

# **Тепловое излучение**

**Вступление**

**Особенности и характеристики теплового излучения**

**Закон Кирхгофа и его следствия**

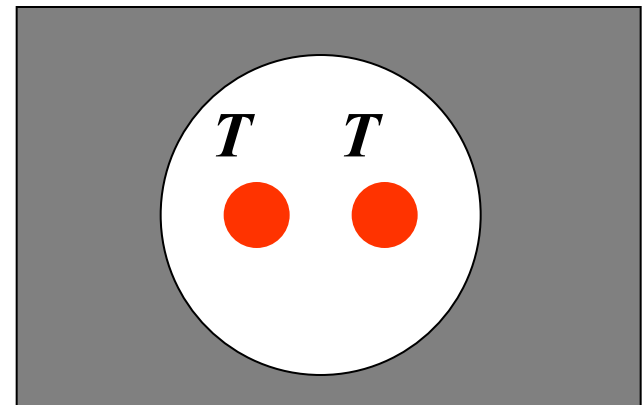
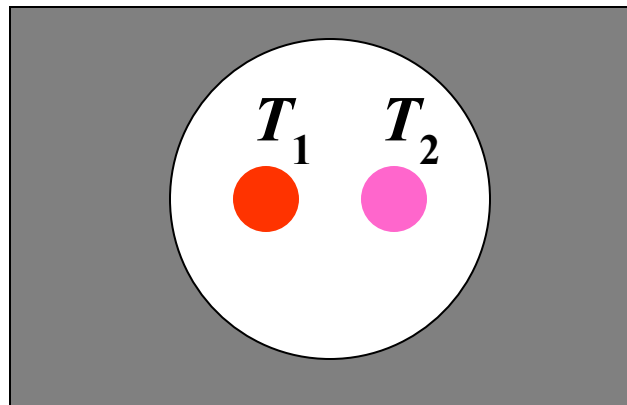
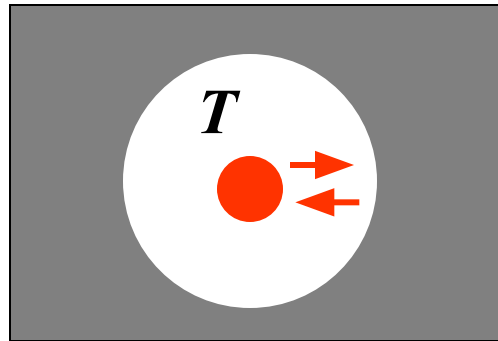
**Распределение энергии в спектре излучения**

**Теоретическое обоснование законов излучения**

**Квантовая гипотеза и формула Планка**

**Заключение**

# ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



# ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

ОБЪЕМНАЯ ПЛОТНОСТЬ ЭНЕРГИИ:  $u = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta V}$

СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ОБЪЕМНОЙ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ:

$$u(\lambda, T) = \frac{du_\lambda}{d\lambda}, \text{ где } du_\lambda - \text{ в диапазоне } (\lambda, \lambda + d\lambda)$$

ПОТОК ИЗЛУЧЕНИЯ:  $\Phi = \frac{\Delta W}{\Delta t}$   $[\Phi] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1 \text{ Вт}$

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СВЕТИМОСТЬ:

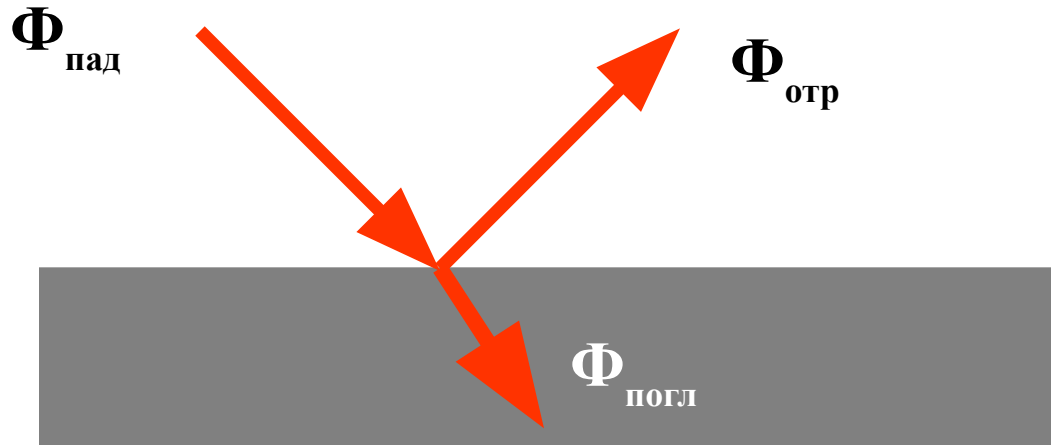
$$R_T = \frac{d\Phi_T}{dS} \quad [R] = 1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СВЕТИМОСТИ

$$r_{\lambda, T} = \frac{dR_{\lambda, T}}{d\lambda} \quad [r_{\lambda, T}] = 1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3}$$

