo):**

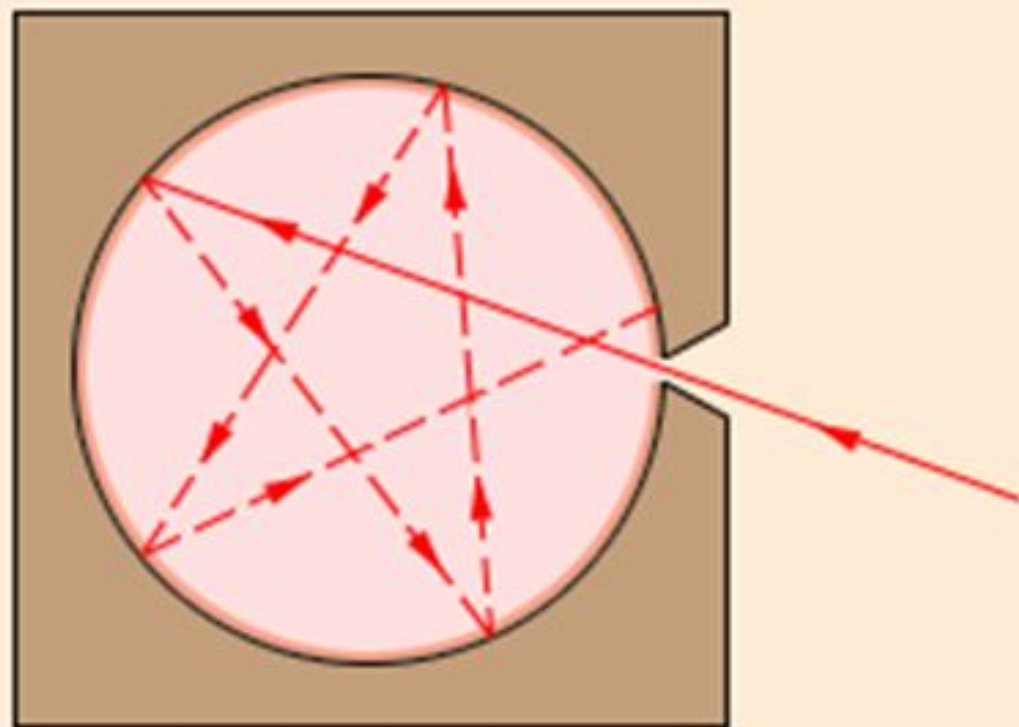
$$\rho_{\lambda T} = \frac{\Phi_{отр}}{\Phi_{пад}}$$

**Спектральный коэффициент поглощения (поглощательная способность):**



$$\alpha_{\lambda T} = \frac{\Phi_{погл}}{\Phi_{пад}}$$

Тело, которое при любой неразрушающей его температуре полностью поглощает всю энергию падающего на него света любой частоты, называют **абсолютно черным телом (АЧТ)**.



Модель абсолютно черного тела - небольшое отверстие в ящике сферической формы.

1. АЧТ – идеализация.
2. АЧТ – наиболее интенсивный источник теплового излучения.
3. Излучение АЧТ определяется только его температурой.

# Законы теплового излучения

1) **Закон Кирхгофа:** отношение спектральной плотности энергетической светимости и спектральной поглотительной способности не зависит от природы тела и является для всех тел универсальной функцией частоты (длины волны) и температуры:

