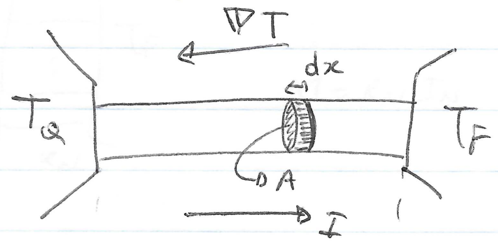
# TRANSFERÊNCIA ~~CONDUÇÃO~~ DE CALOR

3 TIPOS: CONDUÇÃO, CONVECÇÃO, IRRADIAÇÃO

- CONDUÇÃO (ANÁLOGO À CONDUÇÃO ELÉTRICA)

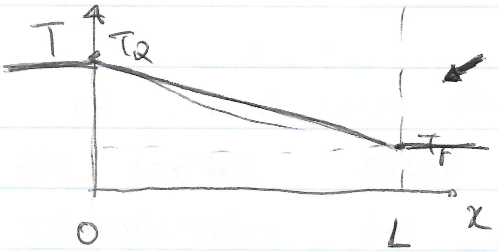
$$I \equiv \frac{dQ}{dt} = -KA\frac{dT}{dx}$$ (CORRENTE TÉRMICA)




(1D)

EM 3D

$$\boxed{\vec{I} = \frac{d\vec{Q}}{dt} = -KA\nabla T}$$




SOLUÇÃO PARA K E AREA CONSTANTES

$$\rightarrow I = \frac{dQ}{dt} = -\frac{KA}{L}(T_F - T_Q)$$

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{KA}{L}\Delta T$$

$\frac{\Delta Q}{\Delta t} \equiv I \rightarrow$ CORRENTE TÉRMICA $\left[\frac{\text{ENERGIA}}{\text{TEMPO}}\right]$

$\Delta T = T_Q - T_F \equiv$ DIFERENÇA DE POTENCIAL TÉRMICO [TEMPERATURA]

$\frac{KA}{L} \equiv$ CONDUTÂNCIA TÉRMICA $\left[\frac{\text{ENERGIA}}{\text{TEMPO} \cdot \text{TEMPERATURA}}\right] = \left[\frac{\text{POTÊNCIA}}{\text{TEMPERATURA}}\right]$

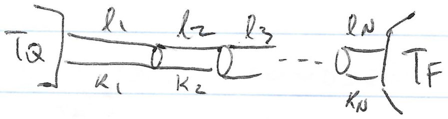
$K \equiv$ CONDUTIVIDADE TÉRMICA $\left[\frac{\text{ENERGIA}}{\text{TEMPO} \cdot \text{COMPRIMENTO} \cdot \text{TEMPERATURA}}\right] = \left[\frac{\text{POTÊNCIA}}{\text{COMP} \cdot \text{TEMPER}}\right]$

| | $K\ \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ |
|---|---|
| AR | $2.6\ 10^{-2}$ |
| ISOLANTES | $10^{-1} \sim 10^{0}$ |
| METAIS | $50 \sim 500$ |

$$\Delta T = RI$$ (LEI DE OHM)

$$R = \frac{L}{KA}$$

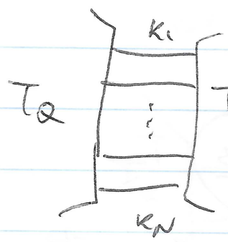
ARRANJOS EM SÉRIE




$\frac{dQ}{dt} = $ cte AO LONGO DO FIO

$\Delta T_i = T_i - T_{i+1} = R_i I \rightarrow T_Q - T_F = \sum \Delta T_i = RI$, $\boxed{R = \sum_i R_i}$

- EM PARALELO




$\Delta T = R_1 I_1$

$\vdots$

$\Delta T = R_N I_N$

$\rightarrow \frac{\Delta T}{R_i} = I_i \rightarrow \Delta T = RI$

$\Delta T = R(I_1 + \cdots + I_N)$

$= R\left(\frac{\Delta T}{R_1} + \cdots + \frac{\Delta T}{R_N}\right)$

$\Rightarrow \boxed{\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \cdots + \frac{1}{R_N}}$