$dR_{\lambda, T}$  -доля энергетической светимости в диапазоне  $\lambda - \lambda + d\lambda$

# ПОГЛОЩАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ



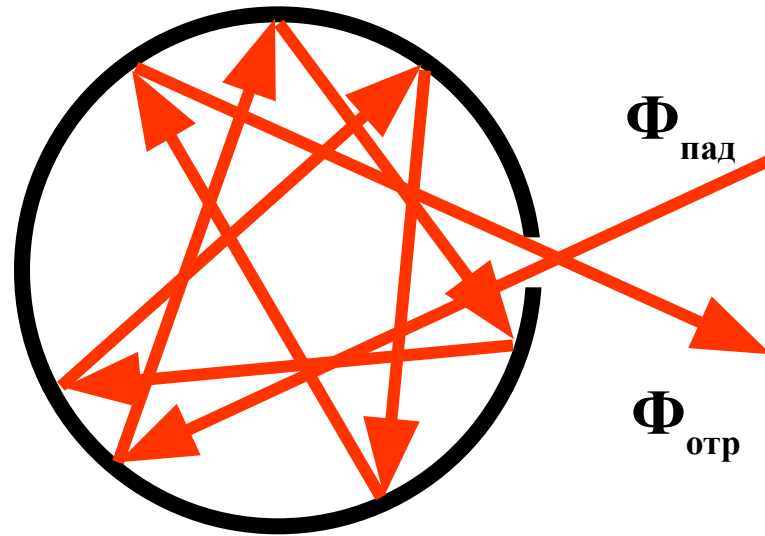
$$\Phi_{\text{пад}} = \Phi_{\text{погл}} + \Phi_{\text{отр}} \quad 1 = \frac{\Phi_{\text{погл}}}{\Phi_{\text{пад}}} + \frac{\Phi_{\text{отр}}}{\Phi_{\text{пад}}}$$

$$a_{\lambda, T} = \frac{\Phi_{\text{погл}}}{\Phi_{\text{пад}}} \leq 1 \quad \text{Поглощательная способность}$$

$$a_{\lambda, T} \equiv a_T \leq 1, \quad a \neq f(\lambda) \quad \text{Серое тело}$$

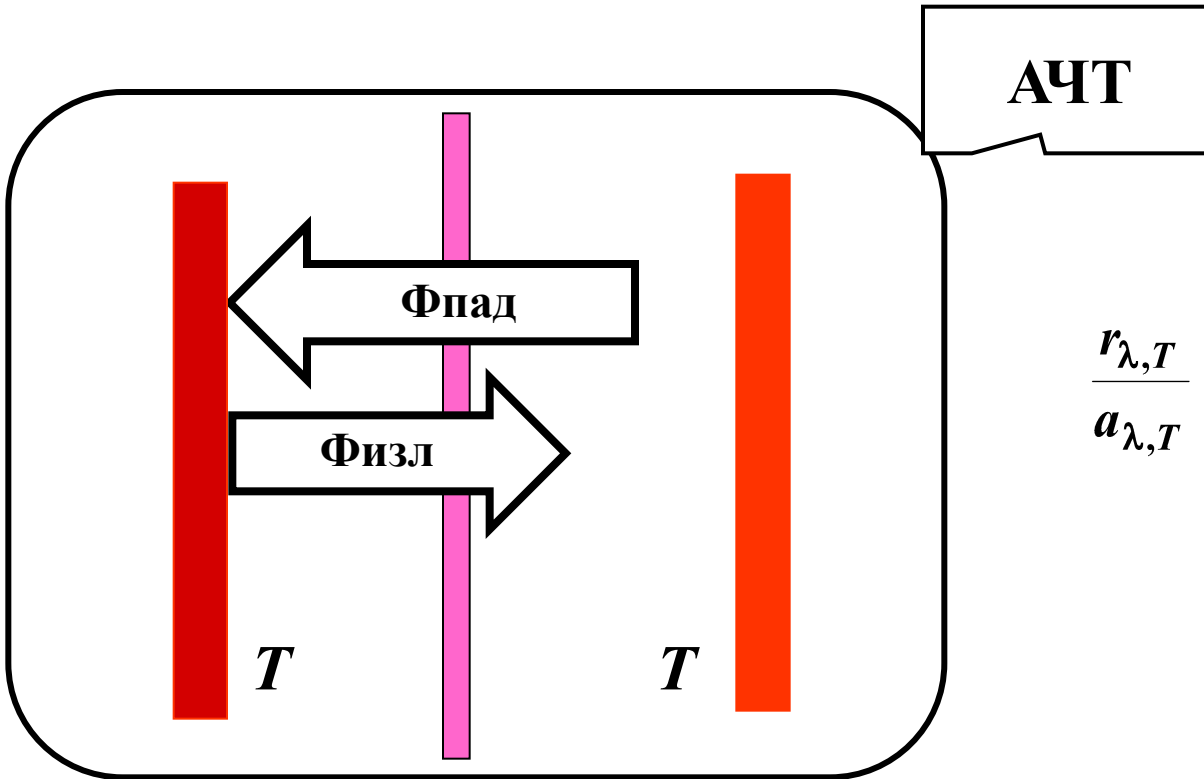
$$a \equiv 1 \quad \text{Абсолютно черное тело}$$

