

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Электромагнитное излучение возникает за счет внутренней энергии излучающего тела, зависит от температуры и оптических свойств этого тела.

Это **равновесное** излучение, оно устанавливается в теплоизолированной системе, все тела которой имеют одинаковую температуру.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1. Объемная плотность энергии излучения

$$w = \frac{dW}{dV} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} \right].$$

2. Поток излучения

$$\Phi_e = \frac{\Delta W}{\Delta t} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт} \right].$$

3. Энергетическая светимость

$$R_e = \frac{d\Phi_e}{dS} \left[\frac{Вт}{м^2} \right].$$

4. Спектральная плотность энергетической светимости

$$r_{\lambda, T} = \frac{dR_e}{d\lambda} \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot м} \right],$$

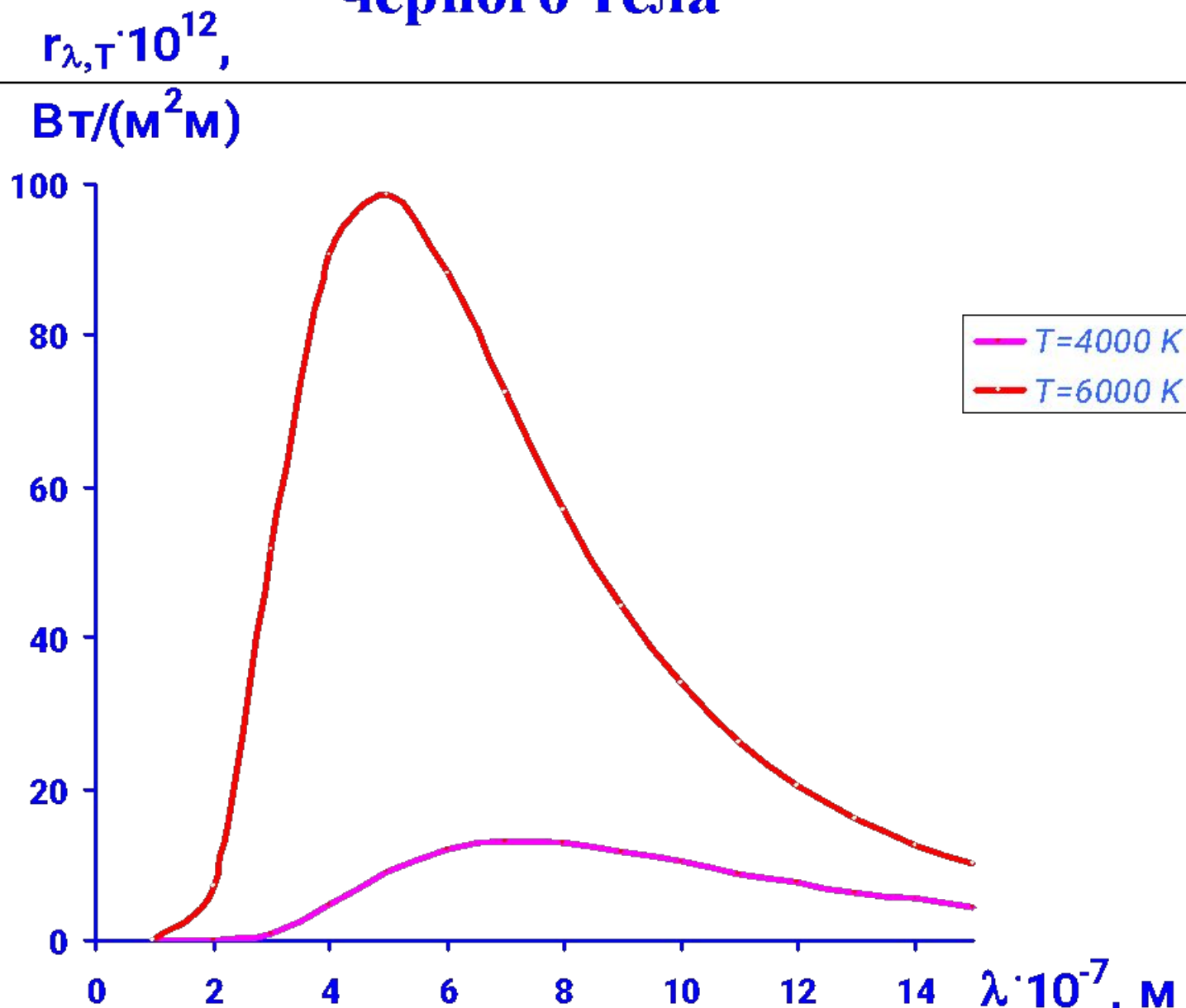
где dR_e – энергетическая светимость, приходящаяся на интервал длин волн от λ до $\lambda+d\lambda$.

