

# Основы теории передачи теплоты

Основные понятия и определения,  
механизмы переноса тепла.  
Теплопроводность.

# Основные понятия и определения

- Теплота самопроизвольно передается от среды с более высокой температурой к среде с более низкой температурой;
- Тепловые - процессы скорость которых определяется скоростью переноса энергии в форме теплоты;
- Движущая сила – разность температур  $\Delta t$ ;
- Количество переданной теплоты  $Q$ , Дж, кДж;

- Теплообменная поверхность –  $F$ , м<sup>2</sup>;
- Плотность теплового потока - количество теплоты, передаваемой через единицу поверхности в единицу времени:  
 $q=Q/F$ , Вт/м<sup>2</sup>;
- Процесс передачи теплоты – установившийся и неуставившийся:  
 $Q=f(\Delta t, F, \tau \dots)$

# Градиент температуры

- Градиент температуры - это вектор, нормальный к изотермической поверхности и направленный в сторону возрастания температуры. Численно градиент температуры равен производной от температуры по нормали к поверхности:

$$\mathit{grad}t = \lim\left(\frac{\Delta t}{\Delta n}\right) = \frac{dt}{dn}$$

# Способы (механизмы) передачи теплоты

- **Теплопроводность** – перенос энергии микрочастицами (молекулами, ионами, электронами) за счет их «теплого» движения. Носители энергии – микрочастицы, совершающие колебательное движение, процесс протекает на молекулярном уровне;
- **Конвекция** – перемещение в пространстве неравномерно нагретых объемов среды, перенос тепла связан с переносом массы;
- **Тепловое излучение** – перенос тепла от одного тела к другому электромагнитными волнами.

# Теплопроводность

- Закон Био – Фурье - количество тепла, возникающего в теле вследствие теплопроводности при некоторой разности температур в отдельных частях тела, прямо пропорционально градиенту температуры, времени проведения процесса и площади сечения, перпендикулярного направлению теплового потока.

# Закон Био-Фурье

$$dQ = -\lambda \cdot dF \cdot \text{grad} t \cdot dt,$$

где  $dQ$  – количество тепла, Дж;

$\lambda$  - коэффициент пропорциональности,  
коэффициент теплопроводности,  $\frac{Вт}{м \cdot К}$  ;

$\text{grad} t$  – градиент температуры, К/м;

$dt$  – время, с;

$dF$  – поверхность теплообмена,  
перпендикулярная тепловому потоку, м<sup>2</sup>.

# Коэффициент теплопроводности

- Коэффициент теплопроводности - физическая характеристика, способность данного тела проводить тепло.
- Количественно коэффициент теплопроводности равен количеству тепла, проходящего в единицу времени  $t$  через единицу изотермической поверхности  $F$  в стационарном температурном поле, при единичном градиенте температур,:

$$\lambda = \frac{Q}{\text{grad}t \cdot F};$$



- Коэффициент теплопроводности зависит от природы и агрегатного состояния вещества, от температуры и давления.
- Для газов возрастает с повышением температуры и мало зависит от давления;
- для жидкости – уменьшается с увеличением температуры;
- для твердых тел – увеличивается с повышением температуры.

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + b\Delta t)$$

# Дифференциальное уравнение теплопроводности

- Уравнение выводится на основе закона сохранения энергии, считая, что тело однородно и изотропно (одинаковость физических свойств). Физические параметры  $\rho, \lambda, c$  – постоянны.
- Согласно закону сохранения энергии вся теплота внесенная из вне в элементарный объем путем теплопроводности за время  $dt$  идет на изменение внутренней энергии вещества в этом объеме:

$$dQ_{\lambda} = dU$$

$$\left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \cdot a = \frac{\partial t}{\partial \tau}$$

где  $a$  – коэффициент температуроводности, физический параметр вещества, м<sup>2</sup>/с;

$$a = \frac{\lambda}{\rho c}$$

- Уравнение гласит – изменение температуры во времени для любой точки тела пропорционально величине  $a$ .

$$\frac{dt}{d\tau} = a \nabla^2 t + q_u$$

# Уравнение теплопроводности для плоской стенки

- Закон Фурье для стационарного процесса

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\lambda}{\delta}} F$$

- Уравнение теплопроводности для многослойной плоской стенки:

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\sum \left( \frac{\lambda_i}{\delta_i} \right)} F$$

# Уравнение теплопроводности для цилиндрической стенки (для стационарного режима)

- Уравнение теплопроводности цилиндрической однослойной стенки :

$$Q = \frac{\pi \cdot L \cdot \Delta t}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}}$$

- Уравнение теплопроводности многослойной цилиндрической стенки:

$$Q = \frac{\pi \cdot L \cdot \Delta t}{\sum \left( \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \right)}$$



# Лучистый теплообмен

Физические основы

# Лучистый теплообмен

- Процесс распространения тепла в виде электромагнитных волн.
- Все тела обладают способностью излучать энергию, поглощать энергию и превращать ее в тепловую.
- Тепловое излучение имеет одинаковую природу со световым.

# Характеристики теплового излучения

- **Лучеиспускательная способность** – количество энергии, излучаемой единицей поверхности тела в единицу времени во всем интервале длин волн:

$$E = Q_{\text{л}} / (F \tau)$$

- Лучеиспускательная способность абсолютно черного тела пропорциональна абсолютной температуре его поверхности в 4-ой степени (закон Стефана Больцмана):

$$E_0 = K_0 T^4$$

$$E_0 = c_0 \left( \frac{T}{100} \right)^4$$

Где  $K_0$ - константа лучеиспускания абсолютно черного тела,  
 $c_0$ - коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела



# Интенсивность лучистого потока



- Интенсивность общего лучистого потока зависит от 4-ой степени абсолютной температуры излучающего тела, его излучающей способности и степени черноты серого тела:



$$q_{\text{л}} = 5,67 \cdot 10^{-8} \varepsilon T^4 = \varepsilon 5,67 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

# Закон Кирхгофа

- Отношение лучеиспускательной способности тел к их поглощательной способности для всех тел одинаково и равно лучеиспускательной способности абсолютно черного тела при той же температуре:

$$E_0 = E_c / A$$

- 
- 
- Чем выше температура излучающего тела, тем в более короткой области длин волн лежит максимум излучения.
  - Лучистый теплообмен становится заметным по сравнению с конвективным при температуре больше 400 С

- 
- 
- Лучеиспускательная способность газов зависит от объема, вида газа и температуры в степени 3-3,5;
  - Газы излучают объемом;
  - Газы излучают в определенной части спектра;
  - Лучеиспускательная способность смеси газов ниже, чем отдельного газа.