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

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

2.Поток излучения

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

3.Энергетическая светимость

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

4.Спектральная плотность энергетической светимости

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

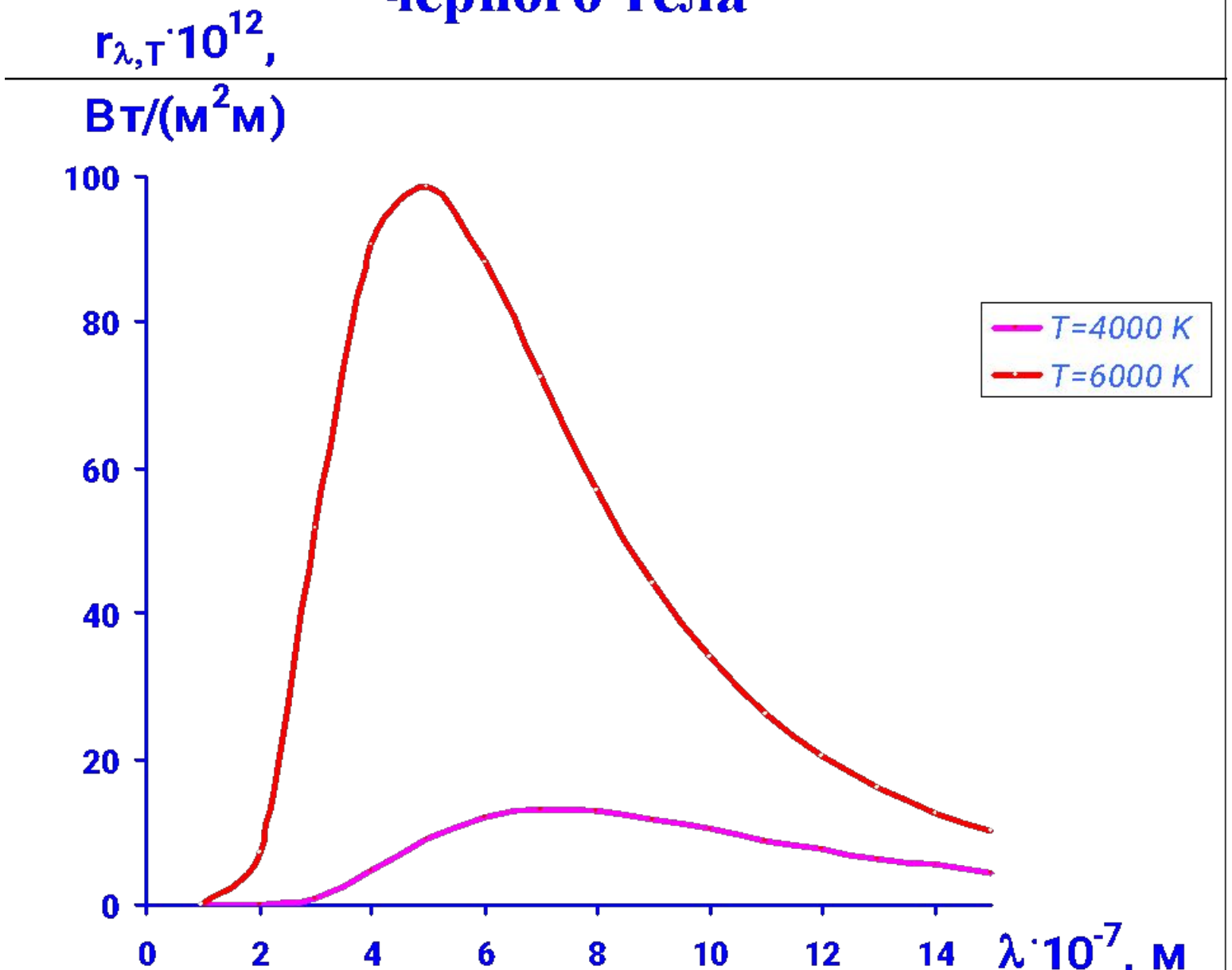
где dR_e – энергетическая светимость, приходящаяся на интервал длин волн от λ до $\lambda+d\lambda$.