# Модель абсолютно черного тела



$$\Phi_{\text{отр}} = \Phi_{\text{пад}} (1 - a)^n$$

# ЗАКОН КИРХГОФА



$$\frac{r_{\lambda, T}}{a_{\lambda, T}} = f(\lambda, T) = r_{\lambda, T}^*$$

$$d\Phi_{\text{пад}} = r_{\lambda, T}^* dS$$

$$d\Phi_{\text{погл}} = a_{\lambda, T} d\Phi_{\text{пад}} = a_{\lambda, T} r_{\lambda, T}^* dS$$

$$d\Phi_{\text{изл}} = r_{\lambda, T} dS$$

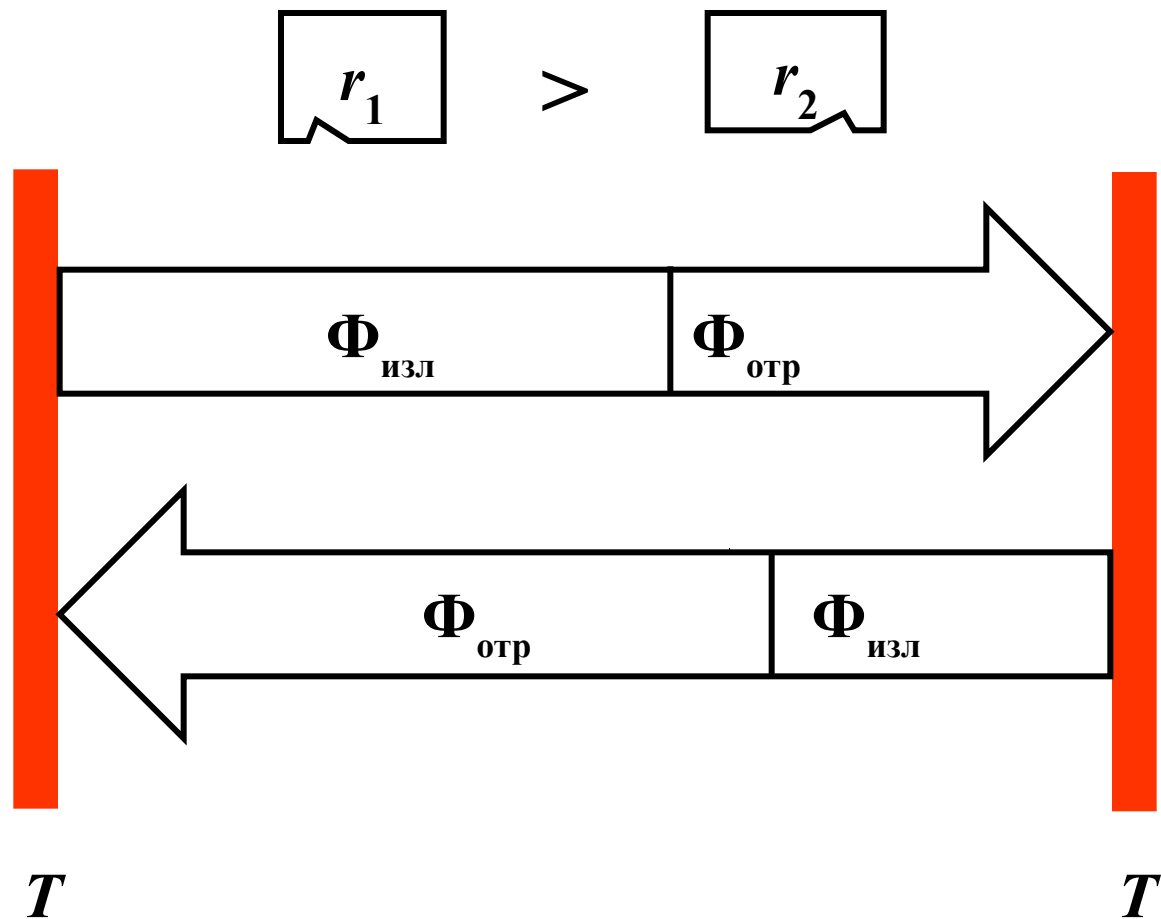
$$d\Phi_{\text{изл}} = d\Phi_{\text{погл}}$$

