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

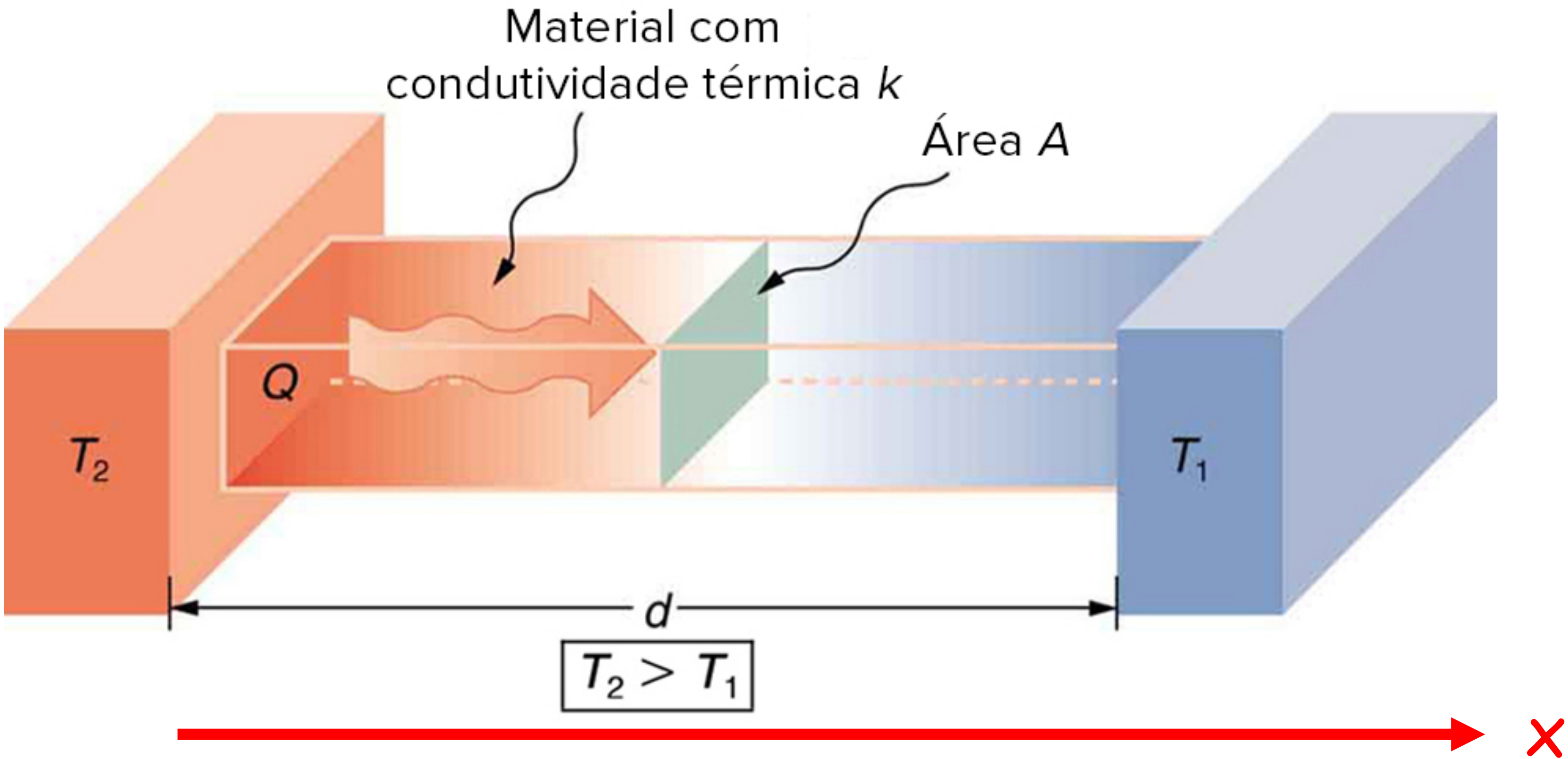
monitoria: sala 211 edifício central

terça feira: 12:00 - 13:00

quarta feira: 18:00 - 19:00

Condução de Calor

Condução de calor



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -k\,A\,\frac{\Delta T}{\Delta x} \longrightarrow \frac{dQ}{dt} = -k\,A\,\frac{dT}{dx}$$

