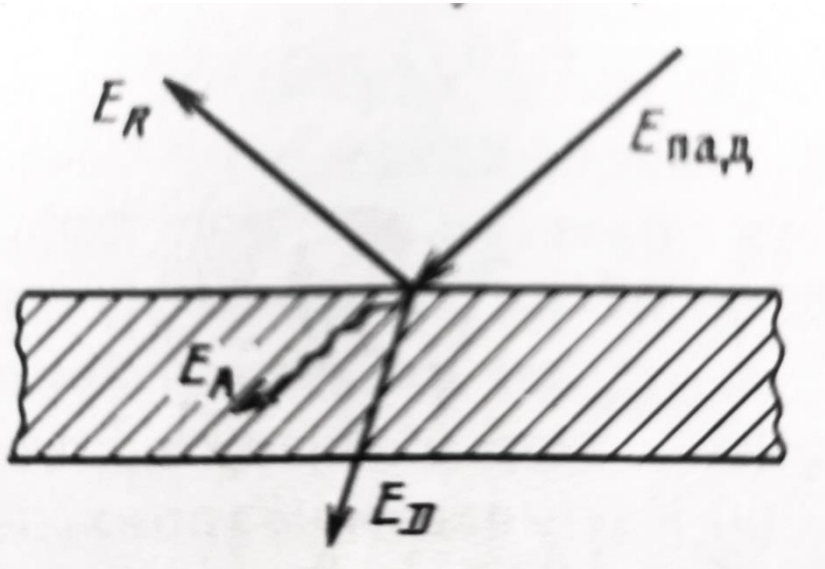


Лучистый теплообмен

доц. Прокопенко А.В.

20.04.2020

Тепловой поток, излучаемый на всех длинах волн с единицы поверхности тела во всех направлениях, называется поверхностной плотностью потока интегрального излучения Вт/м²
Основное количество энергии выделяется в ИК диапазоне 0,8-80 мкм.



$$E_A + E_R + E_D = E_{\text{пад}}$$
$$A + R + D = 1$$

$A = E_A / E_{\text{пад}}$ – коэффициент поглощения
 $R = E_R / E_{\text{пад}}$ – коэффициент отражения
 $D = E_D / E_{\text{пад}}$ – коэффициент пропускания

$A=0$ – абсолютно черное тело; $A<1$ – серое тело;
 $R=1$ – абсолютно белое тело;
 $D=1$ – абсолютно прозрачное тело.

Лучистый теплообмен

Суммарный процесс взаимного испускания, поглощения, отражения и пропускания энергии излучения в системах тел называется лучистым теплообменом.