$$r_{\lambda, T} dS = a_{\lambda, T} r_{\lambda, T}^* dS \longrightarrow$$

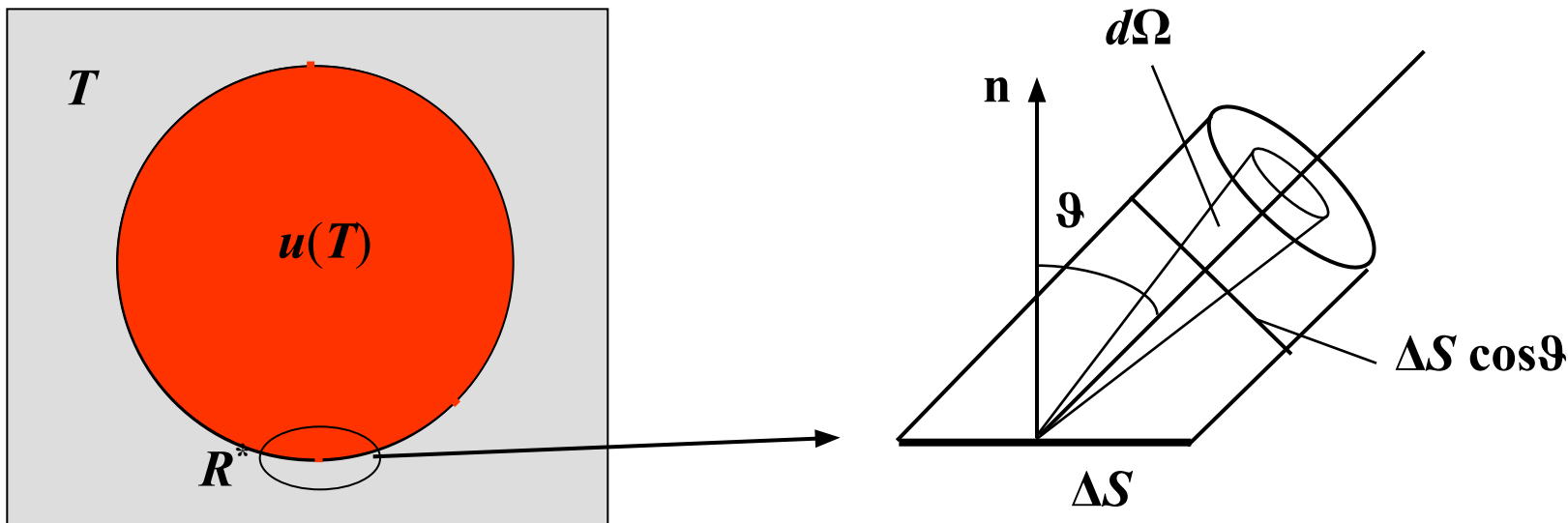
$$\frac{r_{\lambda, T}}{a_{\lambda, T}} = r_{\lambda, T}^*$$

Светофильтр

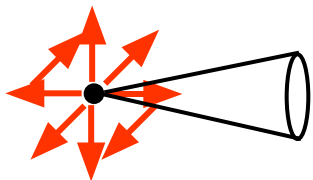
# СЛЕДСТВИЯ ЗАКОНА КИРХГОФА



# Связь равновесной плотности энергии с энергетической светимостью



• →  $j = cu$  – плотность потока излучения



$$d\Omega \quad dj = \frac{cu}{4\pi} d\Omega \quad d\Phi = dj \Delta S \cos \vartheta = \frac{cu}{4\pi} d\Omega \Delta S \cos \vartheta$$

$$d\Phi = \frac{cu}{4\pi} \Delta S \cos \vartheta \sin \vartheta d\vartheta d\varphi \quad \Delta\Phi = \frac{cu}{4\pi} \Delta S \int_0^{\pi/2} \cos \vartheta \sin \vartheta d\vartheta \int_0^{2\pi} d\varphi = \frac{c}{4} u \Delta S$$