No regime estacionário a temperatura não muda com o tempo:

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

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

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

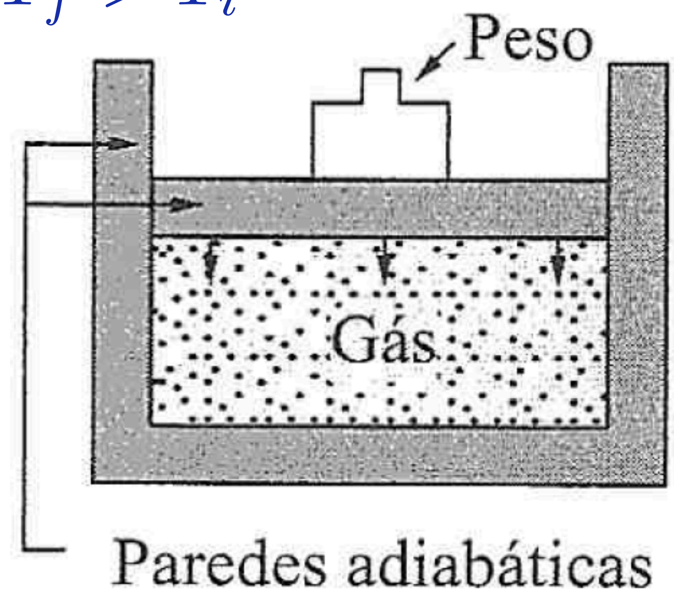
$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dQ}{dt} &= -\,k\,A\,\frac{dT}{dx} \\ \frac{dT}{dx} &= -\,\frac{T_2 - T_1}{L} \end{aligned} \right. \longrightarrow \quad \frac{dQ}{dt} = k\,A\,\frac{T_2 - T_1}{L}$$

