

# Моделирование лучистого теплообмена

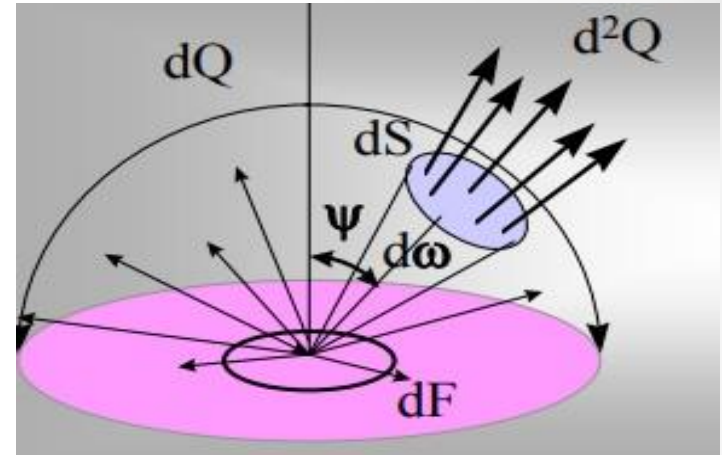
Выполнила студентка  
группы М-ТЭ-18  
Мокроусова И.Е.

# Характеристики излучения

## твердых тел

- Плотность потока излучения:

$$E \equiv \frac{dQ}{dF}, \text{ Вт/м}^2$$



- Спектральная плотность потока излучения:

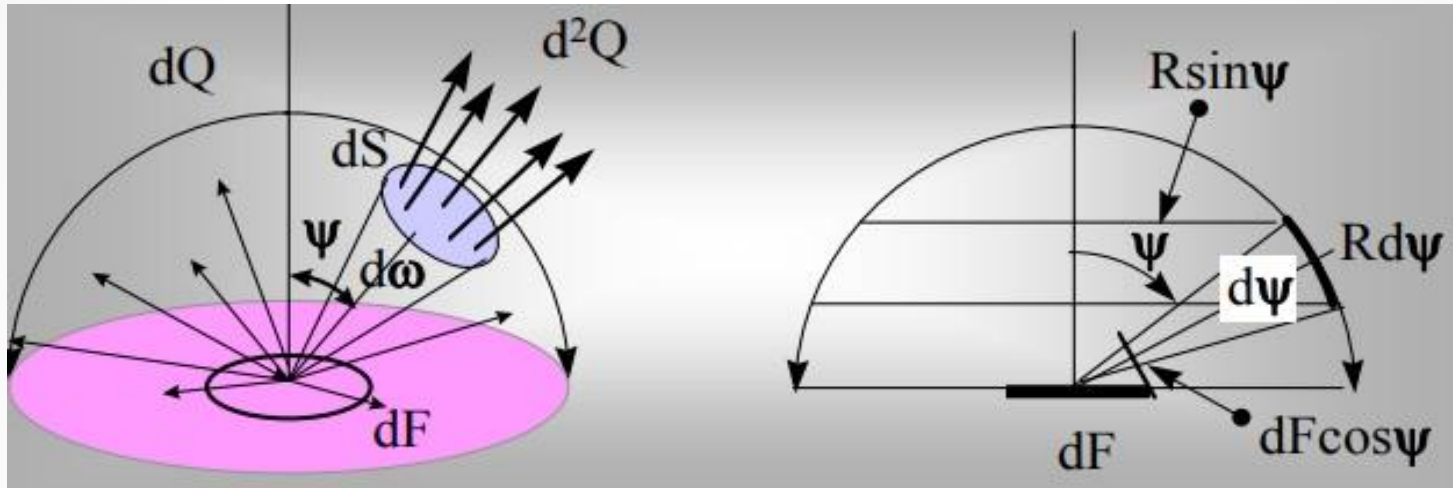
$$E_{\lambda} \equiv \frac{dE}{d\lambda}$$