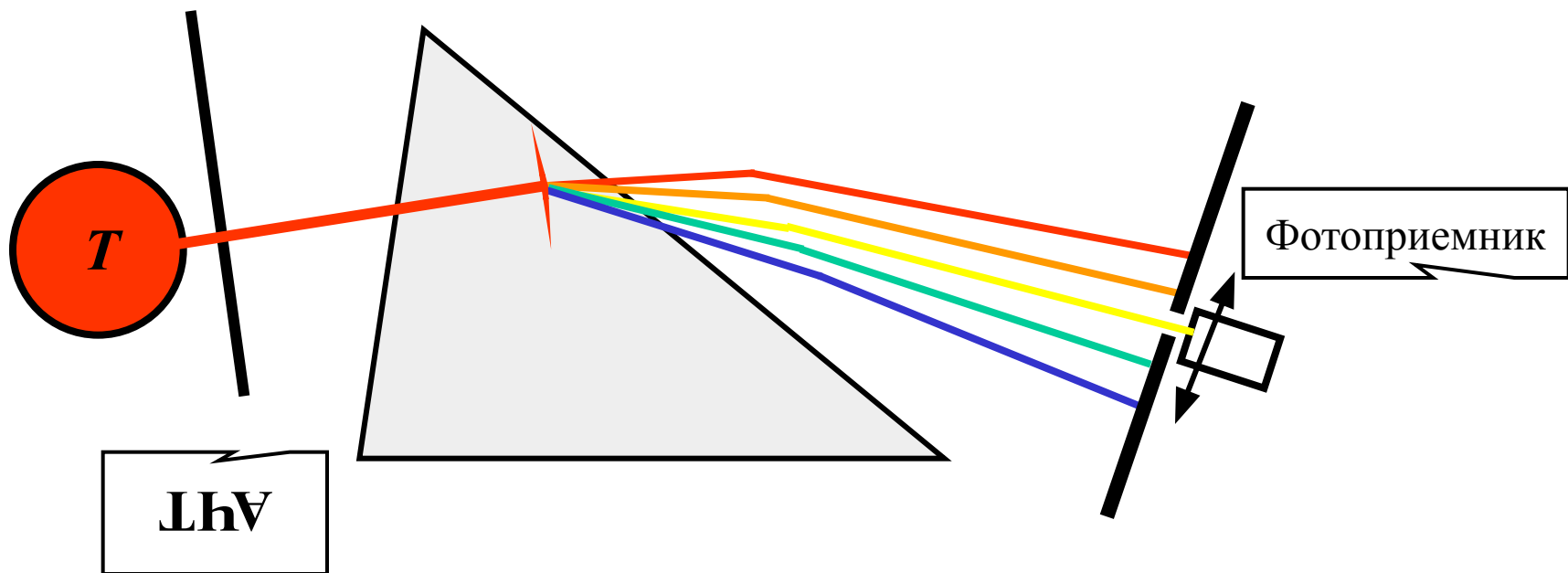
$$\Delta\Phi = R^* \Delta S$$

$$R^* = \frac{c}{4} u$$

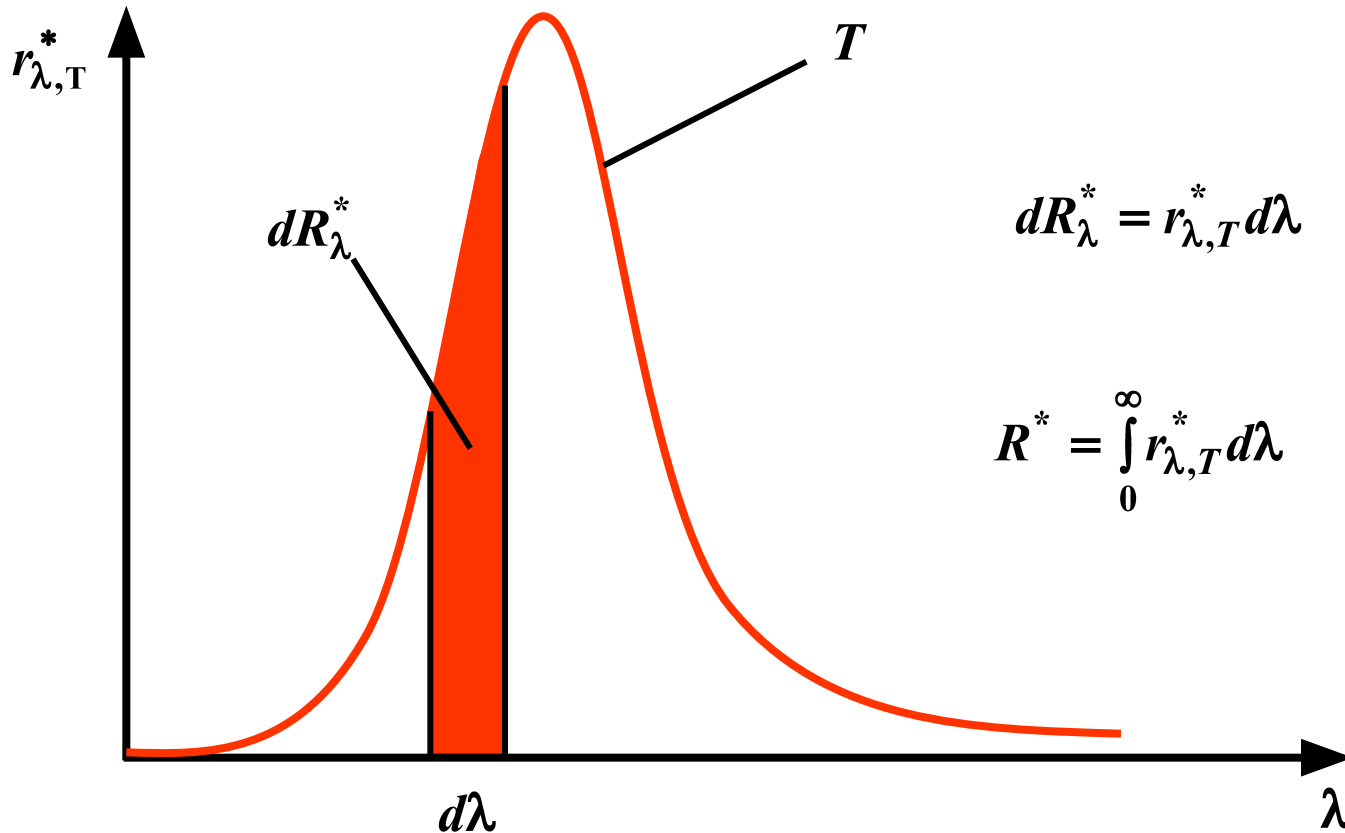
$$r_{\lambda, T}^* = \frac{c}{4} u(\lambda, T)$$



# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ В СПЕКТРЕ ИЗЛУЧЕНИЯ



# Зависимость испускательной способности от длины волны излучения



Закон Стефана-Больцмана

$$R^* = \sigma T^4 \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$$

## Энергетическая светимость серого тела

$$R^{\text{сер}} = \int_0^{\infty} a^{\text{сер}} r_{\lambda, T}^* d\lambda = a^{\text{сер}} R^*$$