5. Энергетическая светимость характеризует энергию, излучаемую единицей поверхности нагретого тела за единицу времени во всем интервале длин волн от **0** до **∞** ,

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

где $r_{\lambda, T}$ — спектральная плотность энергетической светимости.

Распределение энергии в спектре черного тела



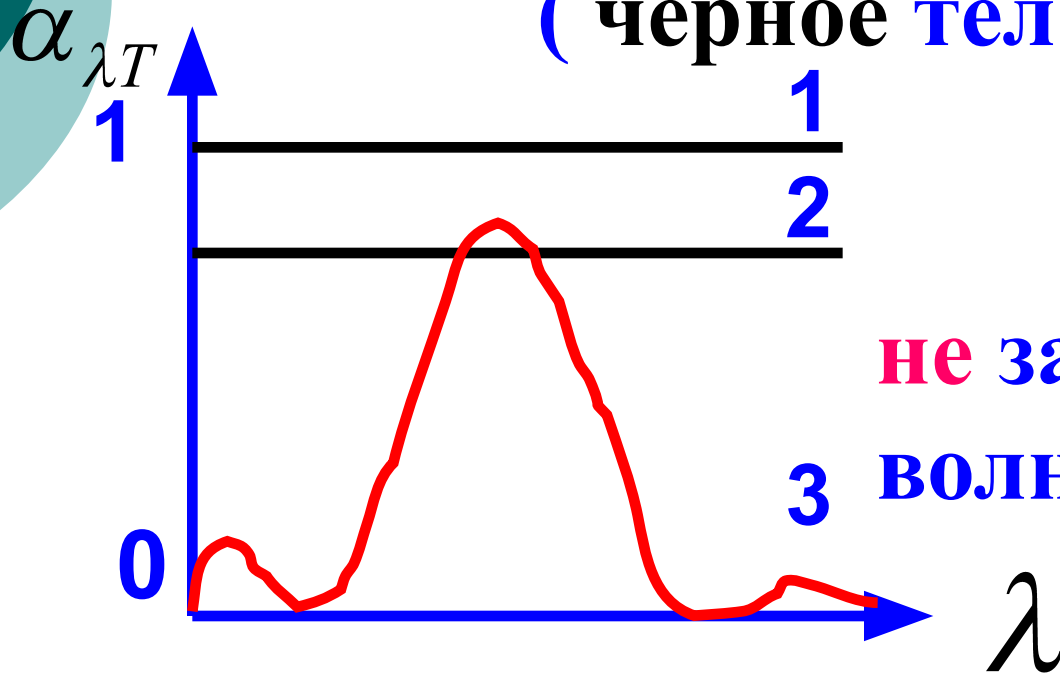
ПОГЛОЩЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Характеризуется коэффициентом поглощения $\alpha_{\lambda, T}$, зависящим от длины волны и температуры,

$$\alpha_{\lambda, T} = \frac{\Phi_e^{\text{погл}}}{\Phi_e}.$$

Различают тела: черное, серое, цветное.

1) $\alpha_T = 1$, **не** зависит от длины волны
(**черное тело**);



2) $\alpha_T < 1$,

не зависит от длины
3 волны (**серое тело**);

3) $\alpha_{\lambda,T} < 1$, **зависит** от длины волны
(**цветное тело**).