LEI DE WIEDEMANN - FRANZ

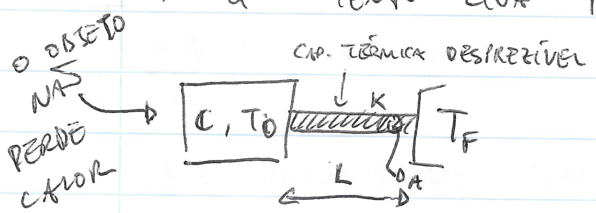
- EM METAIS, CALOR E ELETRICIDADE SÃO TRANSPORTADOS POR ELÉTRONS

$$\frac{K}{\sigma} = LT$$

COND. ELÉTRICA $\longrightarrow \sigma$

NR. DE LORENTZ $= 2.44 \times 10^{-8} \frac{W\Omega}{K^2} = \frac{\pi^2}{3}\left(\frac{k_B}{e}\right)^2$

EX: Q^to TEMPO LEVA P/ ESQUENTAR UM OBJETO POR CONDUÇÃO?




$\frac{dQ}{dt} = -KA\frac{dT}{dx} = -\frac{KA}{L}(T_F - T)$

MAS $dQ = C\,dT \Rightarrow \frac{dT}{dt} = \frac{KA}{CL}(T - T_F)$

$\Rightarrow \int_{T_0}^{T} \frac{dT}{T - T_F} = \frac{KA}{CL} dt = \frac{dt}{\tau}$, $\tau = \frac{CL}{KA}$

$\Rightarrow -\ln\left|\frac{T_F - T}{T_F - T_0}\right| = t/\tau \Rightarrow T_F - T = (T_F - T_0)e^{-t/\tau}$

$$\boxed{T = T_F - (T_F - T_0)e^{-t/\tau}}$$

– CONVECÇÃO

BASTANTE COMPLICADO MATEMATICAMENTE

O CALOR É ~~LEVADO~~ TRANSPORTADO RAPIDAMENTE PELO PRÓPRIO FLUIDO:

$$\nabla T \rightarrow \nabla \rho \rightarrow \nabla P$$

(MOVIMENTO FLUXO)

1 – $\frac{dQ}{dt} \propto$ ÁREA (RADIADORES)

2 – VISCOSIDADE RETARDA $dQ/dt$

3 – $\frac{dQ}{dt} \propto (\Delta T)^{5/4}$

– IRRADIAÇÃO:

$$\frac{dQ}{dt} = \underbrace{A}_{\text{ÁREA SUPERFICIAL}}\ \underbrace{e}_{\substack{\text{EMISSIVIDADE}\\ 0<e<1}}\ \sigma\, T^4 \quad \text{(LEI DE STEFAN-BOLTZMANN)}$$

$\sigma$ → CONSTANTE DE STEFAN-BOLTZMAN $= 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$

• UM CORPO EMITE E ABSORVE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

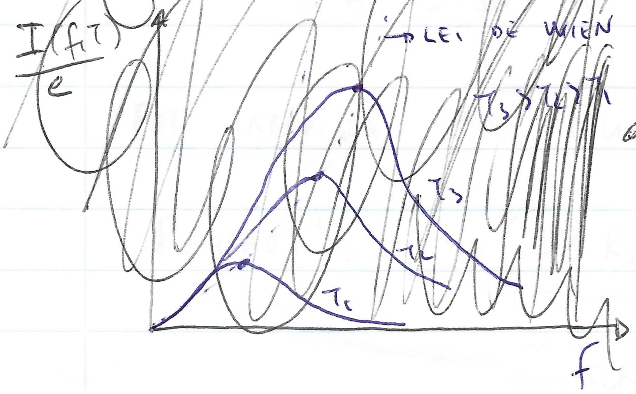
$$\left.\frac{dQ}{dt}\right|_{ABSORVIDA} = A e \sigma T_0^4 \, , \quad T_0 \equiv \text{TEMP. AMBIENTE}$$

$$\left.\frac{dQ}{dt}\right|_{EMITIDA} = A e \sigma T^4 \, , \quad T \equiv \text{TEMP. DO CORPO}$$

$$P_{RESULTANTE\ IRRADIADA} = A e \sigma \left( T^4 - T_0^4 \right)$$

COMO É A RADIAÇÃO EMITIDA POR UM CORPO NEGRO? ($e = 1$ EMISSIVIDADE)