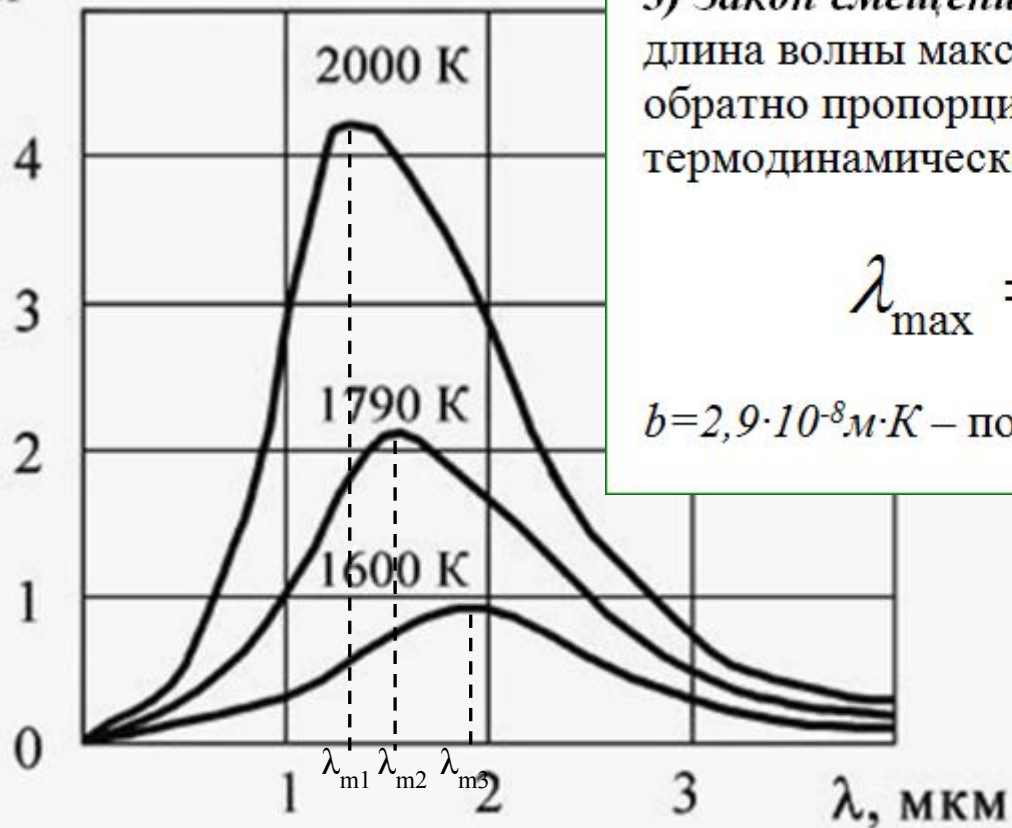
$$\left( \frac{r_{\lambda T}}{\alpha_{\lambda T}} \right)_1 = \left( \frac{r_{\lambda T}}{\alpha_{\lambda T}} \right)_2 = \dots = \left( \frac{r_{\lambda T}}{\alpha_{\lambda T}} \right)_n = f(\lambda, T)$$

2) **Закон Стефана-Больцмана:** энергетическая светимость АЧТ прямо пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры:

$$R_{\text{ч}} = \sigma T^4$$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  – постоянная Стефана-Больцмана

$r^*_{\lambda,T} \times 10^{-11} \text{ Вт/м}^3$



3) Закон смещения Вина:

длина волны максимума излучения АЧТ  
обратно пропорциональна его  
термодинамической температуре:

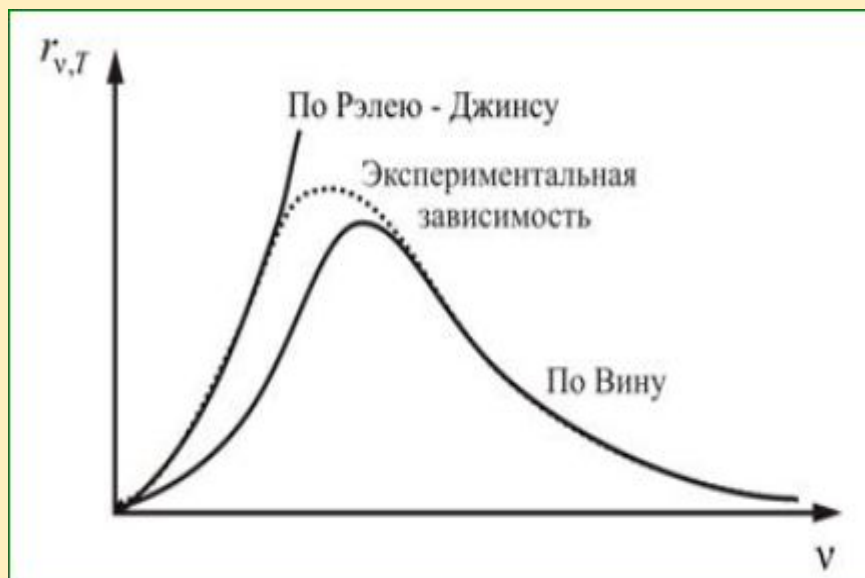
$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

$b = 2,9 \cdot 10^{-8} \text{ м} \cdot \text{К}$  – постоянная Вина

Спектральная испускательная способность абсолютно  
черного тела

# Формула Релея-Джинса

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





## Гипотеза Планка



Макс Планк  
(1858 – 1947)

*Планк предположил, что электромагнитное излучение испускается в виде отдельных порций (квантов) энергии, величина которых пропорциональна частоте излучения*

$$\varepsilon = h\nu = \hbar\omega$$

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

Формула Планка для спектральной плотности излучения АЧТ