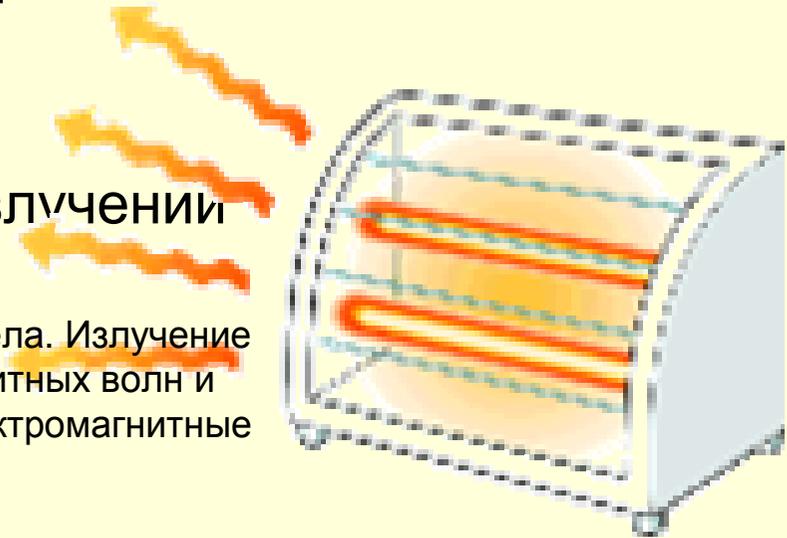


## 9 ТЕПЛООБМЕН ИЗЛУЧЕНИЕМ

### 9.1 Общие сведения о тепловом излучении

Источник теплового излучения – внутренняя энергия тела. Излучение обладает свойством непрерывности поля электромагнитных волн и свойством дискретности фотонов. Соответственно электромагнитные волны различаются длиной волны и частотой.



Газы испускают лучи не всех длин волн – *селективное (избирательное) излучение*

Суммарное излучение с поверхности тела по всем направлениям полусферического пространства и по всем длинам волн спектра называется *интегральным излучением* ( $Q$ ).

*Интегральный лучистый поток, излучаемый единицей поверхности по всем направлениям, называется плотностью интегрального излучения тела, Вт/м<sup>2</sup>*

$$E = dQ / dF$$

где  $dQ$  – элементарный поток излучения, испускаемый элементом поверхности  $dF$ .

Общее количество энергии излучения, падающей на тело

$$Q = Q_A + Q_R + Q_D$$

$$A + R + D = 1$$

Величину  $A$  называют *поглощательной способностью*. Она представляет собой отношение поглощенной энергии излучения ко всей энергии излучения, падающей на тело.

Величину  $R$  называют *отражательной способностью*.  $R$  есть отношение отраженной энергии излучения ко всей падающей.

Величину  $D$  называют *пропускательной способностью*.  $D$  есть отношение прошедшей сквозь тело энергии излучения ко всей энергии излучения, падающей на тело.

Абсолютно черная поверхность - если поверхность поглощает все падающие на нее лучи, т. е.  $A = 1$ ,  $R = 0$  и  $D = 0$

Если поверхность отражает полностью все падающие на нее лучи, то такую поверхность называют *абсолютно белой*

Если поверхность правильно отражает лучи (т.е. отражение следует законам геометрической оптики), то такую поверхность называют *зеркальной*

Если падающий луч при отражении расщепляется на множество лучей, идущих по всевозможным направлениям, то такое отражение называют *диффузным*.

*Интенсивность излучения* представляет собой плотность потока излучения тела для длин волн от  $\lambda$  до  $\lambda+d\lambda$ , отнесенная к рассматриваемому интервалу длин волн  $d\lambda$

$$I_{s\lambda} = \frac{dE_{s\lambda}}{d\lambda}$$

где  $I_{s\lambda}$  – спектральная интенсивность излучения абсолютно черного тела, Вт/м<sup>3</sup>.

