

# Taxa de transferência de energia por calor

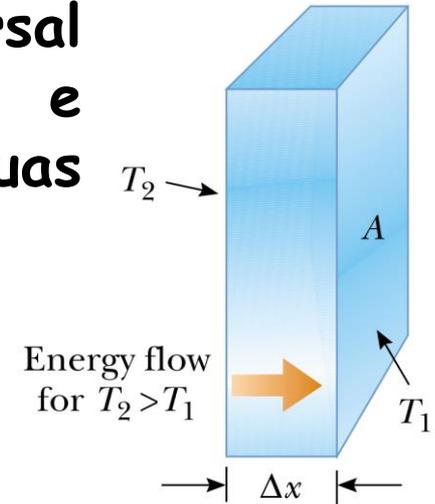
$$P = \frac{Q}{\Delta t}$$

no SI :  $[Q] = J$ ;  $[\Delta t] = s$ ;  $[P] = J / s = W$  (watt)

# Condução

Para um bloco com corte transversal de área  $A$ , espessura  $\Delta x$  e temperaturas  $T_1$  e  $T_2$  em suas faces, têm-se:

$$P_{\text{condução}} \propto A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



Considerando infinitesimais a espessura e a variação de temperatura



$$P_{cd} = kA \frac{dT}{dx}$$

- $k$ : coeficiente de condutibilidade térmica do material
- $dT/dx$ : gradiente de temperatura

no SI :  $[P] = W$ ;  $[A] = m^2$ ;  $[T] = ^\circ C$ ;  $[x] = m$ ;  $[k] = W / m^\circ C$

# Condução – estado estacionário

Para uma barra longa, de comprimento  $L$ , uniforme e isolada (sem escape de calor ao longo de sua superfície, exceto por suas extremidades) em contato térmicos com reservatórios com temperaturas  $T_1$  e  $T_2$ , o estado estacionário é alcançado quando a temperatura em cada ponto ao longo da barra é constante no tempo. Nestas condições:

$$P_{cd} = kA \frac{(T_2 - T_1)}{L}$$

TMDZ3

Processos de

Transmissão de calor

# Alguns valores de k

## Condutividades Térmicas de Algumas Substâncias

Substância	Condutividade Térmica (W/m · °C)
------------	--

### Metais (a 25 °C)

Alumínio	238
Cobre	397
Ouro	314
Ferro	79,5
Chumbo	34,7
Prata	427

### Gases (a 20 °C)

Ar	0,0234
Hélio	0,138
Hidrogênio	0,172
Nitrogênio	0,0234
Oxigênio	0,0238

### Materiais não-metálicos (valores aproximados)

Amianto	0,08
Concreto	0,8
Diamante	2300
Vidro	0,8
Gelo	2
Água	0,6
Madeira	0,08

Fonte:

Serway, Jewett.  
Princípios de Física.  
Volume 2, p. 616

## Condução – Exemplo

Uma janela cuja área é de  $2,0 \text{ m}^2$  é envidraçada com vidro de espessura de  $4,0 \text{ mm}$ . A janela está na parede de uma casa e a temperatura externa é  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . A temperatura no interior da casa é  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- a) Quanta energia é transferida através da janela pelo calor em  $1,0 \text{ h}$ ?
- b) Se a energia elétrica custa R\$  $0,30$  por kwh, quanto custa para repor com aquecimento elétrico a transferência de energia calculada no item anterior?

# Condução – Exemplo - Resolução

a)

$$P = kA \frac{(T_2 - T_1)}{L} = 0,8.2. \frac{(25 - 10)}{4.10^{-3}} = 6.10^3 W \Rightarrow$$

$$Q = P.\Delta t = 6.10^3.3,6.10^3 = 2.10^7 J$$

b)

$$Q = 2.10^7 J = 6kWh \Rightarrow \text{Custo} : 6x0,3 = R\$1,80.$$

# Convecção

- **Natural:** movimento do fluido provocado pela diferença de densidades
  
- **Forçada:** movimento do fluido forçado por uma fonte externa (bomba, vento, ventilador, etc.):

# Convecção e temperatura

Em ambos os casos, a taxa de transferência de calor depende da diferença de temperatura entre a superfície sendo resfriada e o fluido, bem como de uma constante que, embora empiricamente determinada, depende do coeficiente de expansão térmica do material e de sua viscosidade:

- Convecção natural:  $P_{cv} \propto (T_2 - T_1)^{1,25}$
- Convecção forçada:  $P_{cv} \propto (T_2 - T_1)$

# Convecção – pele/ar

No caso do resfriamento da pele pela convecção do ar, têm-se, aproximadamente:

$$P_{cv} = k_{cv} \cdot A \cdot (T_{pele} - T_{ar})$$

• *no SI* :

$$[P] = W; \quad [T] = ^\circ C; \quad [k] = W / m^2 \cdot ^\circ C$$

• em unidades usuais :

$$[P] = kcal / h; \quad [T] = K; \quad [k] = kcal / m^2 \cdot h \cdot K$$

**Exemplo:** Estando o corpo em repouso, se a velocidade do vento for de 5 m/s, a constante  $k_{cv}$  valerá:  $k_{cv} \cong 2,5 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot K$

## Convecção – pele/ar - Exemplo

Considere uma criança nua, com uma área exposta ao ar de  $0,9 \text{ m}^2$ , num meio ambiente em que a temperatura do ar seja de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , com vento de velocidade  $5 \text{ m/s}$ . Nestas condições, qual a perda de calor do corpo por unidade de tempo, devido à convecção?

Resolução:

$$P_{cv} = 2,5 \cdot 0,9 \cdot 14 = 32 \text{ kcal/h}$$

# Irradiação

$$P_{ir} = \sigma A e T^4$$

- $\sigma$ : constante de Stefan-Boltzmann igual a  $5,6696 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
- $e$ : emissividade do corpo (grandeza adimensional variando de 0 a 1)
- $A$ : área da superfície do corpo
- $T$ : temperatura da superfície do corpo em kelvins

# Irradiação – taxa resultante

Como ao mesmo tempo em que irradia, o corpo também absorve radiação eletromagnética, a taxa resultante de variação da energia para o corpo ( $P_{ir\_R}$ ) em consequência da radiação dependerá de sua temperatura,  $T$ , e da temperatura de sua vizinhança,  $T_0$ :

$$P_{ir\_R} = \sigma Ae(T^4 - T_0^4)$$

**OBS:** Estado estacionário  $\Rightarrow$  Situação em que o corpo está em equilíbrio com sua vizinhança, irradiando e absorvendo energia à mesma taxa, com sua temperatura permanecendo constante.

# Irradiação – exemplo

Estime a ordem de grandeza da temperatura do filamento de uma lâmpada incandescente de 100 W quando está ligada.

Dados:  $e = 1$ ; filamento com 10 cm de comprimento e raio de 0,05 mm

Resolução:

$$P_{ir} = \sigma AeT^4 \Rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{P}{\sigma Ae}}$$

$$\Rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{100}{5,7 \cdot 10^{-8} \cdot 3 \cdot 10^{-5} \cdot 1}} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ K}$$