

Física do calor

F.S. Navarra

navarra@if.usp.br

edisciplinas.if.usp.br

monitor: Matheus Lazarotto

edifício central Ala I sala 228

matheus_jean_l@hotmail.com

monitoria: sala 211 edifício central

terça feira: 12:00 - 13:00

quarta feira: 18:00 - 19:00

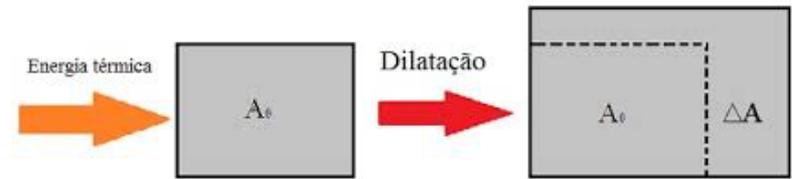
Dilatação Linear



$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

$$L = L_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

Dilatação Superficial



$$\Delta A = 2 \alpha A_0 \Delta T$$

$$A = A_0 [1 + 2 \alpha (T - T_0)]$$

Dilatação Volumétrica



$$\Delta V = 3 \alpha V_0 \Delta T$$

$$V = V_0 [1 + 3 \alpha (T - T_0)]$$

O que é calor ?

Resposta no final do século XVIII :

Lavoisier :

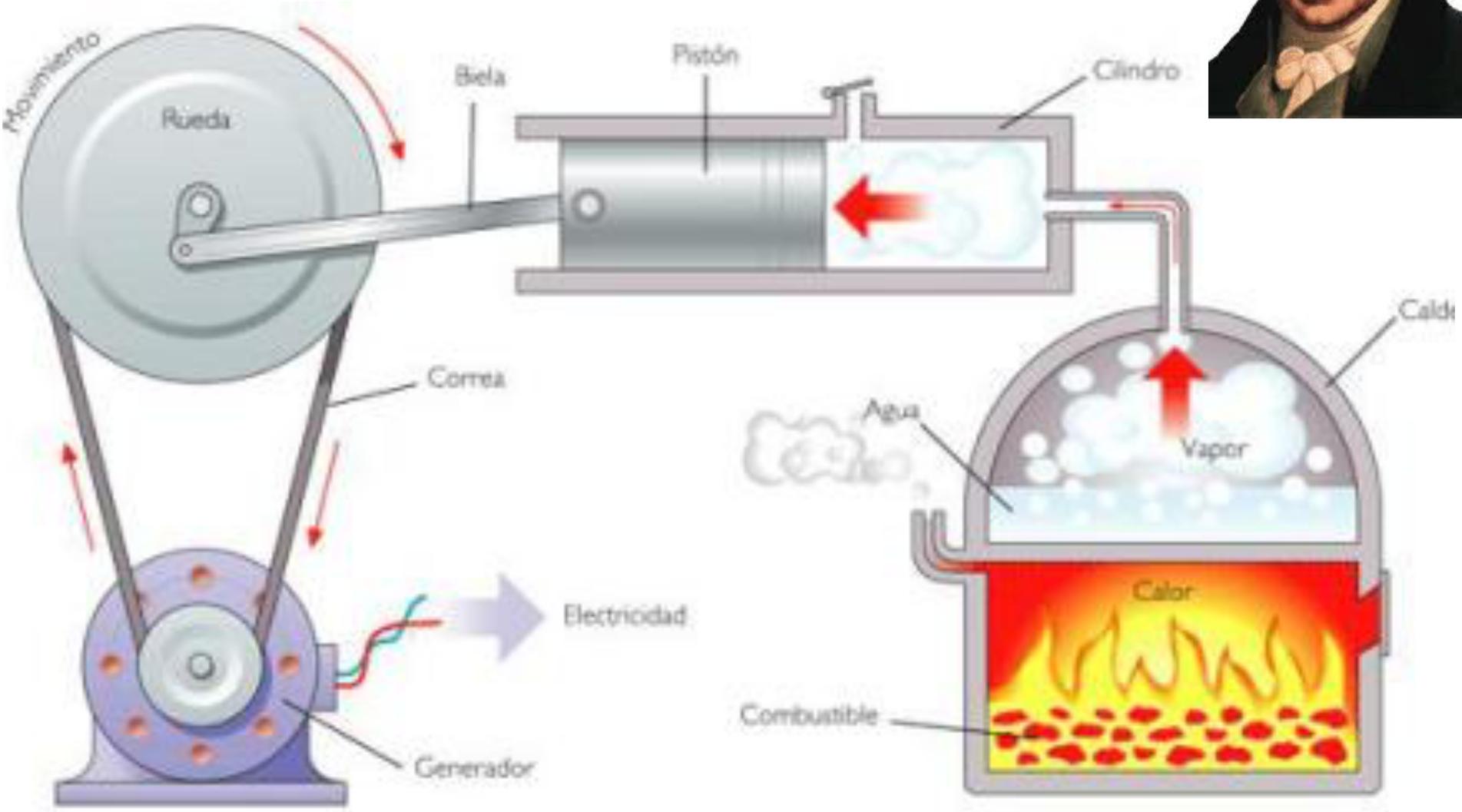
~~Calórico: substância fluida indestrutível
que escorre do corpo mais quente para o
corpo mais frio~~

Bacon, Hooke
B. Thomson :