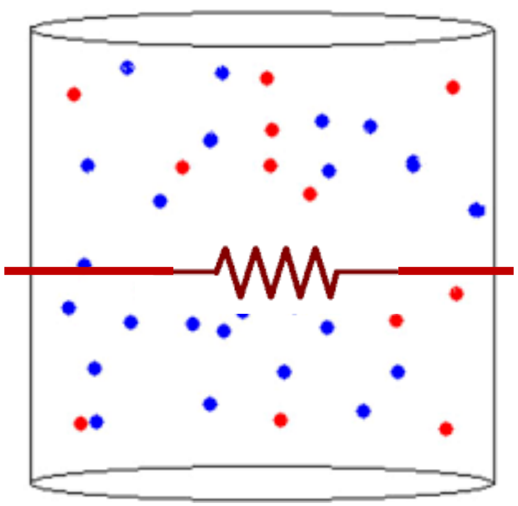
Fluxo de calor constante

1ª Lei da Termodinâmica

Processo adiabático : não há troca de calor

$T_f > T_i$





$T_f > T_i$

Diagrama pressão X volume

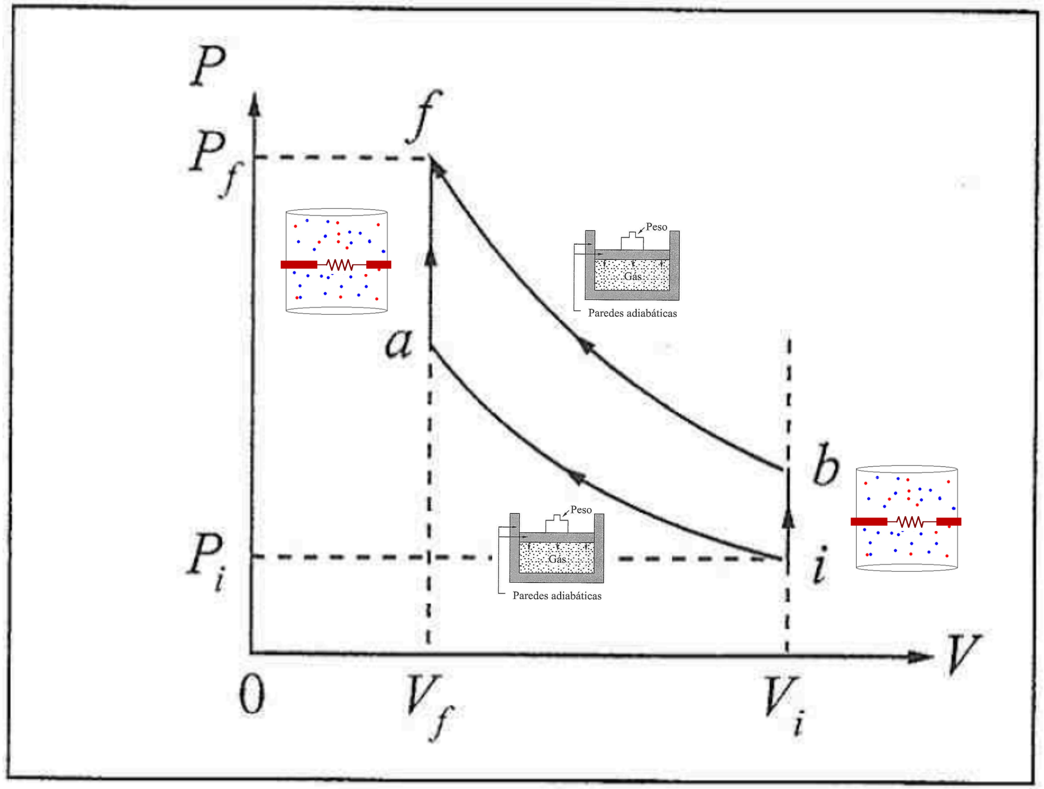


Figura 8.6 — Caminhos diferentes

Processo adiabático : não há troca de calor

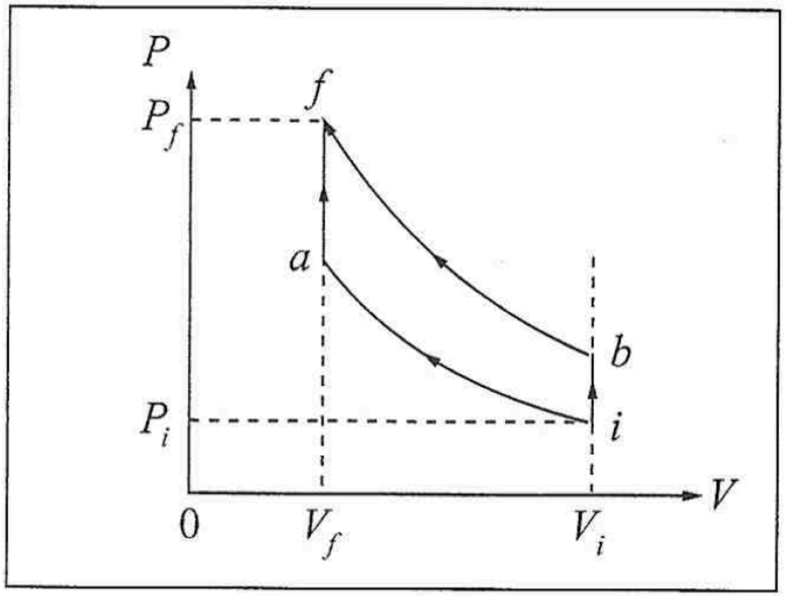


Figura 8.6 — Caminhos diferentes

Para levar o gas 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

Trabalho implica variação de volume !!!