ЗАКОНЫ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Закон Кирхгофа (1859г.)

$$\left(\frac{r_{\lambda,T}}{\alpha_{\lambda,T}} \right)_1 = \left(\frac{r_{\lambda,T}}{\alpha_{\lambda,T}} \right)_2 = \dots = r_{\lambda,T}^0,$$

$r_{\lambda,T}^0$ — спектральная плотность
энергетической светимости
черного тела.

Закон Стефана-Больцмана (1879г., 1884г.)

Энергетическая светимость
черного тела пропорциональна
четвертой степени его термо-
динамической температуры

$$R_e = \sigma T^4,$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$ - постоянная
Стефана-Больцмана.

Энергетическая светимость серого тела при одинаковой температуре меньше энергетической светимости черного тела

$$R_e^{сер} = a_T \sigma T^4,$$

где
$$\alpha_T = \frac{\int_0^{\infty} \alpha_{\lambda,T} r_{\lambda,T} d\lambda}{\int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda} < 1$$

- СТЕПЕНЬ ЧЕРНОТЫ ТЕЛА, ЗАВИСИТ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ, МАТЕРИАЛА И СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ.

Значения степени (коэффициента) черноты для некоторых веществ:

сажа - 0,953 при 400К;

уголь - 0,800 при 600К;

вольфрам - 0,334 при 3000К;

- 0,260 при 2000К;

Земля – 0,260 при 280К.

Закон смещения Вина (1893г.)

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

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

Закон Вина

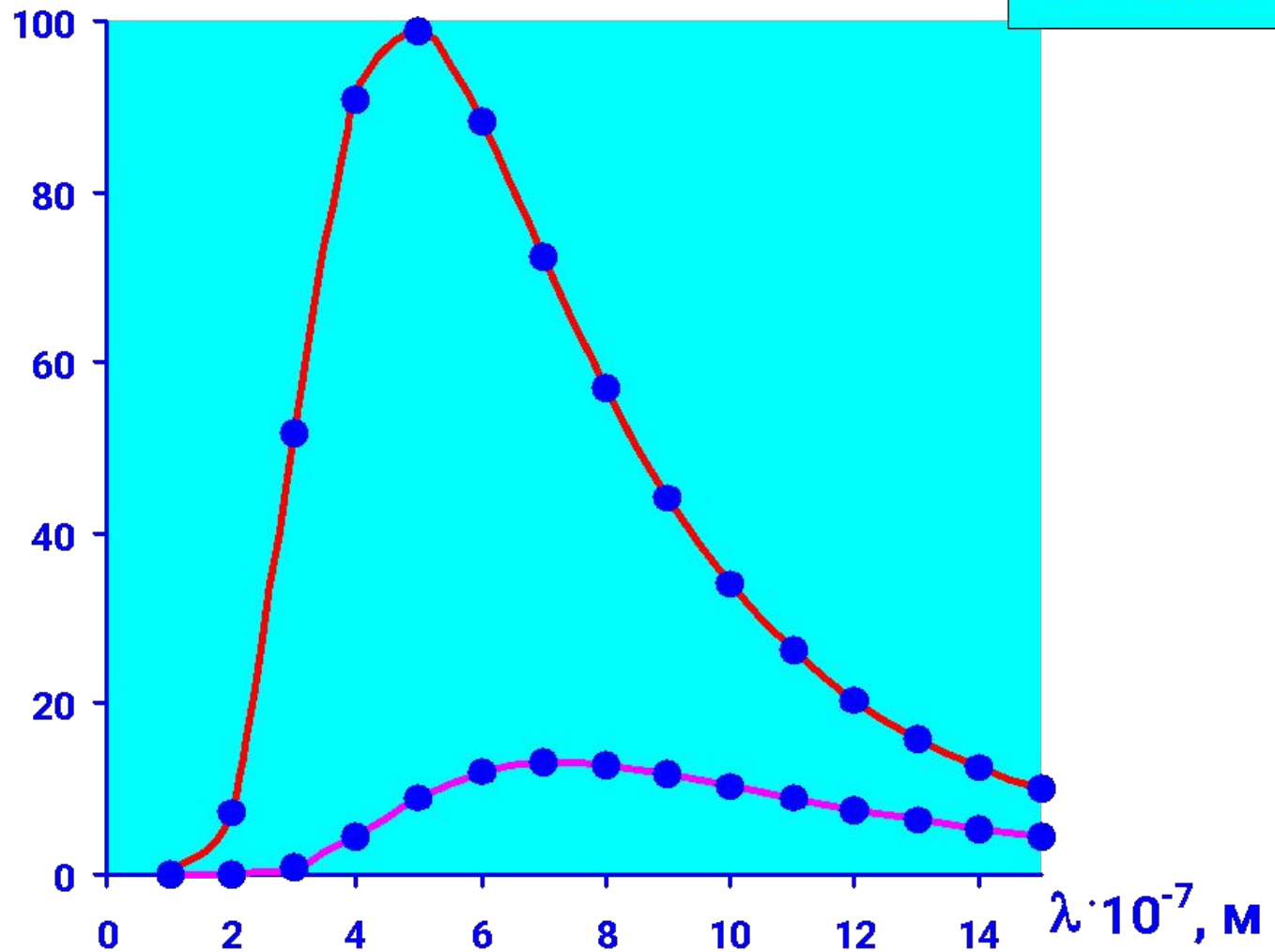
$$r_{\lambda, T}^{\max} = b_1 \cdot T^5,$$