Movimento de vibração das partículas
dos corpos

Calor produz energia mecânica

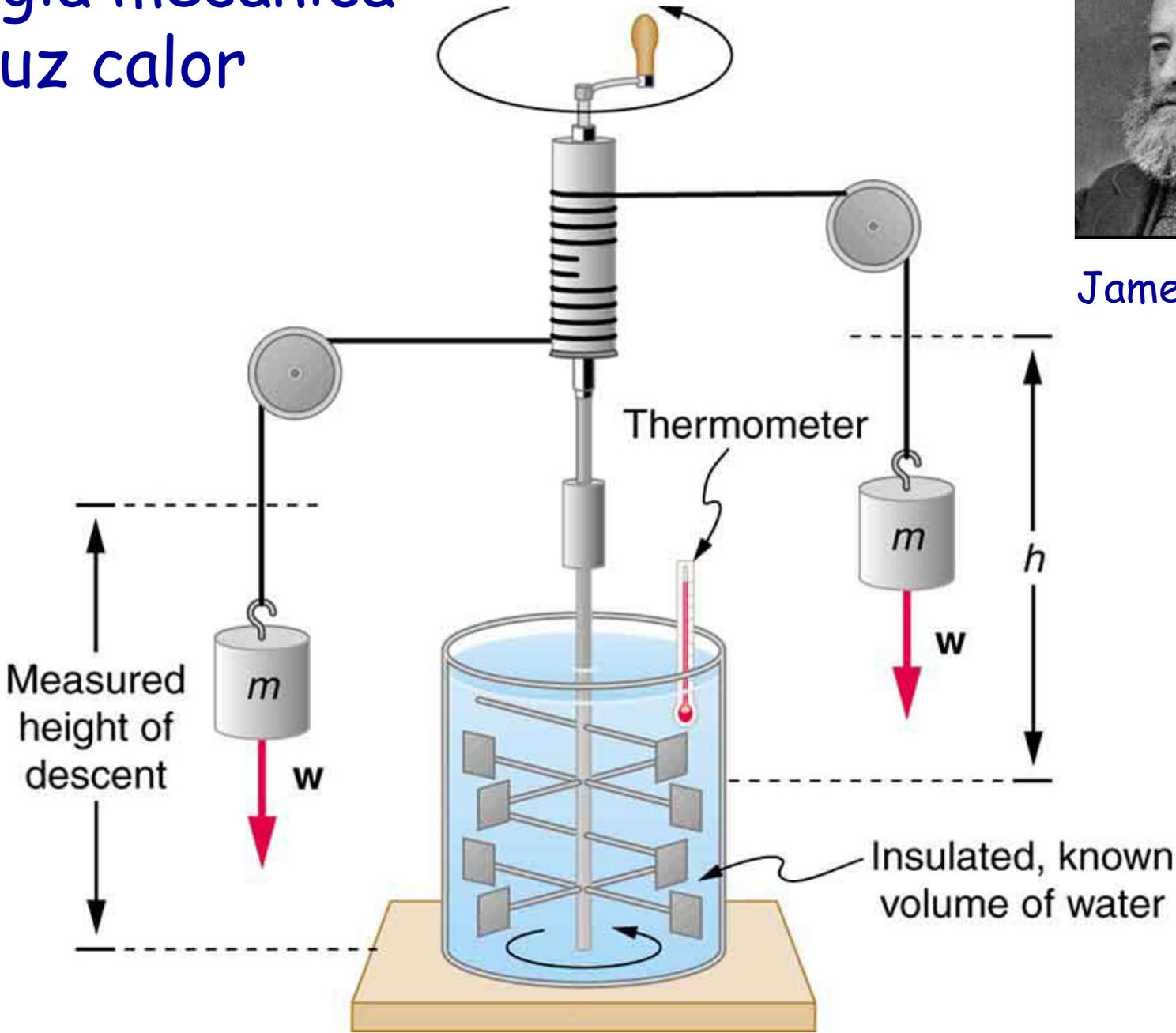
James Watt



Energia mecânica produz calor



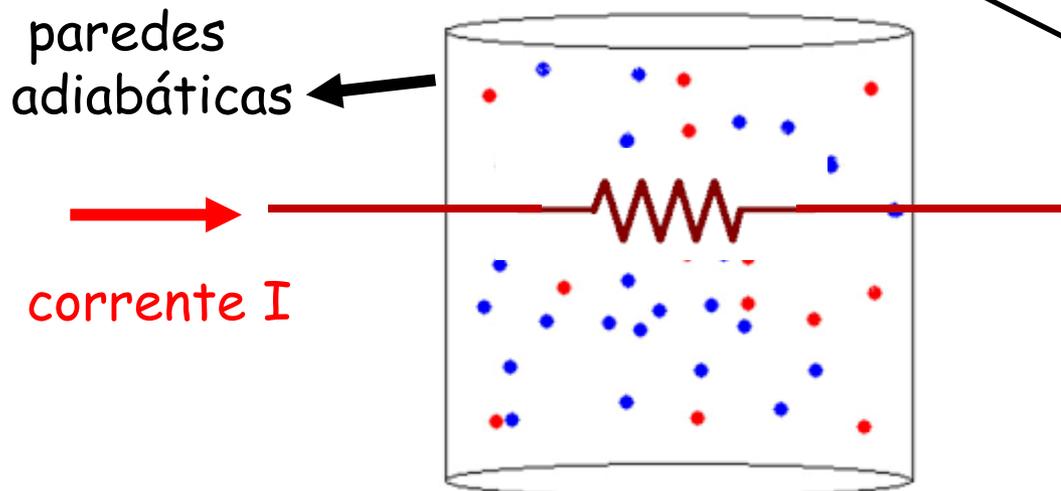
James Joule



Equivalente mecânico do calor

Da experiência de Joule: 1 caloria = 4.186 Joule

Exemplo: Uma resistência de $68\ \Omega$ é imersa em 1 l de água. Quando se faz passar uma corrente de 1A, a temperatura da água sobe de 1°C por minuto. Qual o valor correspondente do equivalente mecânico da caloria dado por essa experiência?



Moyses Nussenzeig

Calor é uma
forma de energia !

A energia é sempre
sempre conservada !

Calor é medido em **calorias**

Caloria = quantidade de calor necessária para elevar de 14.5 °C a 15.5 °C a temperatura de 1 g de água

Calor específico c = quantidade de calor necessária para elevar de 1 °C a temperatura de 1 g de uma substância

Capacidade térmica C : $C = mc$

Capacidade térmica molar (C_M) = capacidade térmica de um mol da substância

$$\Delta Q = m c \Delta T$$

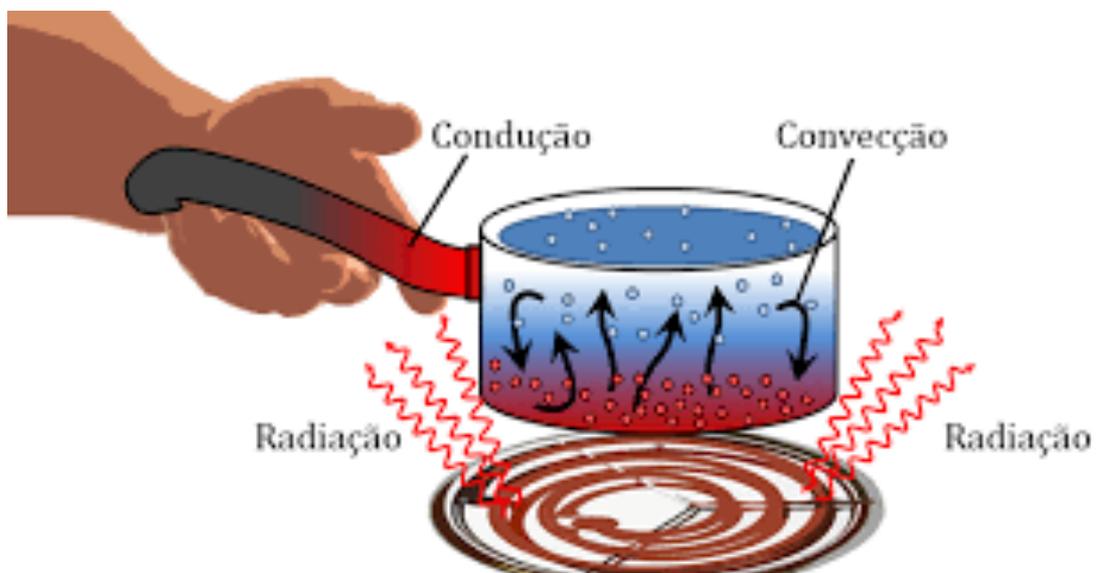
Transferência de calor

Convecção : calor transferido pelo movimento das moléculas
há transporte de matéria !

Radiação : emissão de radiação eletromagnética ("luz")
não há transporte de matéria !