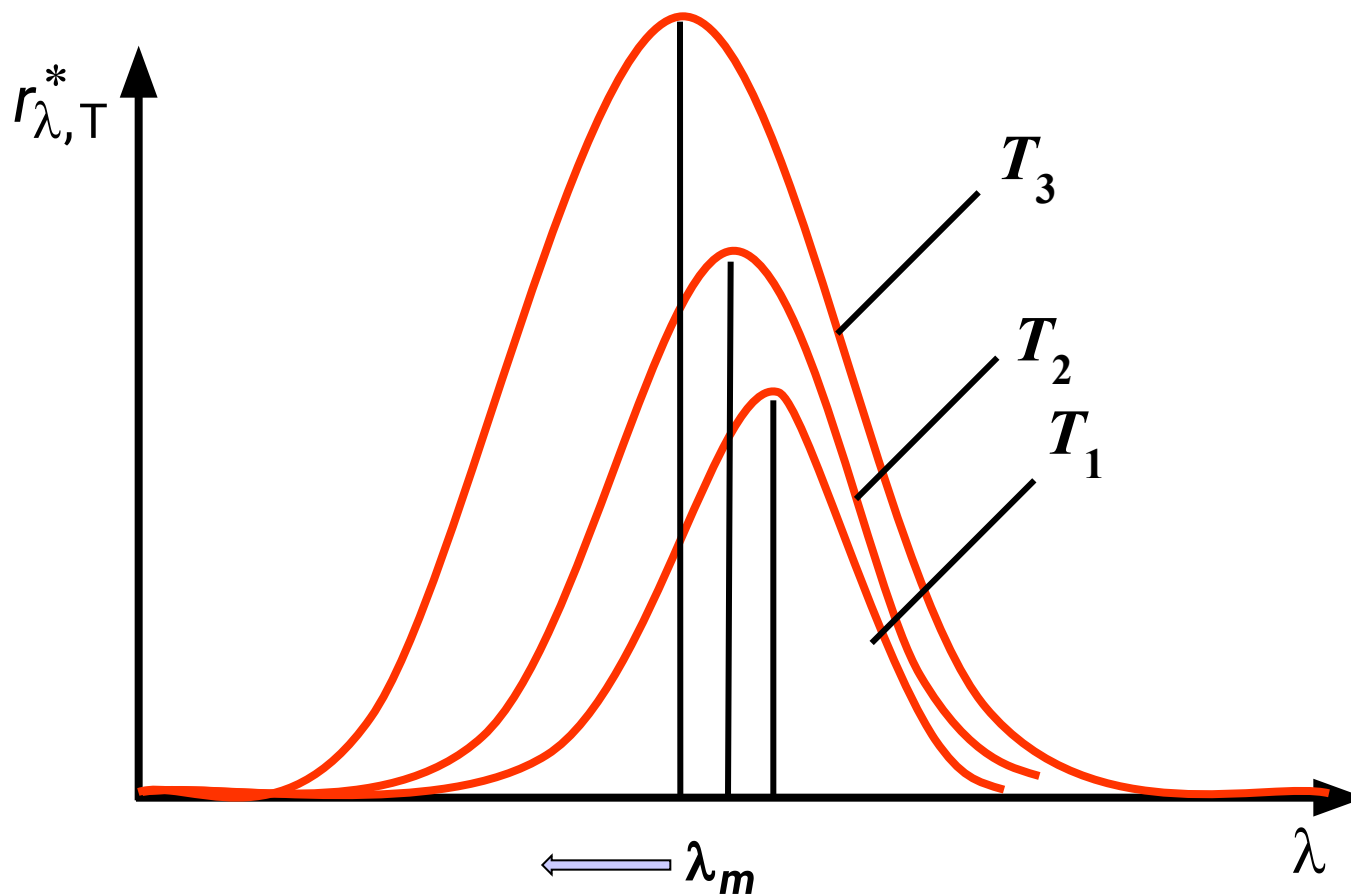
## Энергетическая светимость нечерного тела

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

$$\varepsilon = \frac{\int_0^{\infty} a_{\lambda, T} r_{\lambda, T}^* d\lambda}{\sigma T^4}$$

$\varepsilon$  – коэффициент теплового излучения

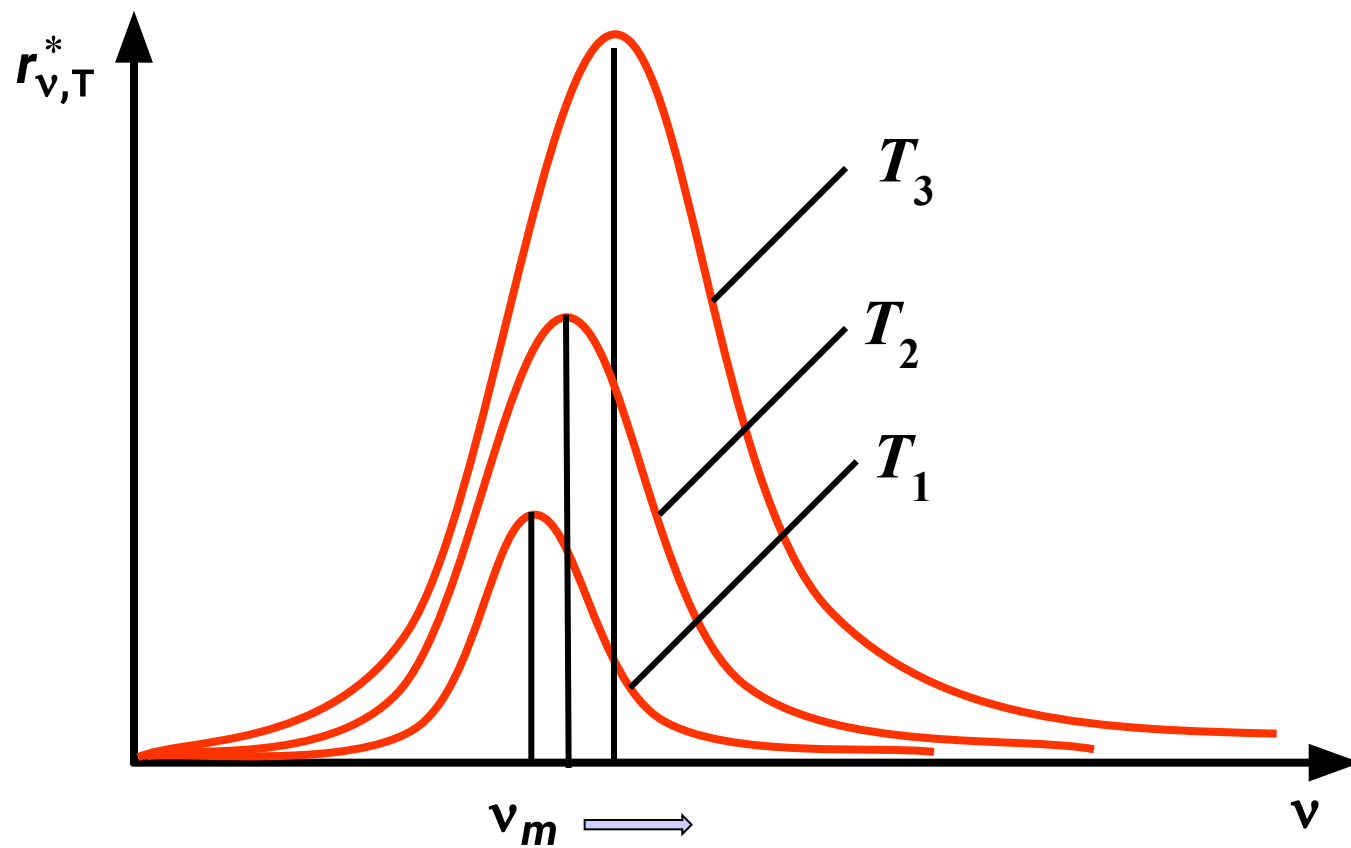
## Зависимость испускательной способности от температуры