## 9.2 Основной закон поглощения

Коэффициент поглощения  $A_I = (I_{I1} - I_{I2}) / I_{I1}$

$$dI = -kI dx$$

где  $k$  - коэффициент абсорбции, или коэффициент поглощения вещества, 1/м.

Коэффициент поглощения

$$A_I = \frac{I_{I1} - I_{I2}}{I_{I1}} = \frac{I_{I1} - I_{I1}e^{-ks}}{I_{I1}} = 1 - e^{-ks} = 1 - \frac{1}{e^{ks}}$$

Следовательно, поглощение может происходить только в слое тела конечной толщины  $s$

## 9.3 Основные законы теплового излучения

### Закон Планка.

Интенсивности излучения абсолютно черного тела  $I_{s\lambda}$  и любого реального тела  $I_{\lambda}$  зависят от температуры и длины волны.

Закон изменения интенсивности излучения абсолютно черного тела в зависимости от температуры и длины волны вдоль спектра

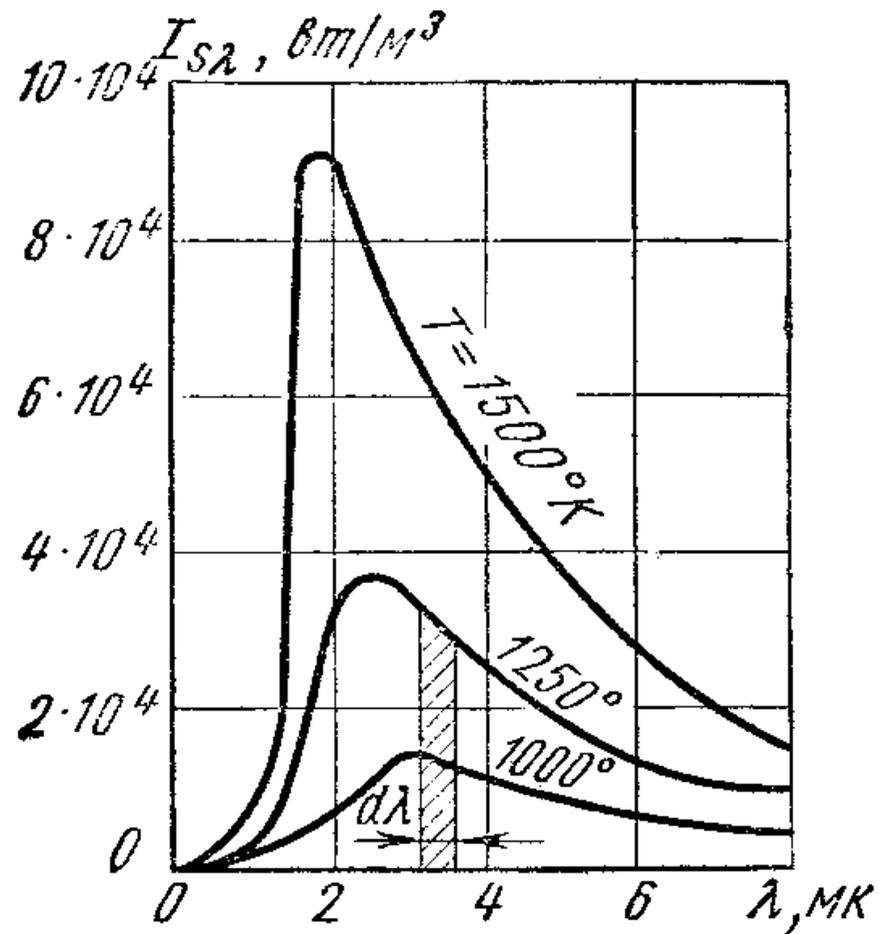
$$I_{s\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}$$

где  $e$  – основание натуральных логарифмов;

$c_1 = 5,944 \cdot 10^{-17}$  Вт\*м<sup>2</sup> – первая постоянная Планка;

$c_2 = 1,44 \cdot 10^{-2}$  м\*К – вторая постоянная Планка;

$\lambda$  – длина волны;  $T$  – температура излучающего тела, °К.