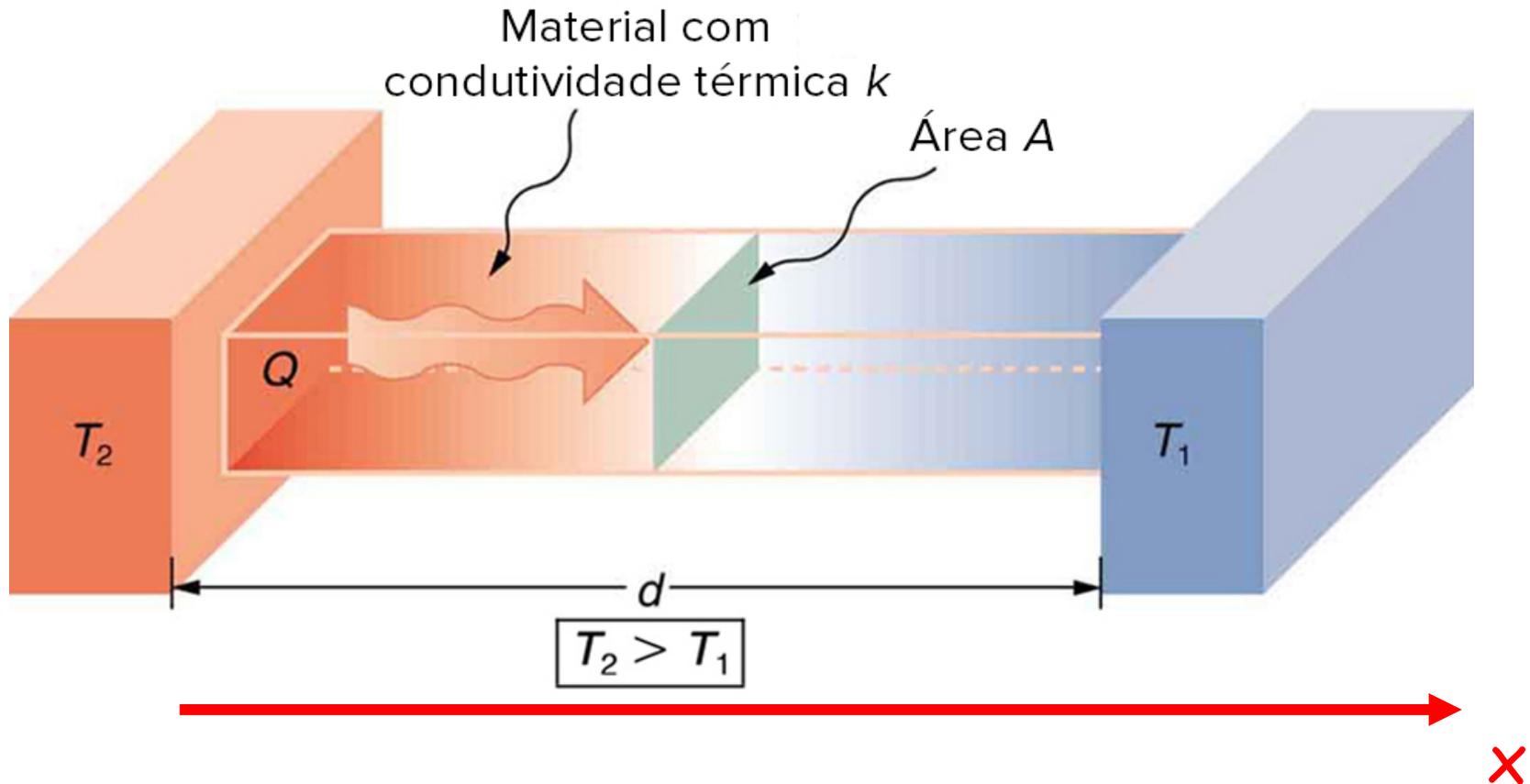
Condução : através de um meio material
não há transporte de matéria !

Energia cinética ("agitação") é transmitida
de vizinho para vizinho !



Condução de Calor

Condução de calor



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -k A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -k A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Quando os intervalos de tempo e espaço são infinitesimais:

$$\frac{dQ}{dt} = -k A \frac{dT}{dx}$$

No regime estacionário a temperatura não muda com o tempo:

$$\frac{dT}{dx} = \text{constante no tempo}$$

$$\frac{dQ}{dt} = \text{constante no tempo}$$

$$\frac{dT}{dx} = \text{constante em } x = \alpha$$

Integrando a última equação:

$$T = \alpha x + \beta$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x = 0 \rightarrow T = T_2 \\ x = L \rightarrow T = T_1 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \beta = T_2 \\ \alpha = -\frac{T_2 - T_1}{L} \end{array}$$

$$T = -\frac{T_2 - T_1}{L} x + T_2$$

$$\frac{dT}{dx} = -\frac{T_2 - T_1}{L}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dQ}{dt} = -k A \frac{dT}{dx} \\ \frac{dT}{dx} = -\frac{T_2 - T_1}{L} \end{array} \right.$$



$$\frac{dQ}{dt} = k A \frac{T_2 - T_1}{L}$$

Fluxo de calor constante

1ª Lei da Termodinâmica

Processo adiabático : não há troca de calor

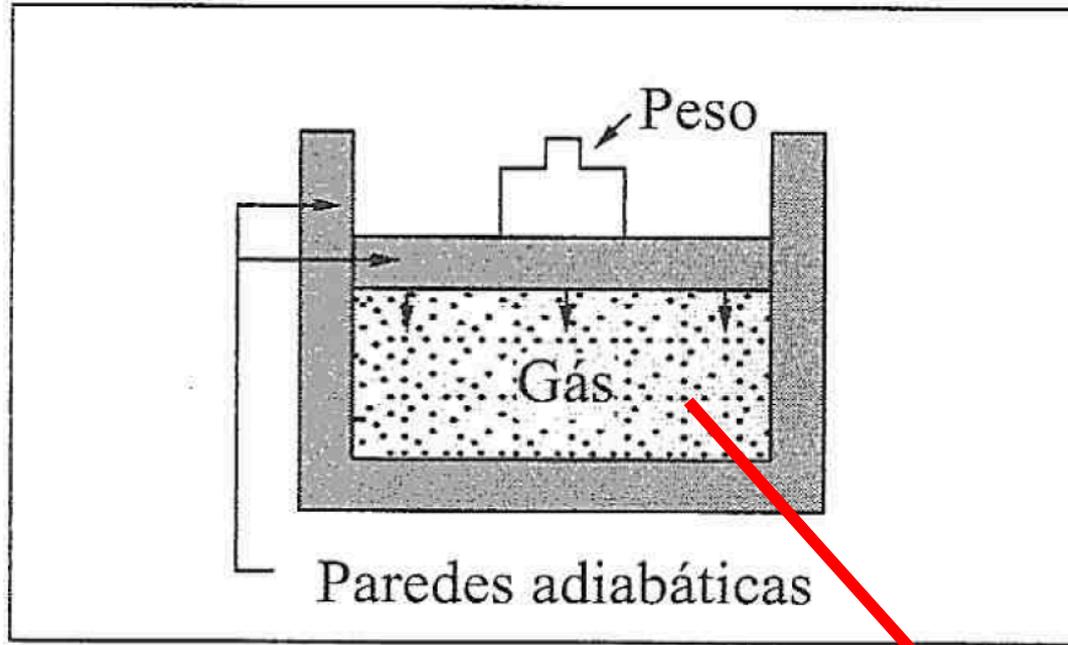
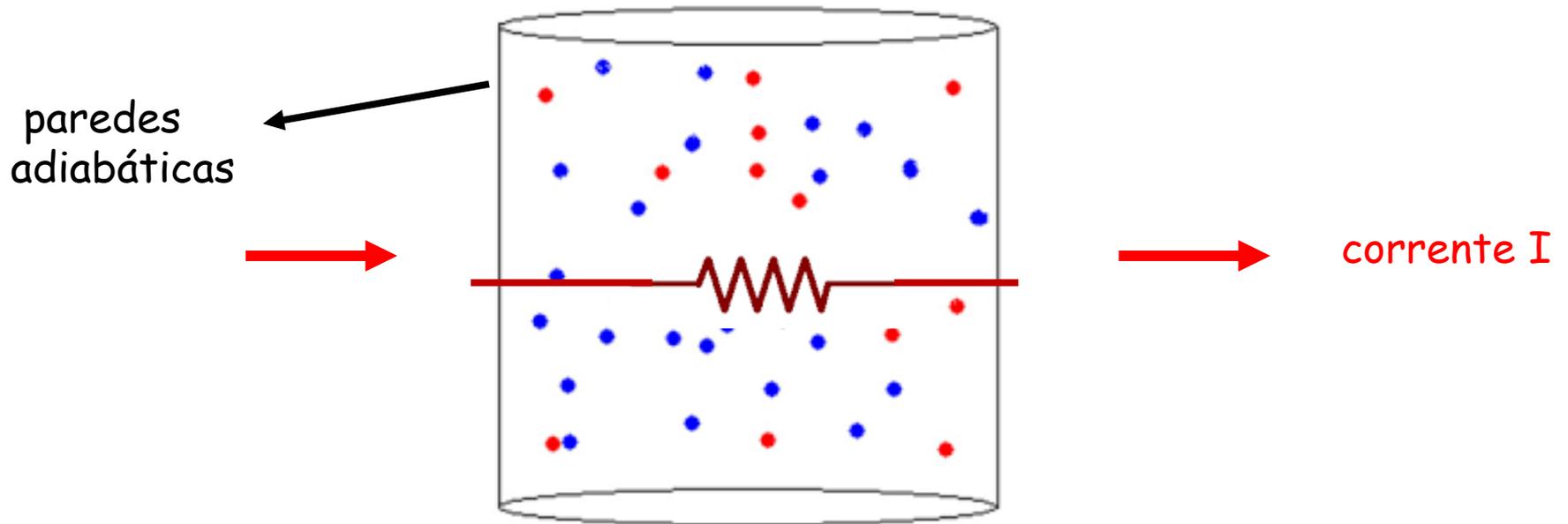