- Плотность и спектральная плотность потока связаны

соотношением:  $E = \int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda$

- Энергетическая яркость:

$$L \equiv \frac{d^2 Q}{d\omega dF \cos\psi}, \frac{\text{Вт}}{\text{ср м}^2}$$



- Связь плотности потока излучения с энергетической яркостью:

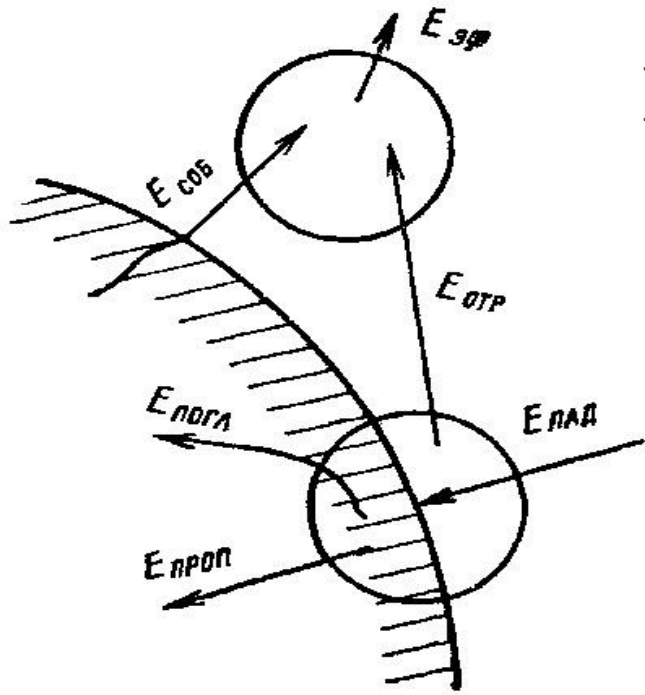
$$L = \frac{E}{\pi}$$

# Закон Ламберта

- Излучение в заданном направлении:

$$d^2Q = \frac{E}{\pi} d\omega dF \cos\psi$$

# Классификация потоков излучения



## излучения

$$E_{\text{погл}} = A E_{\text{пад}},$$

$$E_{\text{отр}} = R E_{\text{пад}},$$

$$E_{\text{проп}} = D E_{\text{пад}},$$

$A$  – коэффициент поглощения,  
 $R$  – коэффициент отражения,  
 $D$  – коэффициент пропускания.

Уравнение теплового баланса:

$$E_{\text{пад}} = E_{\text{погл}} + E_{\text{отр}} + E_{\text{проп}} \quad \text{или} \quad A + R + D = 1$$

Эффективное излучение:

$$E_{\text{эф}} = E_{\text{собс}} + E_{\text{отр}} = E_{\text{собс}} + RE_{\text{пад}}$$

Результирующее излучение:

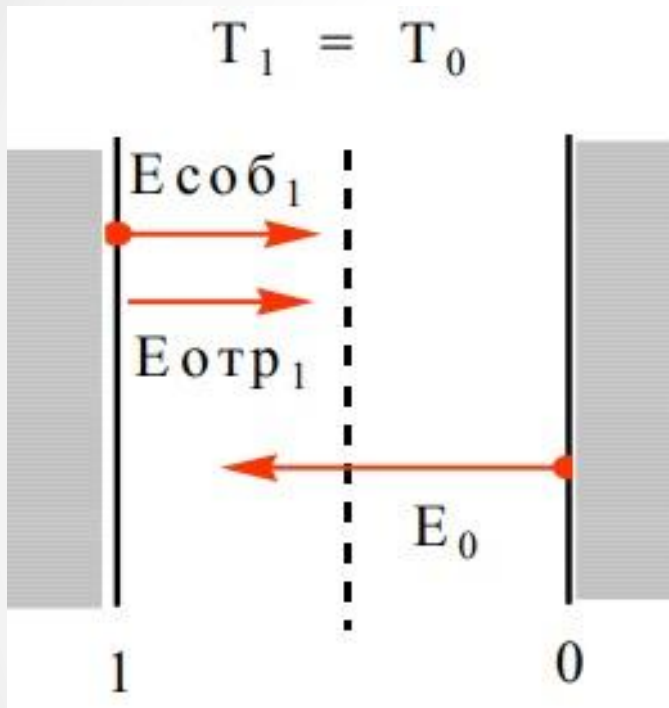
с наружной стороны:

$$E_{\text{рез}} = E_{\text{эф}} - E_{\text{пад}}$$

с внутренней стороны:

$$E_{\text{рез}} = E_{\text{соб}} - E_{\text{погл}} = E_{\text{соб}} - A \cdot E_{\text{пад}}$$

# Закон Кирхгофа



$$E_{\text{рез}\lambda} = (E_{\text{соб}\lambda})_1 - (A_\lambda)_1 \cdot (E_{\text{соб}\lambda})_0 = 0$$

$$(E_{\text{соб}\lambda})_1 = (A_\lambda)_1 \cdot E_{0\lambda}$$

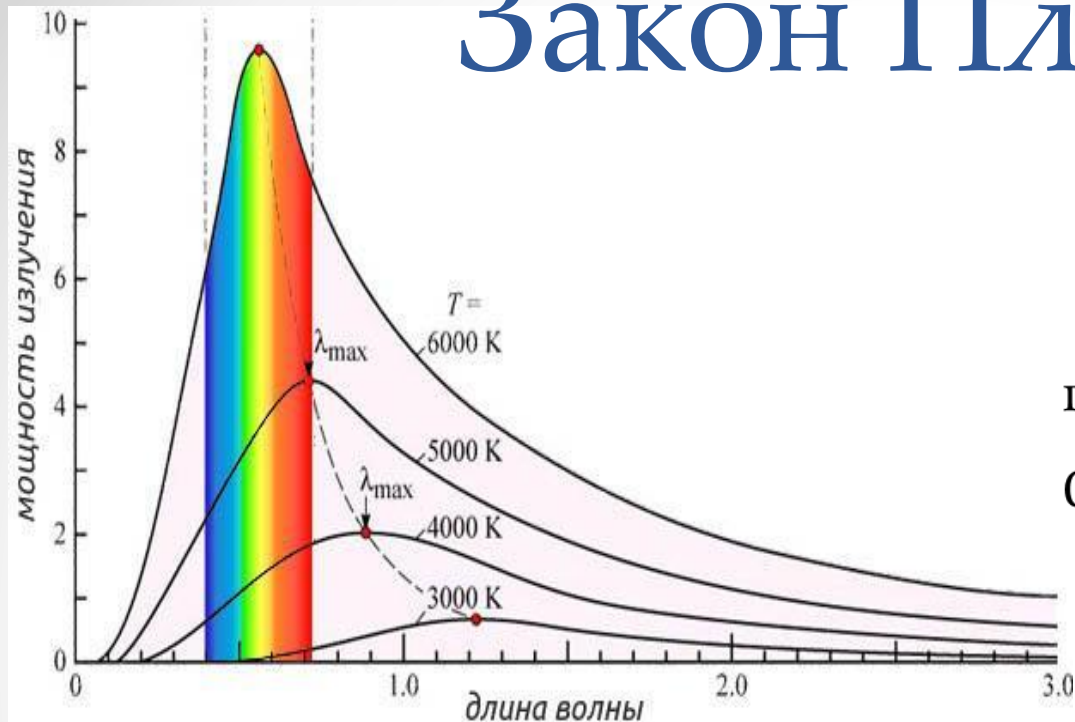
при одинаковой температуре тел

Для интегрального излучения:

$$E_{\text{соб}1} = (A)_1 \cdot E_0$$

при одинаковой температуре тел

# Закон Планка



$$E_{0\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 e^{(C_2/\lambda T)} - 1},$$

где  $C_1 = 3,7412 \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{ м}^2$ ,

$C_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{ К}$

# Закон смещения Вина

$$\lambda_{\text{макс}} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T}, \text{ м}$$