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



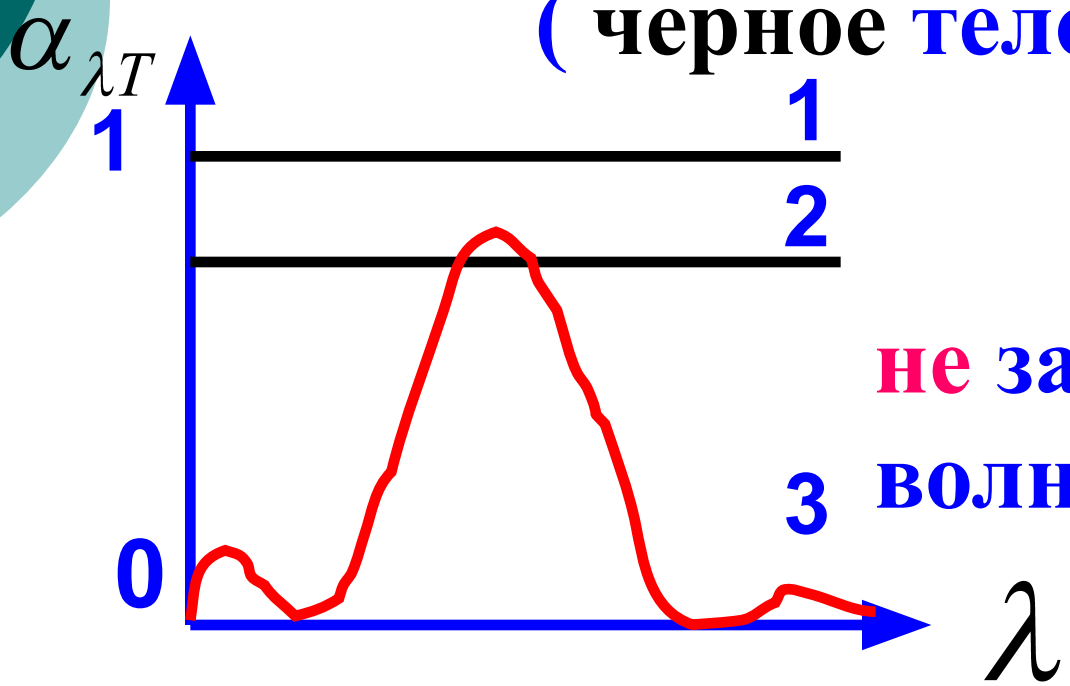
ПОГЛОЩЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

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

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

Различают тела: черное, серое, цветное.

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



2) $\alpha_T < 1$, **не зависит от длины волны (серое тело);**

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

З А К О Н Ы
ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Закон Кирхгофа (1859г.)

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

$r^0_{\lambda,T}$ – спектральная плотность энергетической светимости черного тела.

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

Энергетическая светимость черного тела пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры

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

где $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \dfrac{Вт}{м^2 K^4}$ **- 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.)