Figura 8.5 — Trabalho adiabático

Observamos o aquecimento do gás

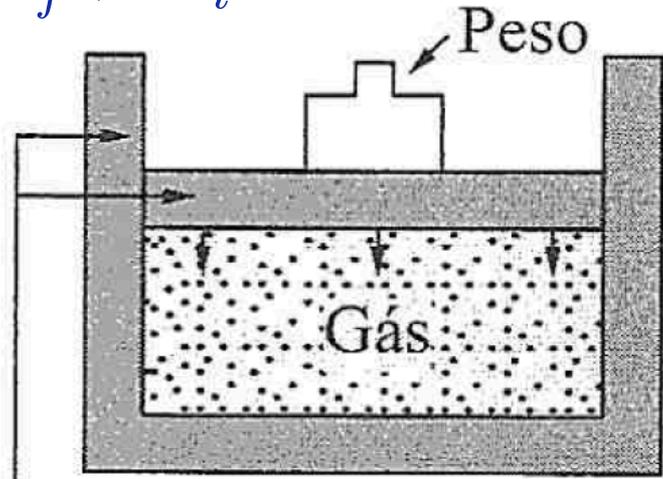
Processo adiabático : não há troca de calor



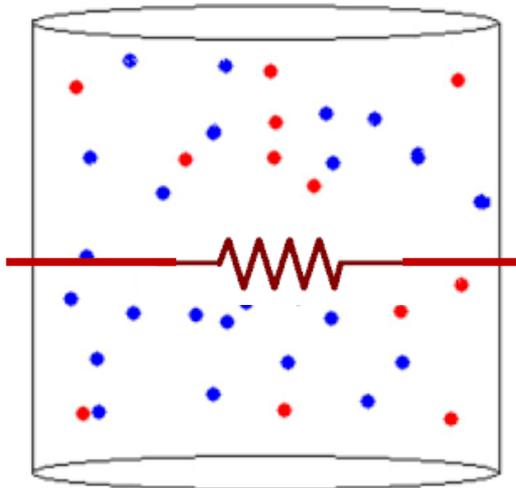
Observamos um aumento de temperatura : efeito Joule

Processo adiabático : não há troca de calor

$$T_f > T_i$$



Paredes adiabáticas



$$T_f > T_i$$

Diagrama pressão X volume

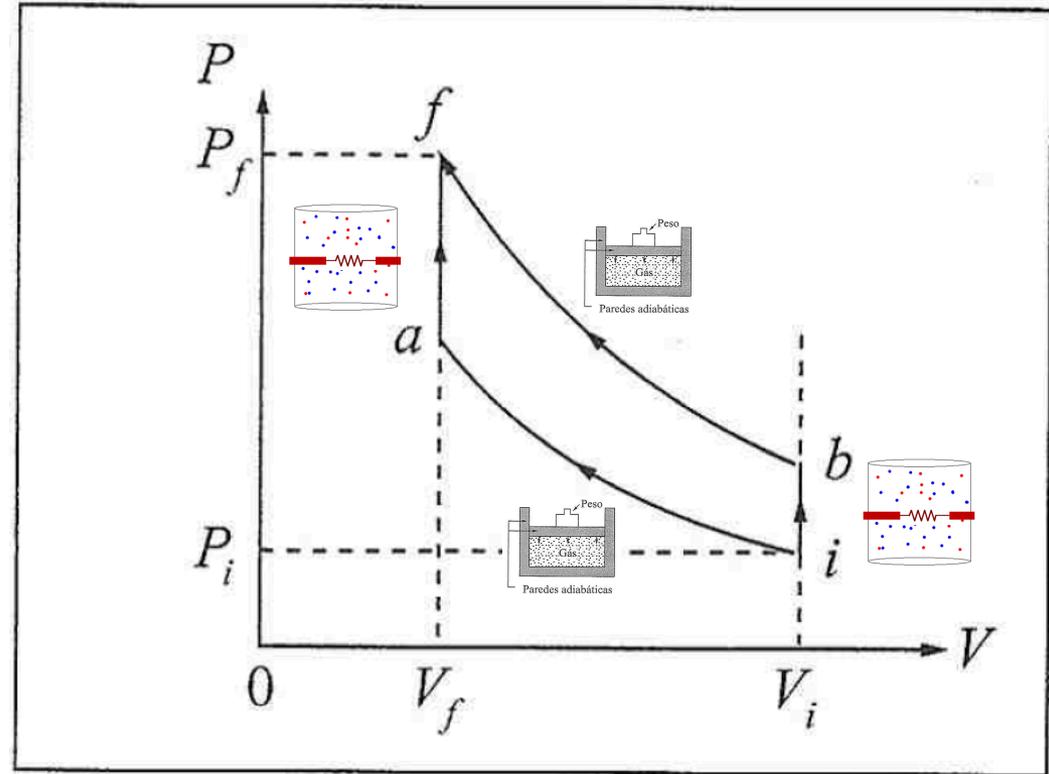


Figura 8.6 — Caminhos diferentes

Processo adiabático : não há troca de calor

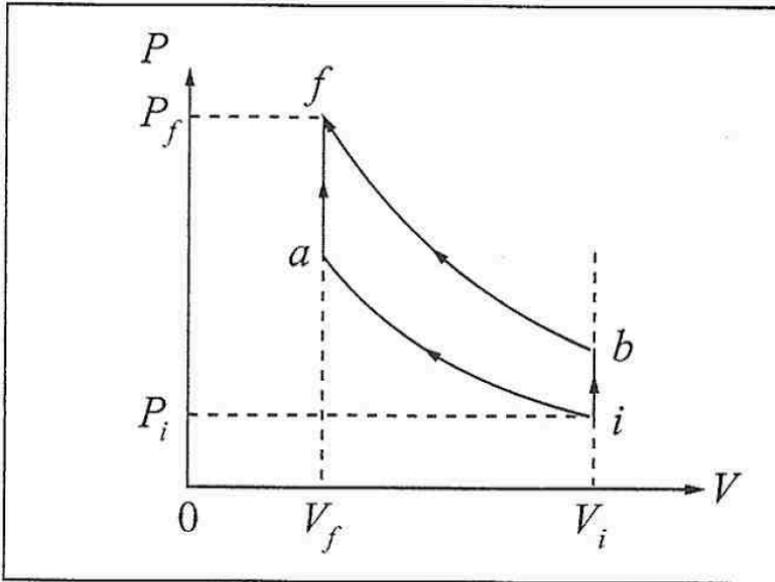


Figura 8.6 — Caminhos diferentes

Para levar o gás de i a f
gastamos **energia**,
fazemos **trabalho** !