# Закон

## Стефана – Больцмана

$$E_0 = \int_0^{\infty} E_{0\lambda}(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4,$$

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

## Излучение нечерных тел

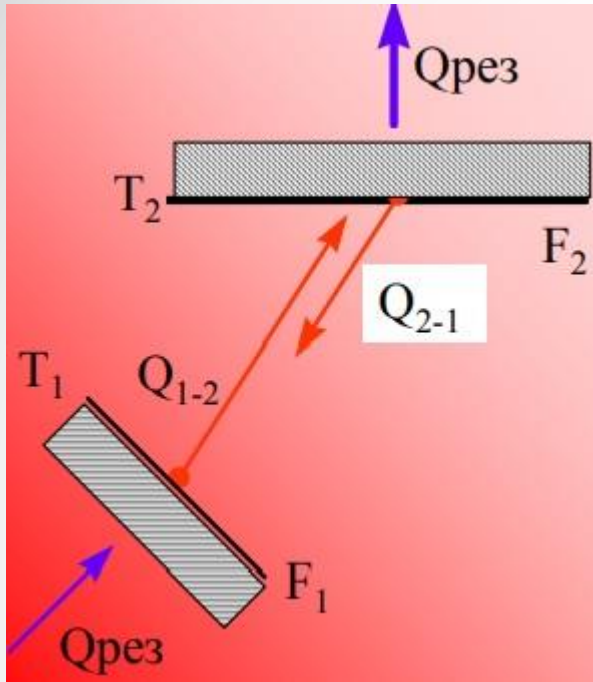
Для плотности потока излучения:

$$E_{\text{соб}}(T) = \varepsilon \cdot E_0(T) = \varepsilon \cdot \sigma T^4$$

$\varepsilon = A$  для серых тел при одинаковой температуре

# Угловой коэффициент

## излучения



$$Q_1 = E_{0,1}F_1, \text{ Вт}$$

$$\varphi_{12} = \frac{Q_{1 \rightarrow 2}}{Q_1}$$

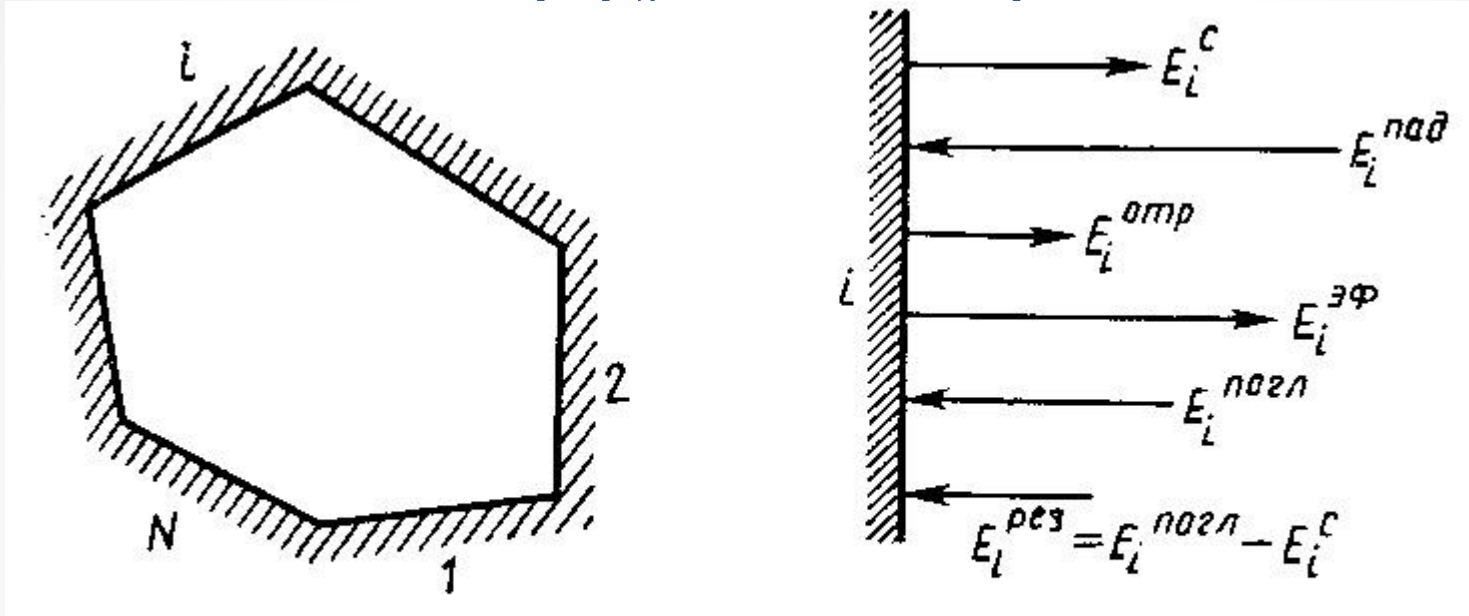
$$Q_{1 \rightarrow 2} = E_{0,1}F_1\varphi_{12}$$