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

$$dW = p\,dV$$

Processos não-adiabáticos: troca de calor

$$V_f = V_i$$

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

$$T_f > T_i$$

$$U_f > U_i$$

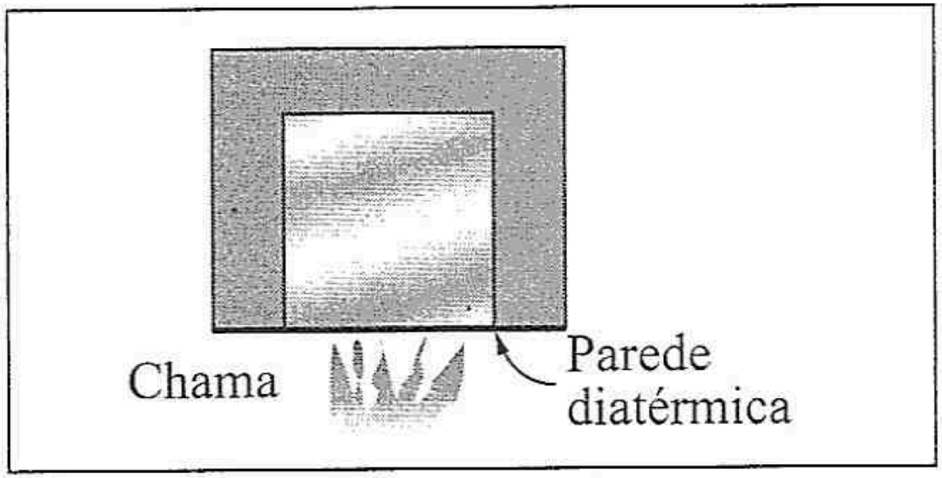


Figura 8.7 — Fornecimento de calor

$$V_f > V_i$$

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

$$T_f = T_i$$

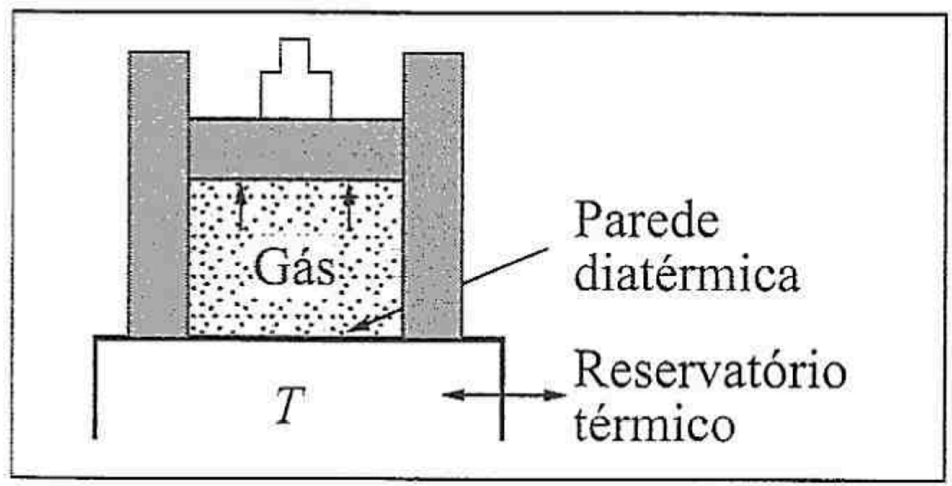
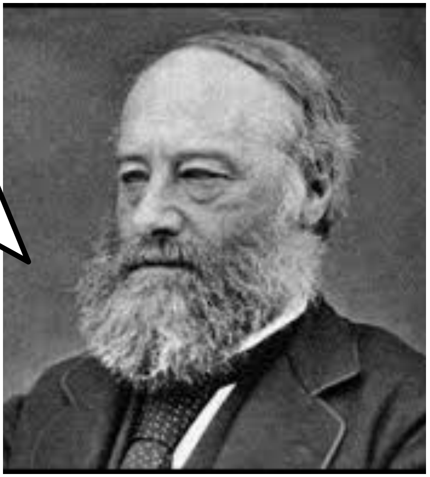


Figura 8.8 — Expansão isotérmica

1ª Lei da Termodinâmica:

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

Conservação da energia !!!



Processos reversíveis

Processos muito lentos: "grão de areia por grão de areia"