O trabalho é o mesmo
em $i - a - f$ e em $i - b - f$!!!
Só depende de i e f !!!

Cada ponto representa um **estado termodinâmico** !!!

Energia Interna U

Em mecânica: trabalho não depende do caminho !
Então existe uma função V de posição: **energia potencial**

Em termodinâmica: trabalho não depende do caminho !
Então existe uma função U do estado: **energia interna**

$$\Delta U = U_f - U_i = -W_{i \rightarrow f}$$

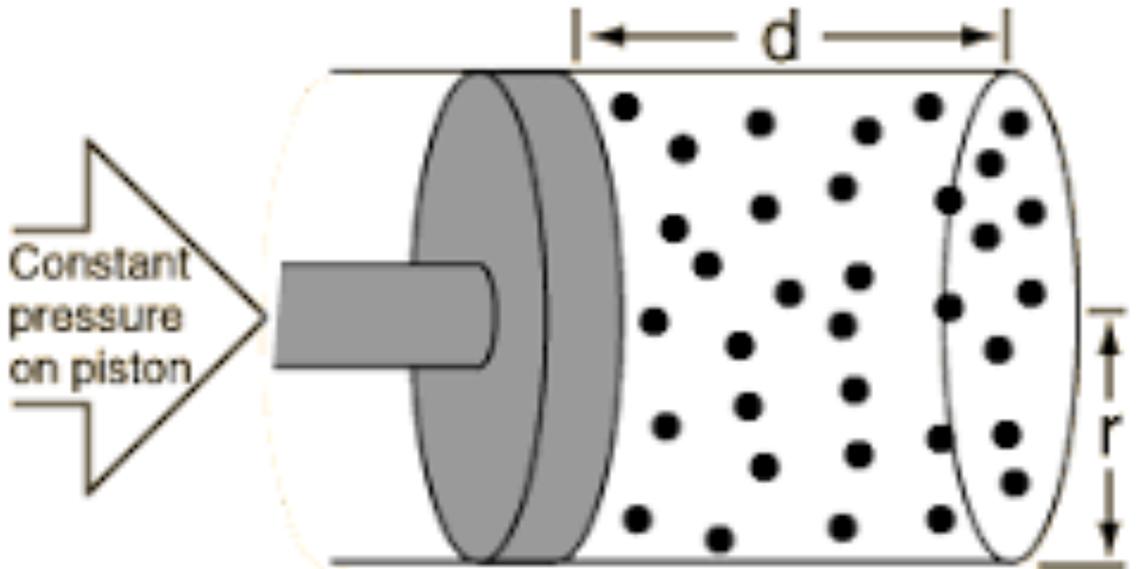
(Processos Adiabáticos)

Trabalho implica
variação de volume !!!

$$W = p \Delta V = p (V_f - V_i)$$

$$dW = p dV$$

Pressão constante
na "tampa"



Trabalho feito
sobre o gas

Work done on gas:

$$W = Fd = \left[\frac{F}{A} \right] [Ad] = P\Delta V$$

$$W = p(V_f - V_i) \left\{ \begin{array}{ll} V_f > V_i & W_{i \rightarrow f} > 0 \\ V_f < V_i & W_{i \rightarrow f} < 0 \end{array} \right.$$

Processos não-adiabáticos: troca de calor

$$V_f = V_i$$

$$W_{i \rightarrow f} = 0$$

$$T_f > T_i$$

$$U_f > U_i$$

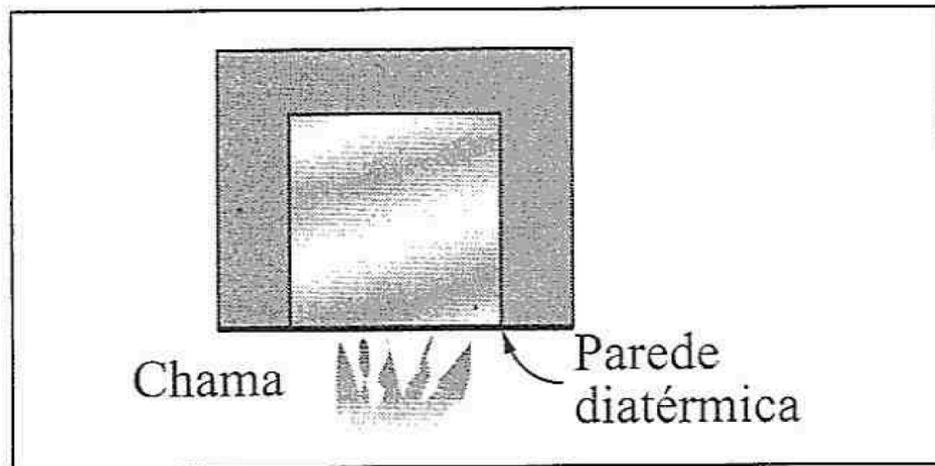


Figura 8.7 — Fornecimento de calor

$$V_f > V_i$$

$$W_{i \rightarrow f} > 0$$

$$T_f = T_i$$

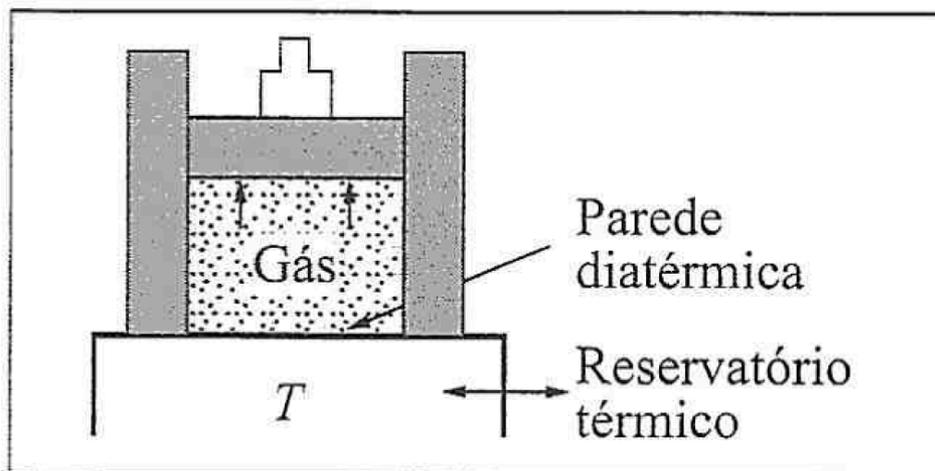
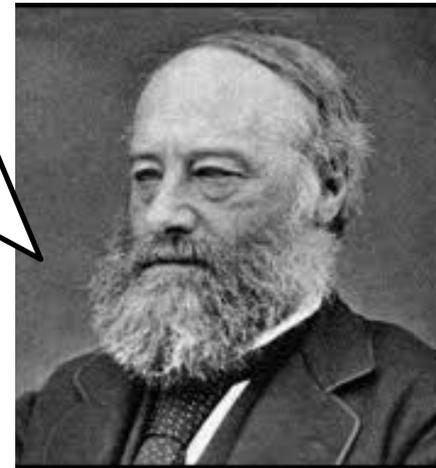


Figura 8.8 — Expansão isotérmica

1ª Lei da Termodinâmica:

$$Q = \Delta U + W_{i \rightarrow f}$$

Conservação da energia !!!