Длина волны  $\lambda_{ms}$  в миллиметрах, отвечающая максимальному значению  $I_{s\lambda}$ , определяется законом смещения Вина

$$\lambda_{ms} = 2,9 / T$$

Закон Стефана – Больцмана. Тепловой поток, излучаемый единицей поверхности черного тела в интервале длин волн от  $\lambda$  до  $\lambda+d\lambda$ , может быть определен из уравнения

$$dE_s = I_{s\lambda} d\lambda$$

Плотность интегрального излучения абсолютно черного тела

$$E_s = \sigma_s T^4$$

где  $\sigma_s = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·°K<sup>4</sup>) – постоянная Стефана- Больцмана.

$$E_s = C_s (T / 100)^4$$

где  $C_s$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела  
 $C_s = 5,67$  Вт/[м<sup>2</sup>/(°K<sup>4</sup>)].

Серое излучение - такое, которое, аналогично излучению черного тела, имеет сплошной спектр, но интенсивность лучей для каждой длины волны  $I_\lambda$  при любой температуре составляет неизменную долю от интенсивности излучения черного тела  $I_{s\lambda}$

$$I_l / I_{sl} = e = const$$

Плотность интегрального излучения серого тела

$$E = \int_{l=0}^{l=\infty} I_{sl} dl = eE_s = eC_s (T/100)^4 = C(T/100)^4 \quad (9.9)$$

Величину  $C = \epsilon C_s$ , Вт/[(м<sup>2</sup>·К)<sup>4</sup>] называют коэффициентом излучения серого тела

## Закон Кирхгофа

Уравнение теплового баланса в теплоизолированном объёме двух тел

$$Q = E - E_s A$$

Математическое выражение закона Кирхгофа

$$E = E_s A \quad \text{или} \quad E / A = E_s / A_s = C_s (T / 100)^4$$

Отношение излучательной способности тела к его поглотительной способности одинаково для всех серых тел, находящихся при одинаковых температурах, и равно излучательной способности абсолютно черного тела при той же температуре.

Тело, излучающее энергию при определённой длине волны способно и поглощать её при той же длине волны.

Если тело не поглощает энергию в определённой части спектра, оно в этой части спектра и не излучает.

$$E_l / A_l = I_l / A_l = E_{sl} = I_{sl} = f(l, T)$$

Из закона Кирхгофа следует, что если тело обладает малой поглощательной способностью, то оно обладает и малой излучательной способностью. Абсолютно чёрное тело, следовательно, обладает максимальной излучательной способностью.

Также, степень черноты серого тела  $\epsilon$  при одной и той же температуре численно равна коэффициенту поглощения  $A$

$$e = I_l / I_{sl} = E / E_s = C / C_s = A$$

## Закон Ламберта

Энергия, излучаемая телом, распространяется в пространстве с различной интенсивностью. Закон, устанавливающий зависимость интенсивности излучения от направления, называется *законом Ламберта*

Количество энергии, излучаемое элементом поверхности

$$d^2 Q_j = E_n dF_1 dw \cos j$$

где  $E_n$  – энергия излучения в направлении нормали.

Телесный угол  $dw = \sin j dydj$

где  $\varphi$  – угол, дополнительный к углу широты;

$\psi$  – угол долготы

$$d^2 Q_j = E_n dF_1 \sin j dy dj \cos j$$

В результате интегрирования найдем энергию, излучаемую элементом  $dF_1$ , в пределах полусферы, равную  $E dF_1$

$$E_n = E / p = \frac{1}{p} C (T / 100)^4 = \frac{e}{p} C_0 (T / 100)^4$$

уравнение закона Ламберта

$$d^2 Q_j = \frac{e}{p} C_0 (T / 100)^4 dw \cos j dF_1$$