O gás tem tempo de atingir o equilíbrio a cada mudança

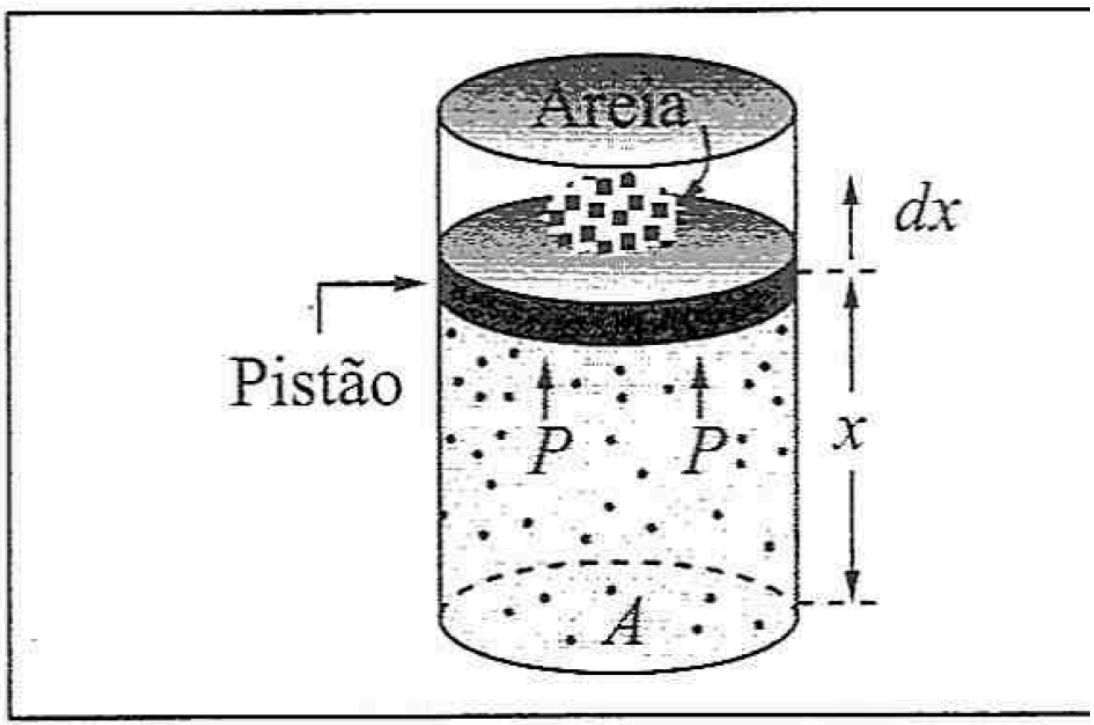


Figura 8.9 — Expansão reversível

Remoção de um grão de areia de cada vez: O gás se expande lentamente !