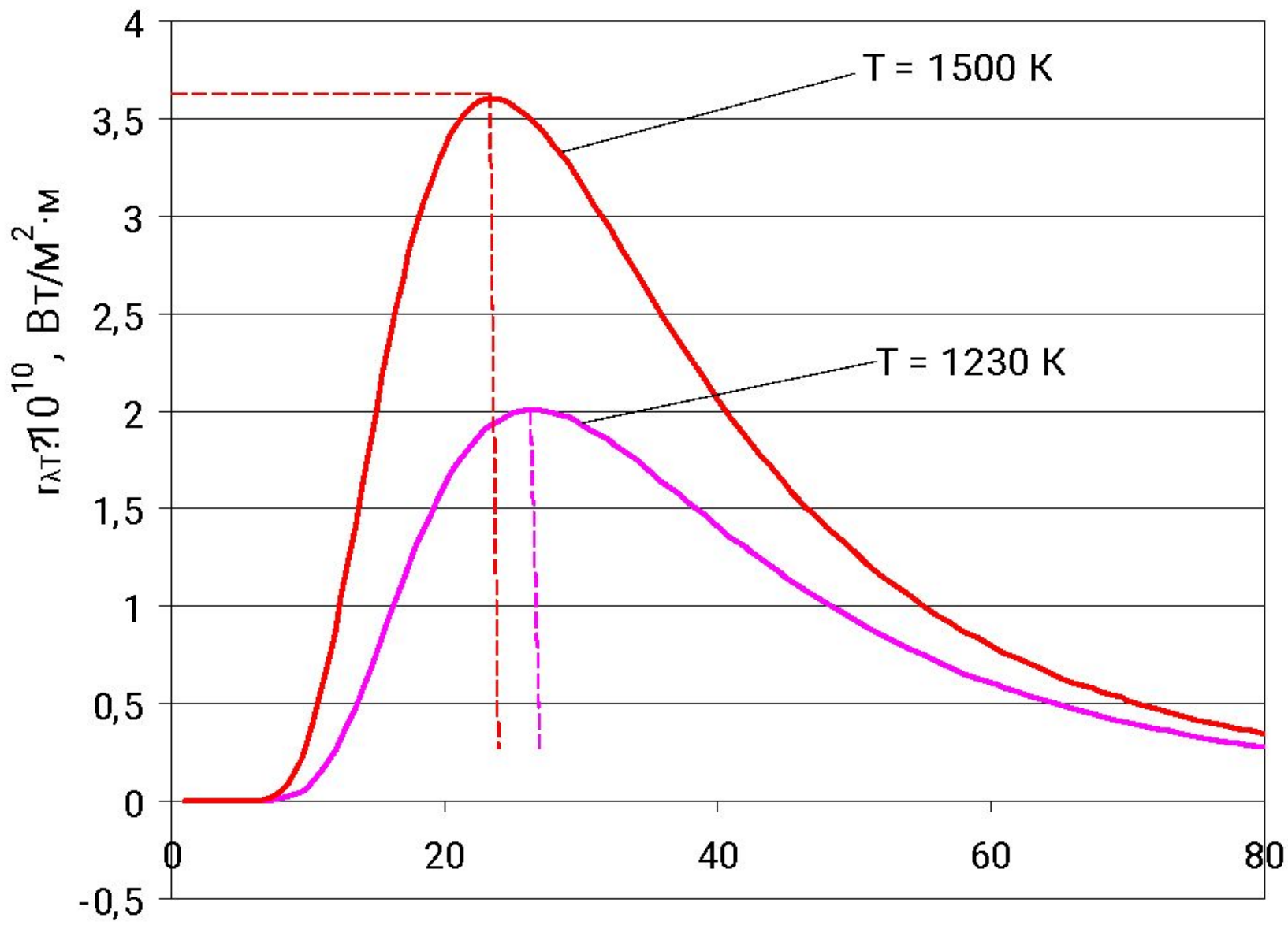
где $b_1 = 1,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}^5}$ - постоянная Вина.