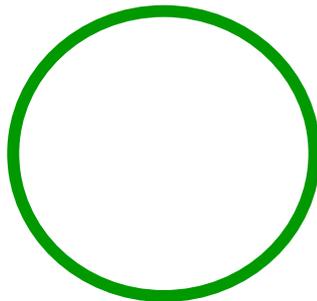
Exercícios

Problemas do capítulo 7

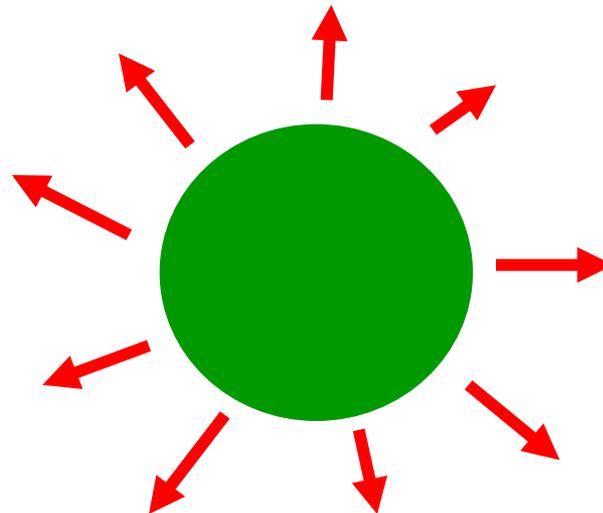
1 – Uma esfera oca de alumínio tem um raio interno de 10 cm e raio externo de 12 cm a 15°C. O coeficiente de dilatação linear do alumínio é $2,3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$. De quantos cm^3 varia o volume da cavidade interna quando a temperatura sobe para 40°C? O volume da cavidade aumenta ou diminui?

$$\Delta V = V_0 \cdot 3\alpha \cdot \Delta T = [(4/3) \cdot \pi \cdot r^3] \cdot 3 \cdot (2,3 \cdot 10^{-5}) \cdot (40 - 15) = 2,3 \cdot \pi \cdot r^3, \text{ com } r = 10 \text{ cm}$$

$$\Delta V = 7,225 = 7,3 \text{ cm}^3$$



=



2 – Uma barra retilínea é formada por uma parte de latão soldada em outra de aço. A 20°C , o comprimento total da barra é de 30 cm, dos quais 20 cm de latão e 10 cm de aço. Os coeficientes de dilatação linear são $1,9 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ para o latão e $1,1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ para o aço. qual o coeficiente de dilatação linear da barra?

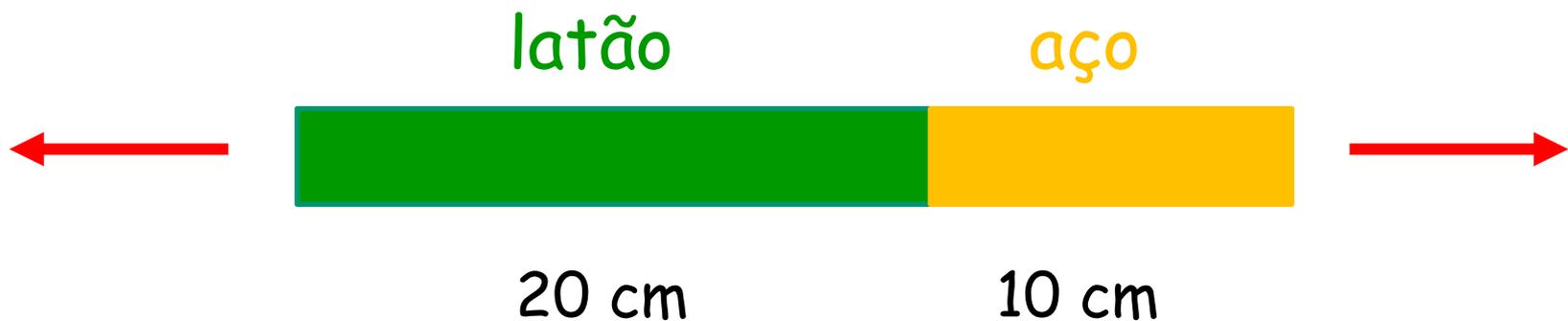
Para uma dada temperatura T: $\Delta T = T - T_0$

$$\left. \begin{aligned} \Delta L_L &= L_{0L} \cdot \alpha_L \cdot \Delta T = 20 \cdot 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta T \\ \Delta L_A &= L_{0A} \cdot \alpha_A \cdot \Delta T = 10 \cdot 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta T \end{aligned} \right\} \quad \text{(I)}$$

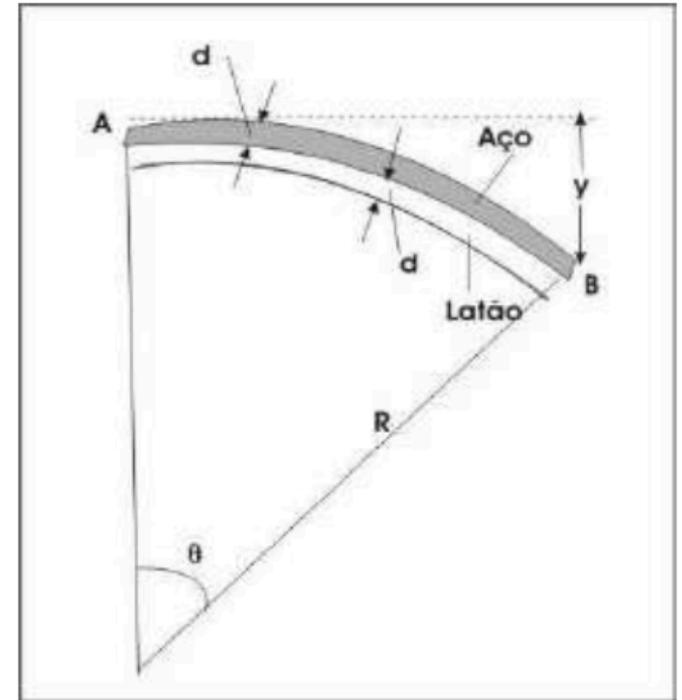
$$\Delta L = \Delta L_L + \Delta L_A = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad \text{(II)}$$

Somando (I) e substituindo em (II):

$$49 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta T = 30 \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad \Rightarrow \quad \alpha = 1,63 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$$



3 - Uma tira bimetálica, usada para controlar termostatos, é constituída de uma lâmina estreita de latão, de 2 mm de espessura, presa lado a lado com uma lâmina de aço, de mesma espessura $d = 2$ mm, por uma série de rebites. A 15°C , as duas lâminas têm o mesmo comprimento, igual a 15 cm, e a tira está reta. A extremidade A da tira é fixa; a extremidade B pode mover-se, controlando o termostato. A uma temperatura de 40°C , a tira se encurvou, adquirindo um raio de curvatura R, e a extremidade B se deslocou de uma distância vertical y. Calcule R e y, sabendo que o coeficiente de dilatação linear do latão é $1,9 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ e o do aço é $1,1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$.