Абсолютное черное тело **закон Вина** $\lambda_m(\text{мкм}) = 2,898/(10^3 T)$

Поверхность солнца $T \approx 5800 \text{ K}$ - $\lambda_m = 0,5 \text{ мкм}$

Электронагреватель $T \approx 1100 \text{ K}$ - $\lambda_m = 3,0 \text{ мкм}$

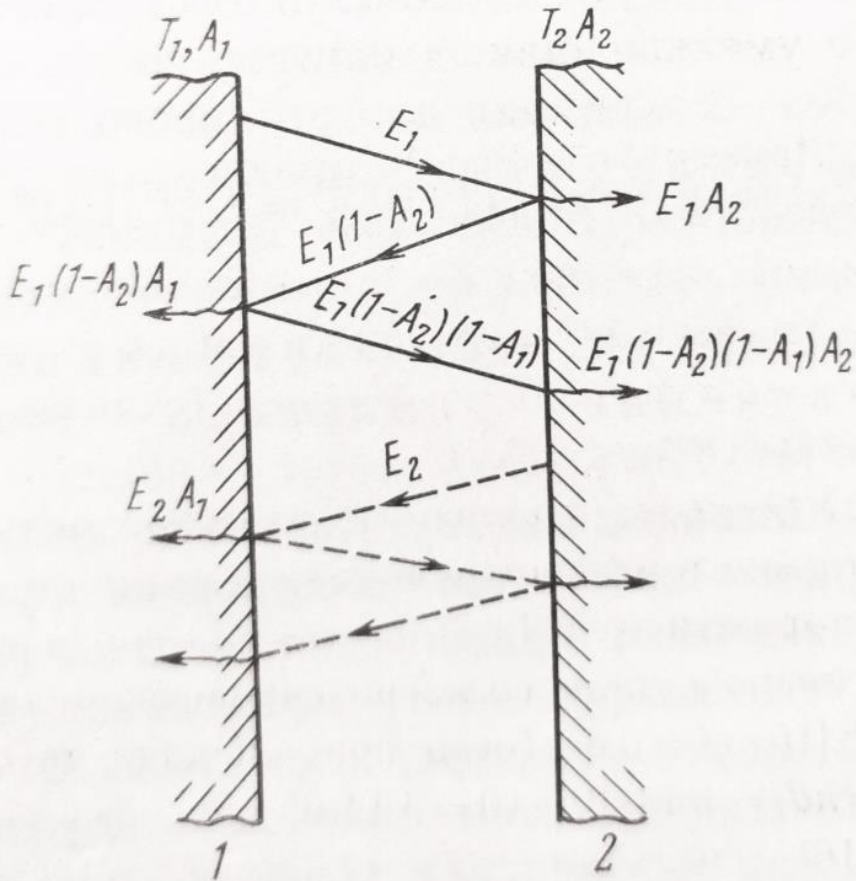
Плотность потока абсолютно черного тела – **закон Стефана-Больцмана**

$$E_0 = \sigma_0 \times T^4$$

$\sigma_0 = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{K}^4)$ – постоянная Стефана Больцмана

Отношение поверхностной плотности потока собственного интегрального излучения E данного тела к поверхности плотности потока интегрального излучения E_0 абсолютно черного тела $\epsilon = E/E_0$ называется степенью черноты этого тела

Теплообмен излучением системы тел в прозрачной среде



$$E_{\text{эф}1} = E_1 + E_{\text{эф}2}(1 - A_1)$$

$$E_{\text{эф}2} = E_2 + E_{\text{эф}1}(1 - A_2)$$

$$q_{12} = E_{\text{эф}1} - E_{\text{эф}2}$$

$$C_0 = \sigma_0 \times 10^8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К}^4)$$

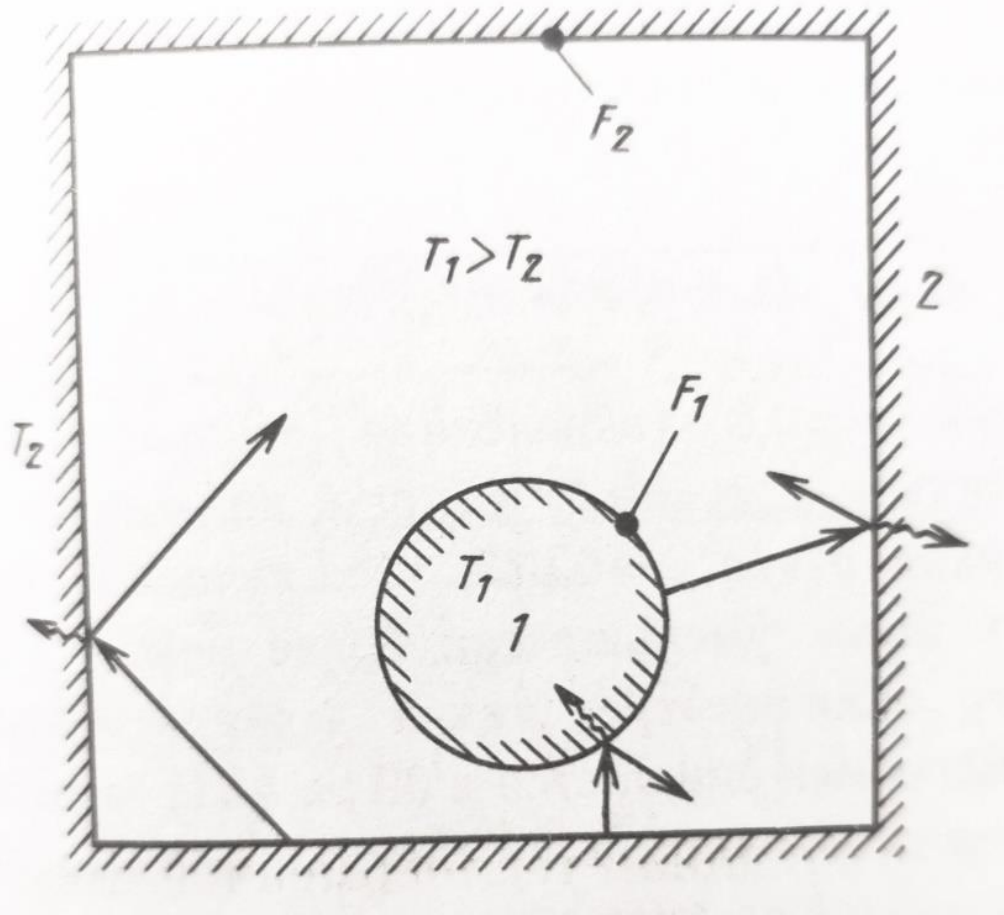
$$\varepsilon_{\text{пр}} = 1 / (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 + 1)$$