Распределение энергии в спектре излучения черного тела

$r_{\lambda, T} \cdot 10^{12},$
Вт/(м²·м)

● $T=4000 \text{ K}$
● $T=6000 \text{ K}$





Планк Макс Карл Эрнест Людвиг

КВАНТОВАЯ ГИПОТЕЗА

(1858 – 1947 гг.)

Макса Планка (1900г.) :

Энергия гармонического осциллятора может принимать лишь дискретные значения, равные целому числу элементарных порций – **квантов энергии**

$$\varepsilon_{\nu} = n h \nu,$$

где $n = 1, 2, 3 \dots$ - целое число,

h - постоянная Планка,

ν - частота осциллятора.

ФОРМУЛА ПЛАНКА

Спектральная плотность энергетической светимости нагретого тела зависит от длины волны и температуры

$$r_{\lambda, T} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}.$$

В формулу входят постоянные:

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

- постоянная Планка,

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} - \text{скорость света в вакууме,}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} - \text{постоянная Больцмана.}$$

К ВЫВОДУ ФОРМУЛЫ ПЛАНКА

Средняя энергия гармонического осциллятора

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

определяет спектральную плотность энергетической светимости.

Спектральная плотность энергетической светимости $r_{\nu, T}$ ЧТ по частотам

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

или

$$\begin{aligned} r_{\nu, T} &= \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} = \\ &= \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}. \end{aligned}$$

Частота и длина волны связаны соотношением

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

При одинаковой температуре нагретого тела

$$r_{\nu, T} d\nu = r_{\lambda, T} d\lambda.$$

Учитывая, что

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

получим связь спектральной
плотности энергетической
светимости по частотам и по
длинам волн

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

Формула Планка примет вид

$$r_{\lambda, T} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}.$$

ПИРОМЕТРЫ

служат для измерения высоких температур бесконтактным способом:

1) **оптический пирометр** измеряет яркостную температуру $T_{я}$;

2) **радиационный пирометр** – радиационную температуру T_p .

РАСЧЕТ ИСТИННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ T :

по измеренной яркостной температуре

$$T = T_{\text{я}} + \Delta T, \text{ где } \Delta T = -\frac{6,6 \cdot 10^{-5} T_{\text{я}}^2 \ln 0,4}{1,438};$$

по измеренной радиационной температуре

$$T = \frac{T_p}{\sqrt[4]{\alpha_T}}.$$