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

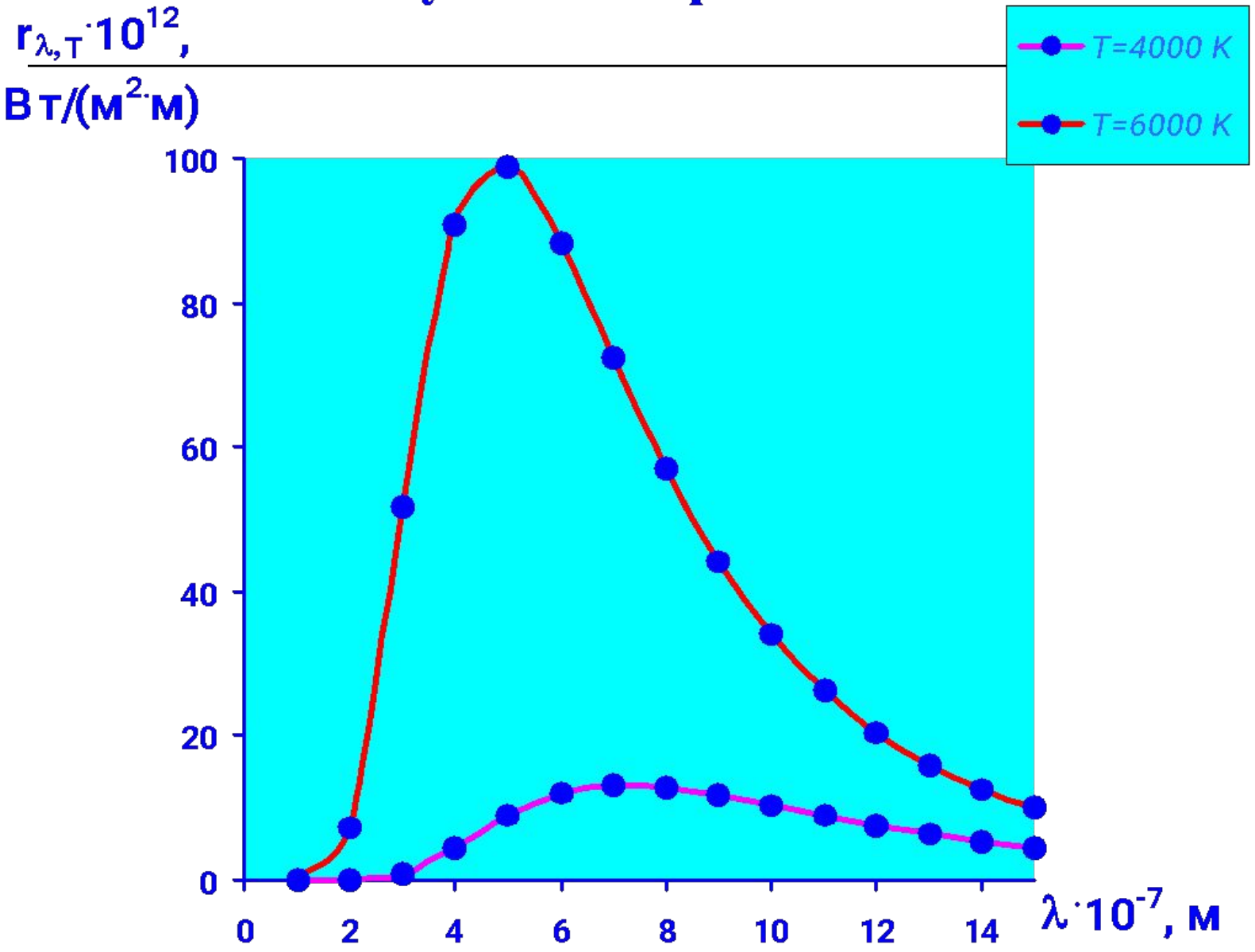
где $b = 2{,}9 \cdot 10^{-3}\ м \cdot K$ **- постоянная Вина.**