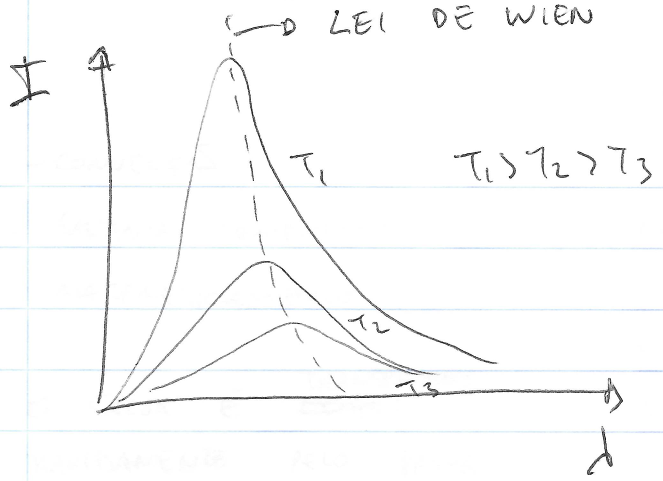
~~$I(f,T)\,df = \frac{2hf^3}{c^2} \frac{df}{e^{\frac{hf}{k_BT}}-1} \times e$ = INTENSIDADE DA LUZ IRRADIADA PERPENDICULARMENTE À ÁREA DO CORPO~~




LEI DE PLANCK

$$d\lambda\, d\Omega\, I(\lambda,T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} d\lambda\, d\Omega$$

≡ INTENSIDADE DA "LUZ" IRRADIADA PERPENDICULARMENTE À ÁREA DO CORPO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO DE ONDA E ÂNGULO SÓLIDO




$$\boxed{\lambda_{máx} \simeq \frac{2.9\ mm\cdot K}{T}}$$

COMO OBTER A LEI DE WIEN?

$$\frac{\partial I}{\partial \lambda_{máx}} = 0 \rightarrow$$

$$\lambda_{máx} \approx \frac{hc}{5 k_B T}$$

EX: SUPONDO QUE O SOL EMITA COMO UM CORPO NEGRO, SENDO $\lambda_{máx} \approx 500\ nm$ (VERDE) QUAL É A TEMP. DE CORPO NEGRO DO SOL?

$$T = \frac{2.9\ 10^6\ nm\cdot K}{500\ nm} \simeq 5800\ K$$

COMO OBTER A LEI DE STEFAN-BOLTZMANN?

$$\frac{1}{A}\frac{dQ}{dt}\Big|_{EMITIDO} = \int I(\lambda,T)\, d\lambda\, d\Omega \cos\theta = \frac{2\pi (k_B T)^4}{c^2 h^3} \underbrace{\int_0^\infty dx \frac{x^3}{e^x - 1}}_{\pi^4/15}$$

$$= \sigma T^4$$

$$\sigma = \frac{2\pi^5}{15}\frac{k_B^4}{c^2 h^3} = 5.67 \cdot 10^{-8}\ \frac{W}{m^2 K^4}$$

EX: POTÊNCIA (TOTAL) IRRADIADA PELO SOL

$$\frac{dQ}{dt} = P = e A \sigma T^4 \simeq 1 \times 4\pi \underbrace{(6.9\ 10^8\ m)}_{\approx 700.000\ km}{}^2\ 5.67\ 10^{-8}\ \frac{W}{m^2 K^4} \times (5800\ K)^4$$

$$\approx 6{,}33 . 10^{27}\ W$$

POT. IRRADIADA POR UMA ANÃ-BRANCA

$$P = eA\sigma T^4 \approx 1 \times 4\pi \big(\underbrace{1\%\ R_{SOL}}_{\approx \text{RAIO DA TERRA}}\big)^2 \times \sigma \times (\underbrace{10\,000\ K}_{\text{VARIA BASTANTE}})^4 \approx 5.6\ 10^{24}\ W$$