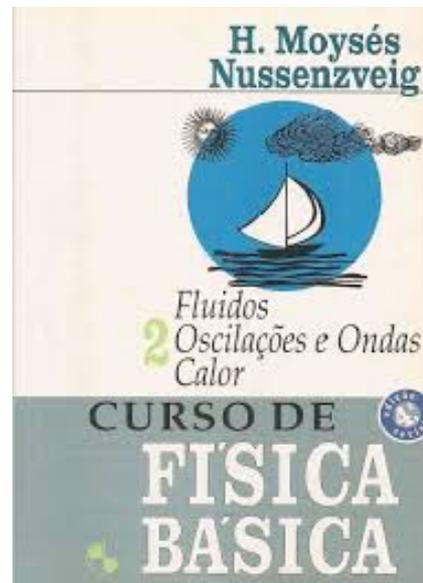


$$\begin{aligned}
 \text{D)} \quad & \begin{cases} \Delta L = L_o \alpha_l \Delta T \Rightarrow L_l = L_o (1 + \alpha_l \Delta T) = 15,007125 \text{ cm} \\ \Delta L = L_o \alpha_a \Delta T \Rightarrow L_a = L_o (1 + \alpha_a \Delta T) = 15,004123 \text{ cm} \end{cases} \\
 & \theta = \frac{L_l}{R} = \frac{L_a}{R - d} \Rightarrow L_l (R - d) = L_a R \Rightarrow R = \frac{d L_l}{L_l - L_a} \\
 & \therefore R = \frac{3,00285}{0,00300} \Rightarrow \boxed{R = 10 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

Fim

Aula 4

Revisão, 1ª Lei e exercícios



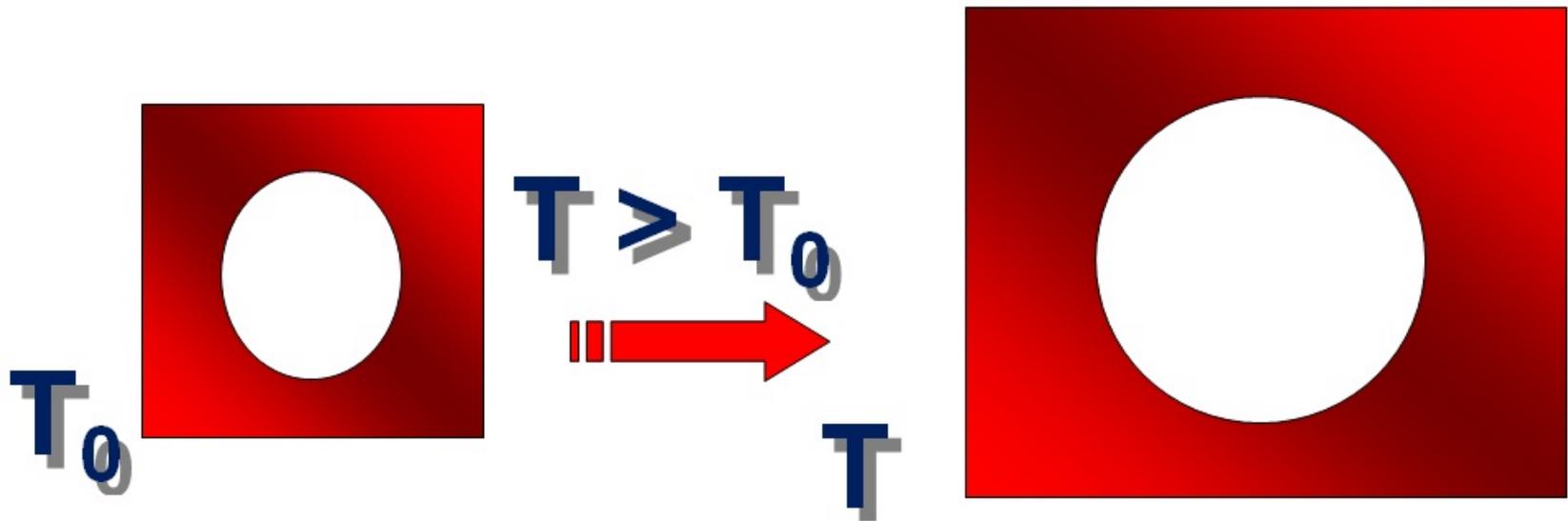
Capítulo 8

Dilatação de Líquidos

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta \Delta T$$

$$V = V_0 [1 + \beta (T - T_0)]$$

"Corpos ocos se dilatam como se não fossem ocos."



Dizer que a energia interna U de um sistema termodinâmico é uma *função de estado* significa que U deve ficar completamente definida (a menos de uma constante aditiva arbitrária U_0 , ligada à escolha do nível zero) quando especificamos o estado do sistema. Para um *fluido homogêneo*, por exemplo, um estado de equilíbrio é especificado por qualquer par das variáveis (P, V, T) . Logo, neste caso, podemos considerar U como função de qualquer desses pares:

$$\boxed{U = U(P, V); \quad U = U(P, T); \quad U(V, T)} \quad (8.5.3)$$

Termodinâmica

Sistemas com muitas partículas $\simeq 10^{23}$

Variáveis macroscópicas :

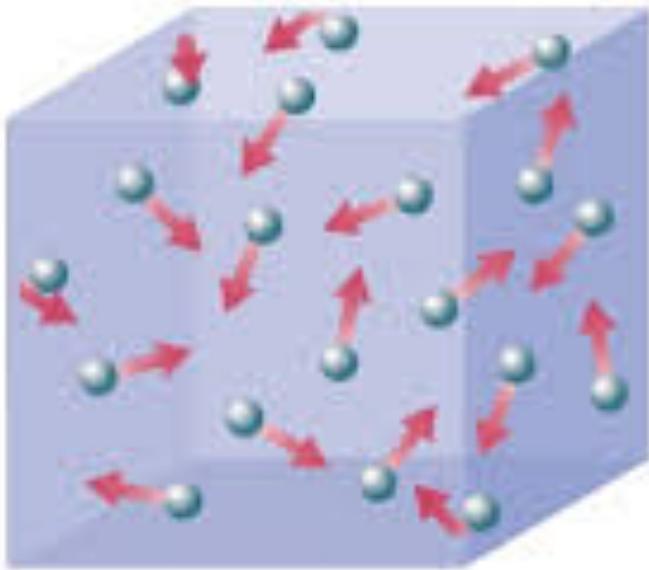
pressão

volume

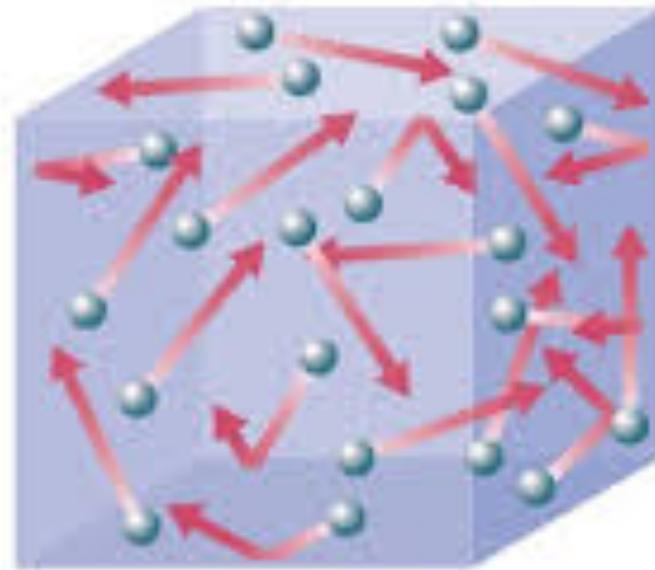
temperatura

Temperatura

Grandeza física que reflete a **velocidade média** das moléculas que compõem um sistema físico