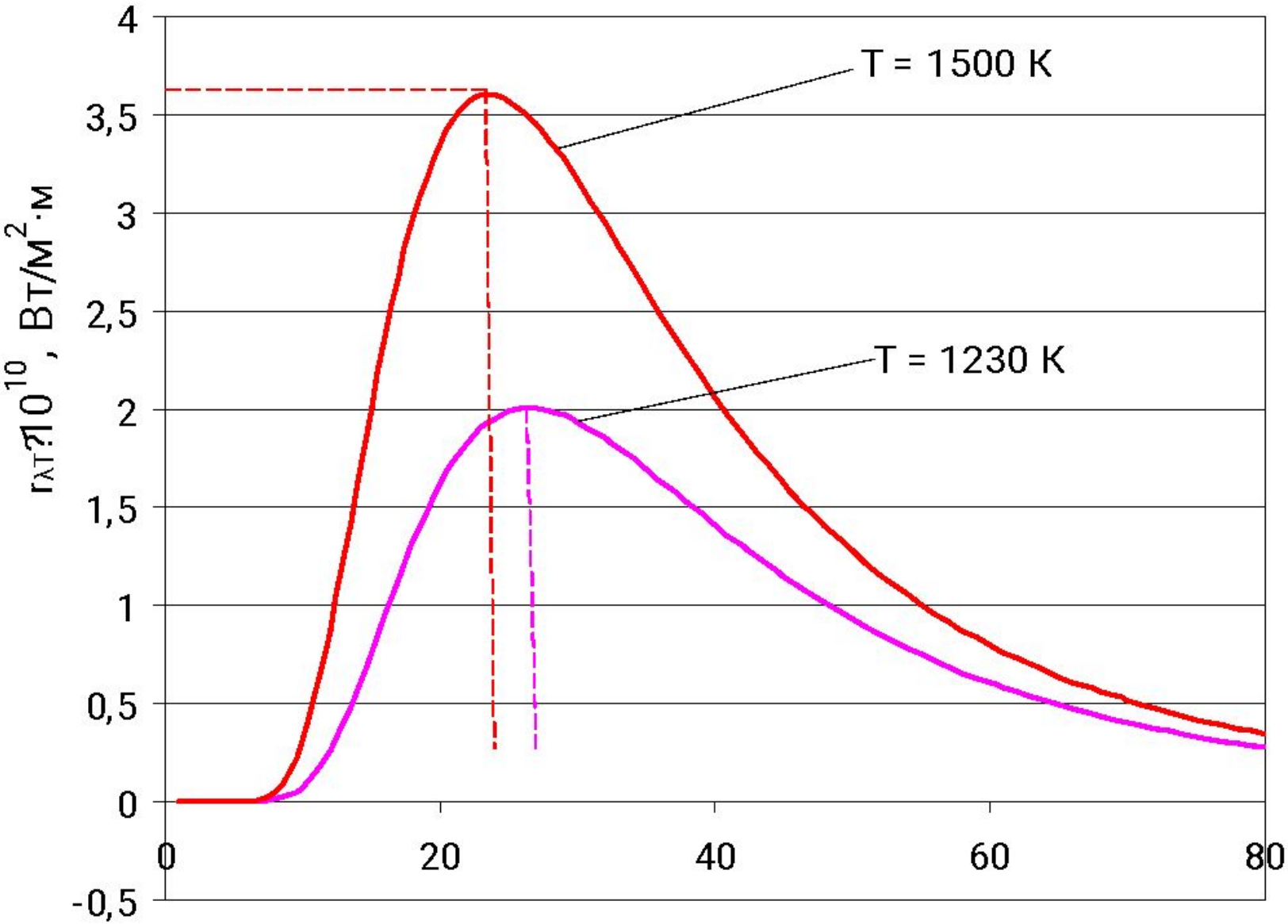
Закон Вина

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

где $b_1 = 1{,}3 \cdot 10^{-5}\ \dfrac{Вт}{м^3 \cdot K^5}$ **– постоянная Вина.**

Распределение энергии в спектре излучения черного тела




T = 1500 K
T = 1230 K
$r_{\lambda T}?10^{10}$, Вт/м^2·м
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
-0,5
0
20
40
60
80

Планк Макс Карл Эрнест Людвиг (1858 – 1947 гг.)

КВАНТОВАЯ ГИПОТЕЗА Макса Планка (1900г.) :

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

$$\varepsilon_\nu = nh\nu,$$

где n **= 1, 2, 3… - целое число,**

h **- постоянная Планка,**

ν **- частота осциллятора.**

ФОРМУЛА ПЛАНКА

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

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

В формулу входят постоянные:

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

- постоянная Планка,

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

$$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ \frac{Дж}{К}$$ **- 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

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

$$= \frac{2\pi h\nu^3}{c^2}\cdot\frac{1}{e^{h\nu/kT}-1}.$$

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

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

П И Р О М Е Т Р Ы

служат для измерения высоких температур бесконтактным способом:

1) оптический пирометр измеряет яркостную температуру $T_я$;

2) радиационный пирометр – радиационную температуру $T_р$.

РАСЧЕТ ИСТИННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ *T*:

по измеренной яркостной температуре

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

по измеренной радиационной температуре

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