Теплообмен между двумя близко расположенными телами с равными площадями.

$$T_1 > T_2 \quad S = 1 \text{ м}^2$$

$$Q_{12} = \varepsilon_{\text{пр}} C_0 F \times \{ (T_1/100)^4 - (T_2/100)^4 \}$$

Лучистый теплообмен между телами в замкнутом пространстве



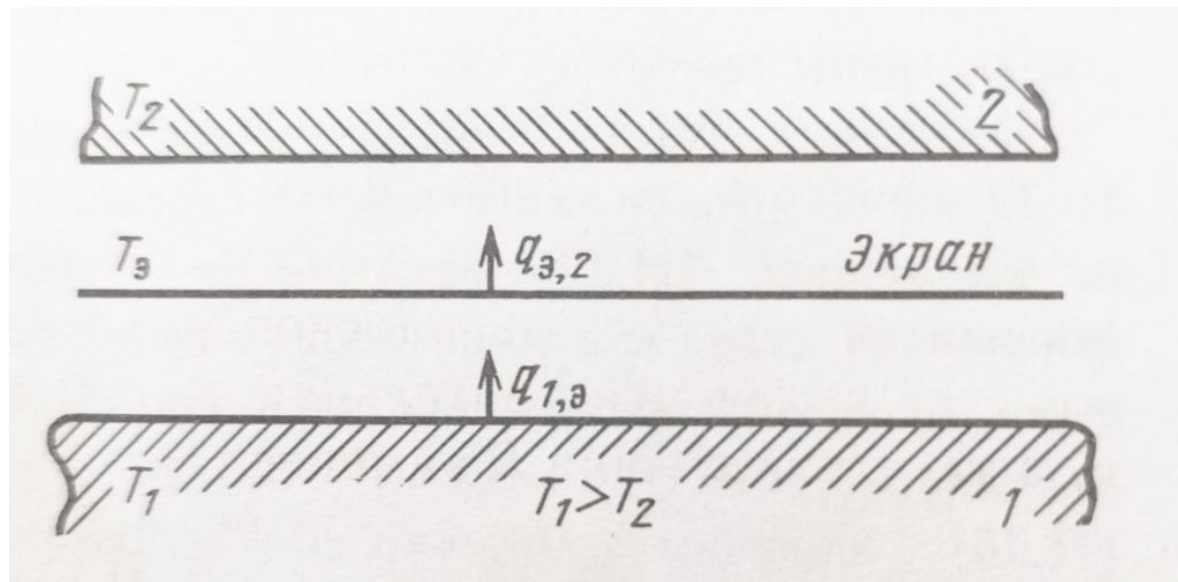
Степень черноты системы

$$\epsilon_{\text{пр}} = 1 / \{ 1 / \epsilon_1 + (1 / \epsilon_2 - 1) \times F_1 / F_2 \}$$

φ_{12} — коэффициент
облученности тела

$$Q_{12} = \varphi_{12} \epsilon_{\text{пр}} C_0 F \times \{ (T_1 / 100)^4 - (T_2 / 100)^4 \}$$