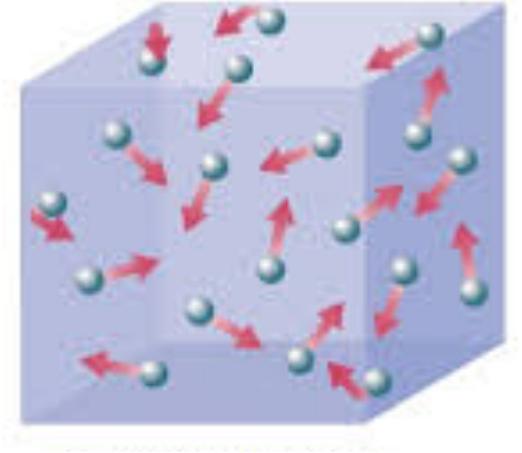


Menor temperatura



Maior temperatura

Equilíbrio Térmico

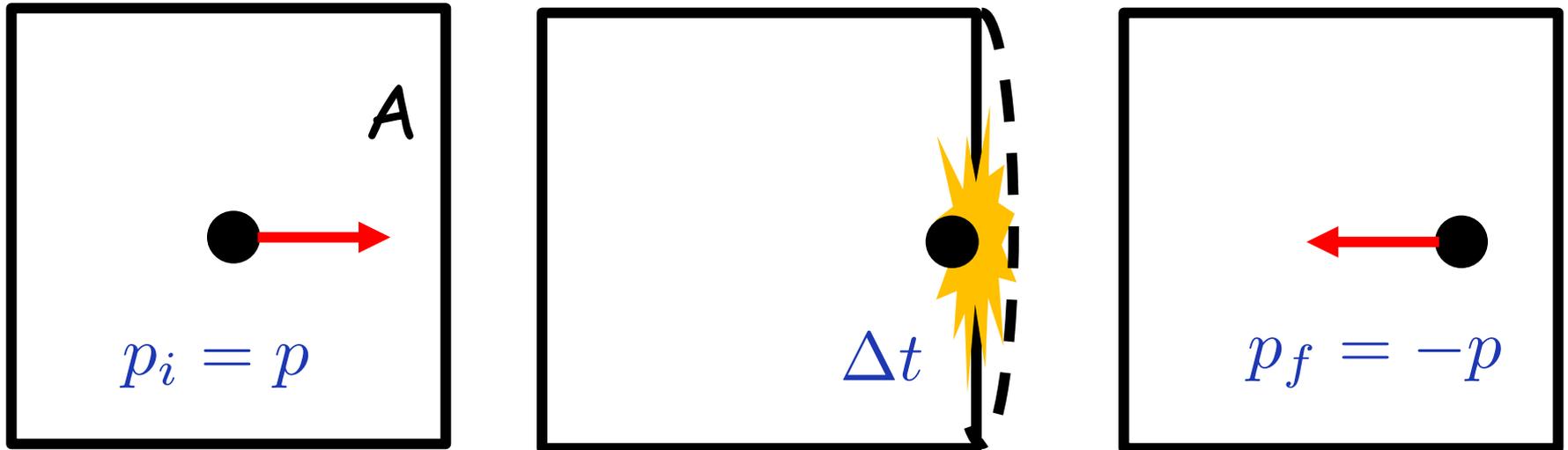


Distribuição de velocidades dada por:

$$f(v) = C e^{-mv^2/2kT}$$

Temperatura e pressão **constantes no tempo!**

Pressão



$$P = -\frac{2p}{A \Delta t} = -\frac{2mv}{A \Delta t}$$

maior velocidade (temperatura) maior pressão !

Lei zero da termodinâmica

"Se A está em equilíbrio com C e B está em equilíbrio com C, então A está em equilíbrio com B"

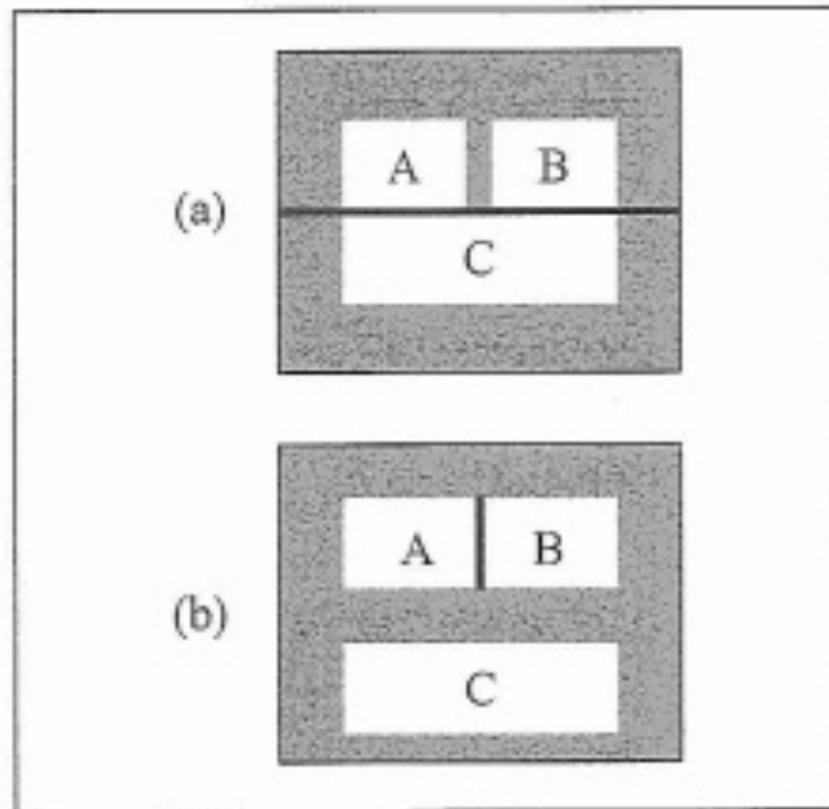
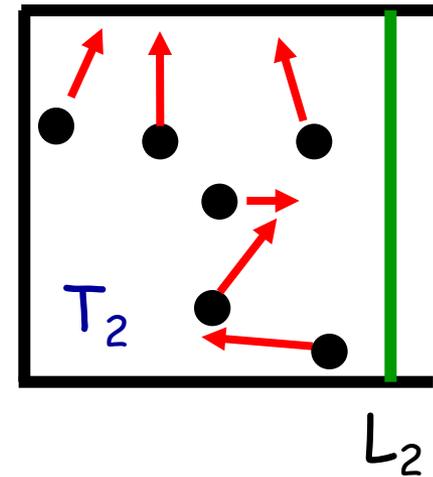
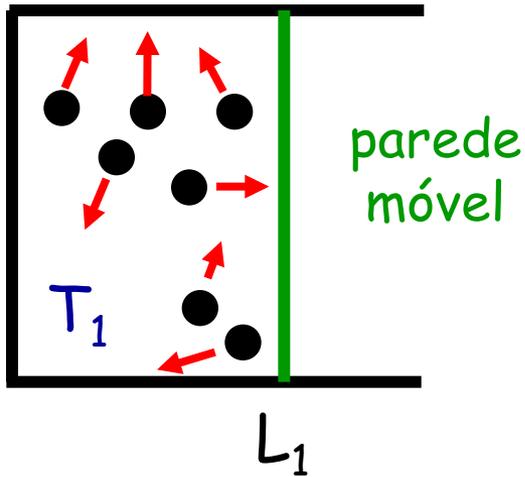


Figura 7.2 — Lei zero da termodinâmica

Maior temperatura



Maior volume



Volume é proporcional à temperatura

$$T \propto L$$

Termômetro

Escala Celsius

Dois
pontos fixos

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ponto de fusão do gelo : } T = 0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \text{Ponto de vaporização da água : } T = 100 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

$$T = 100 \cdot \frac{L - L_0}{L_{100} - L_0} \text{ (} ^\circ\text{C)}$$

Escala Kelvin

$$\left\{ \begin{array}{l} T = 100 \cdot \frac{L - L_0}{L_{100} - L_0} + 273 \text{ (K)} \\ T_K = T_C + 273 \end{array} \right.$$