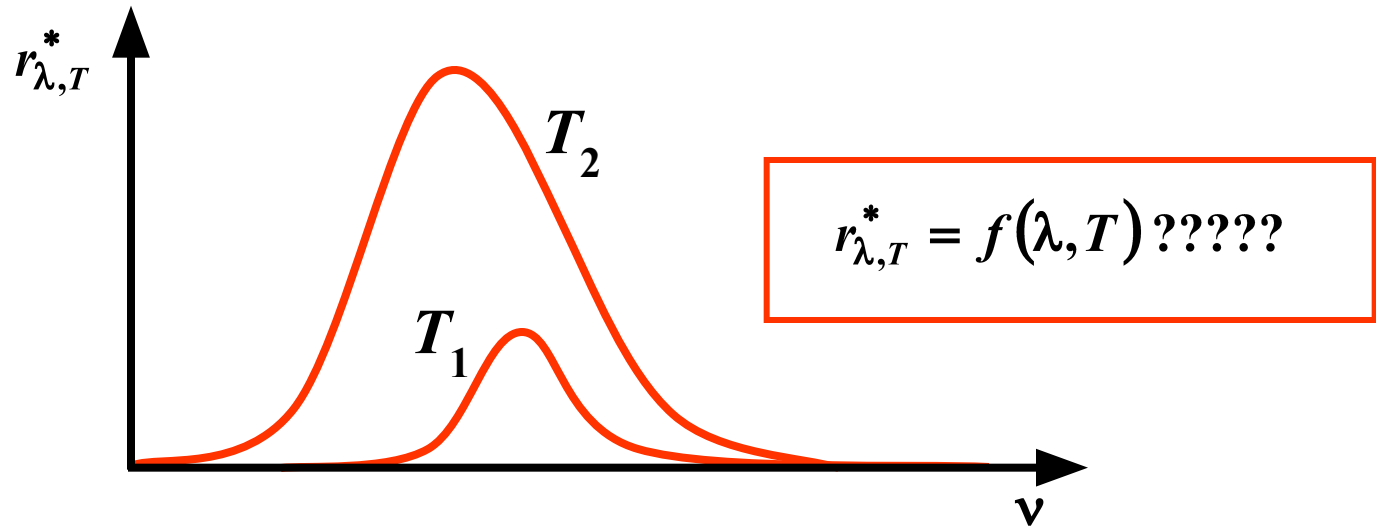
Закон смещения Вина

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

# Зависимость испускательной способности от частоты



# ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНОВ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



**Закон Стефана-Больцмана**

$$R_T^* = \sigma T^4$$

**Закон смещения Вина**

$$\lambda_m T = b$$