Использование экранов для защиты от излучения



$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_э = \varepsilon$$

$$T_1 > T_2$$

$$\varepsilon_{пр} = 1 / \{2 - \varepsilon\}$$

Лучистый теплообмен между двумя поверхностями через экран

$$q_{1э} = \varepsilon_{пр} C_0 \{ (T_1/100)^4 - (T_э/100)^4 \}$$

$$q_{2э} = \varepsilon_{пр} C_0 \{ (T_э/100)^4 - (T_2/100)^4 \}$$

$$q_{1э} = q_{2э} = 0,5 \varepsilon_{пр} C_0 \{ (T_1/100)^4 - (T_2/100)^4 \}$$

$$\text{без экрана } q_{12} = \varepsilon_{пр} C_0 \{ (T_1/100)^4 - (T_2/100)^4 \}$$

экран уменьшает поток излучения в двое

При установке n экранов с $\varepsilon_{\text{э}} \neq \varepsilon$

$$q_{12}^{\text{э}}/q_{12} = 1/\{(1+n)\varepsilon(2-\varepsilon_{\text{э}})/[\varepsilon_{\text{э}}(2-\varepsilon)]\}$$

При $\varepsilon=0,8$ и 1 экране $\varepsilon_{\text{э}}=0,1$ $q_{12}^{\text{э}}/q_{12}=0,073$ в 13 раз уменьшится

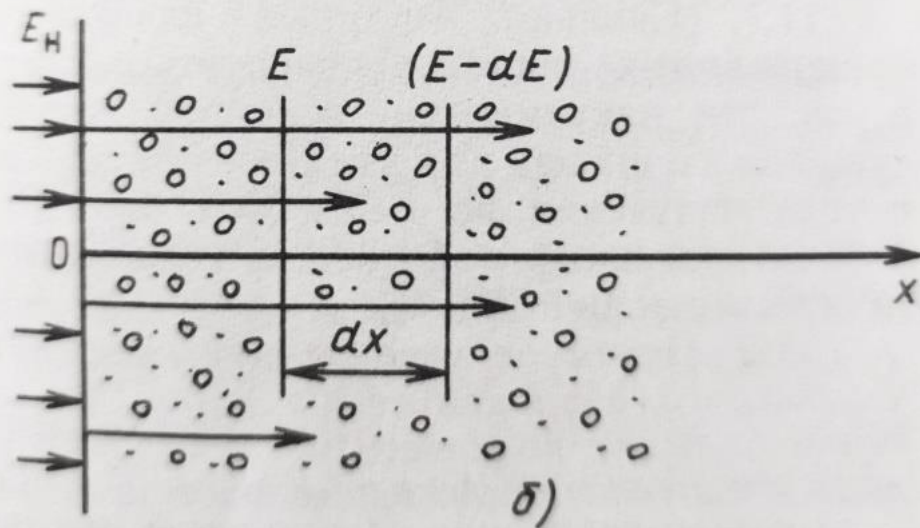
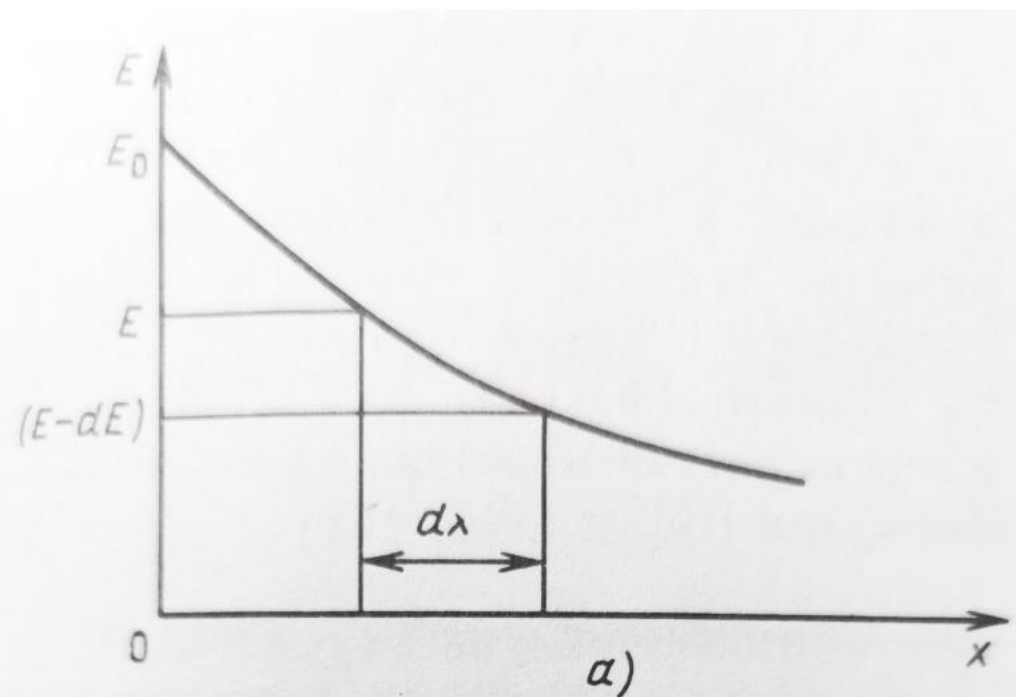
При $\varepsilon=0,8$ и 1 экране $\varepsilon_{\text{э}}=0,1$ $q_{12}^{\text{э}}/q_{12}$ в 39 раз уменьшится