$$Q_{2 \rightarrow 1} = E_{0,2}F_2\varphi_{21}$$

$$Q_{\text{рез}} = Q_{1 \rightarrow 2} - Q_{2 \rightarrow 1} = E_{0,1}F_1\varphi_{12} - E_{0,2}F_2\varphi_{21}$$

$F_1\varphi_{12} = F_2\varphi_{21}$  - свойство взаимности угловых коэффициентов

# Задачи расчета теплообмена в системе серых тел с диффузным отражением



$$E_i^{\text{с}} = \varepsilon_i \sigma T_i^4 S_i$$

$$E_i^{\text{погл}} = A_i E_i^{\text{пад}} = \varepsilon_i E_i^{\text{пад}}$$

$$E_i^{\text{отр}} = R_i E_i^{\text{пад}} = (1 - \varepsilon_i) E_i^{\text{пад}}$$

$$E_i^{\text{пад}} = \sum_{j=1}^N \varphi_{ji} E_j^{\text{эф}}$$

$$E_i^{\text{эф}} = \varepsilon_i \sigma T_i^4 S_i + (1 - \varepsilon_i) \sum_{j=1}^N \varphi_{ji} E_j^{\text{эф}}, i = 1, \dots, N$$

$$[1 - \varphi_{ii}(1 - \varepsilon_i)] E_i^{\text{эф}} - (1 - \varepsilon_i) \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \varphi_{ji} E_j^{\text{эф}} = \varepsilon_i \sigma T_i^4 S_i$$

или  $AE^{\text{эф}} = B$

$$a_{ii} = 1 - \varphi_{ii}(1 - \varepsilon_i), i = 1, \dots, N$$

$$a_{ij} = -(1 - \varepsilon_i) \varphi_{ji}, i, j = 1, \dots, N, i \neq j$$

$$b_i = \varepsilon_i \sigma T_i^4 S_i$$

$$E_i^{\text{рез}} = \varepsilon_i \sum_{j=1}^N \varphi_{ji} E_j^{\text{эф}} - \varepsilon_i \sigma T_i^4 S_i, i = 1, \dots, N$$

# Расчет теплового режима системы тел с лучистым теплообменом

$$c_i \frac{dT_i}{d\tau} = P_i - \sum_{j=1}^N \sigma_{ij} (T_i - T_j) + E_i^{\text{pez}}, i = 1, \dots, N$$

$$D = A^{-1}$$

$$E^{\text{эф}} = DB$$

$$E_i^{\text{эф}} = \sum_{j=1}^N d_{ij} (\varepsilon_j \sigma T_j^4 S_j)$$

$$E_i^{\text{pez}} = \varepsilon_i \left[ \sum_{j=1}^N \varphi_{ji} E_j^{\text{эф}} - \sigma T_i^4 S_i \right]$$

# Используемая литература

- Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В.:  
Применение ЭВМ для решения задач  
теплообмена
- Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.:  
Теплопередача