Спутник с многослойными защитными экранами



Перенос лучистой энергии в поглощающей и излучающей среде



$$S_{\text{частиц}} \times n = (\pi d^2/4) \times n$$

$$n_1 = c_4 / \rho_4 \pi d^3 \quad c_4 = [\text{кг/м}^3]$$

$$n = n_1 dx$$

Поглощенная энергия
 $dE = -E \times 1,5 \times (c_4 / (d \times \rho_4)) dx$

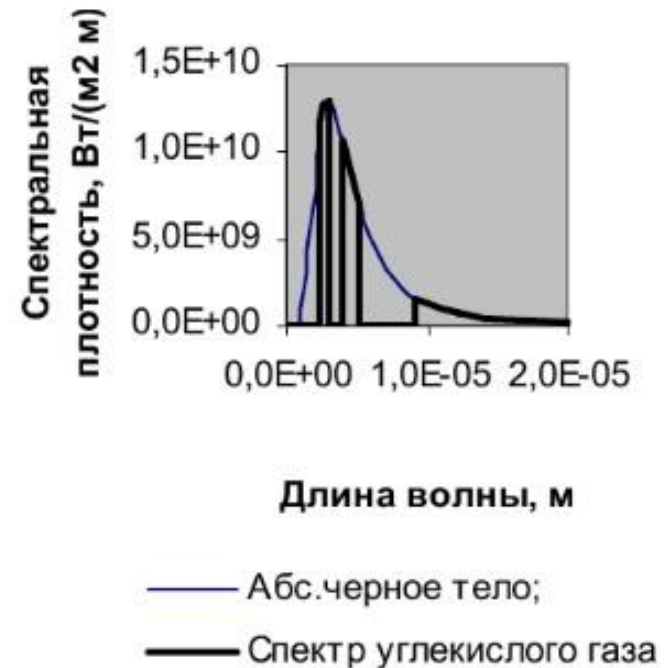
Экспоненциальное
 ослабление излучения в
 лучепоглощающей среде н-ся
законом Бургера

$$E = E_H \times \exp(-(1,5 c_4 / (d \times \rho_4)) x)$$

Излучения газов

Различные газы обладают различной способностью излучать и поглощать энергию. Значительной способностью обладают многоатомные газы: CO_2 , SO_2 , пары H_2O , NH_3 . Это заметно при излучении продуктов сгорания в топках.

Полосы излучения и поглощения, мкм	
CO_2	H_2O
2-3	2,2-3
4-4,9	4,8-8,5
12,5-16,5	12-30



$$\varepsilon_{\Gamma} = \varepsilon_{\text{CO}_2} + \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}}$$

Спектры излучения черного тела и
бесконечного слоя углекислого газа при
 $T=1400 \text{ K}$

Спасибо за внимание!