Processos reversíveis

Processo inverso: grão de areia por grão de areia

O gás tem tempo de atingir o equilíbrio a cada mudança

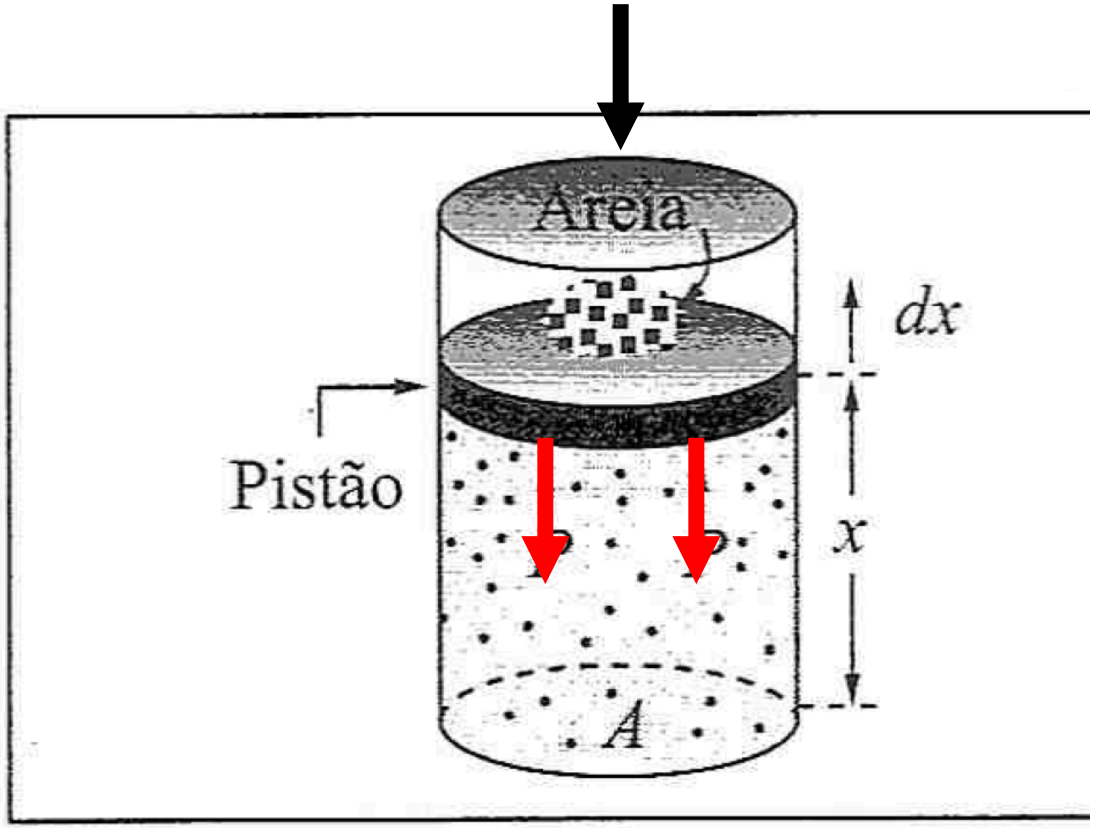


Figura 8.9 — Expansão reversível

Adição de um grão de areia de cada vez:
O gás se contrai lentamente !

Processos irreversíveis

Processos rápidos: mudança brusca, p.e.x., de volume

O gás sai do equilíbrio depois da mudança

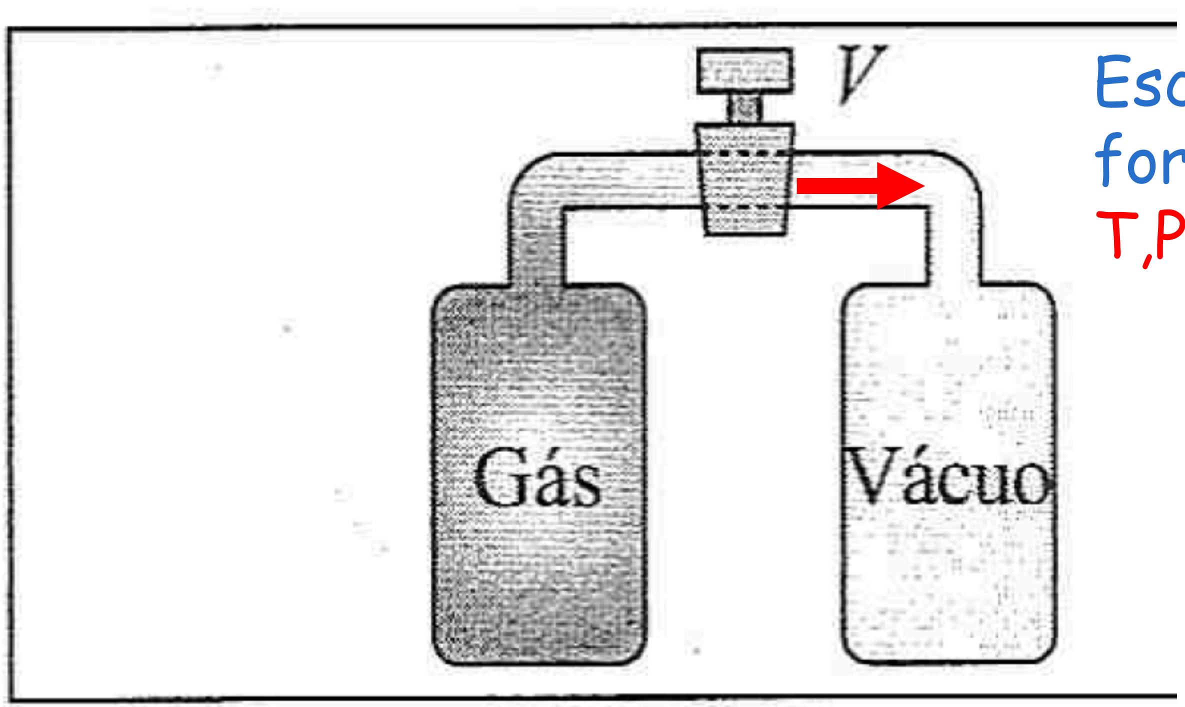


Figura 8.10 — Expansão livre

Escoamento turbulento
fora da termodinâmica
T,P,V não definidos

Trabalho no processo reversível

$$dW = p\,dV \quad \longrightarrow \quad W_{i\to f} = \int_{V_i}^{V_f} p\,dV$$

Trabalho no processo reversível

$$dW = p\,dV \quad \longrightarrow \quad W_{i\to f} = \int_{V_i}^{V_f} p\,dV$$

Área debaixo da curva da função p = p (V)

Trabalho depende do caminho !

Não é uma variável do estado !

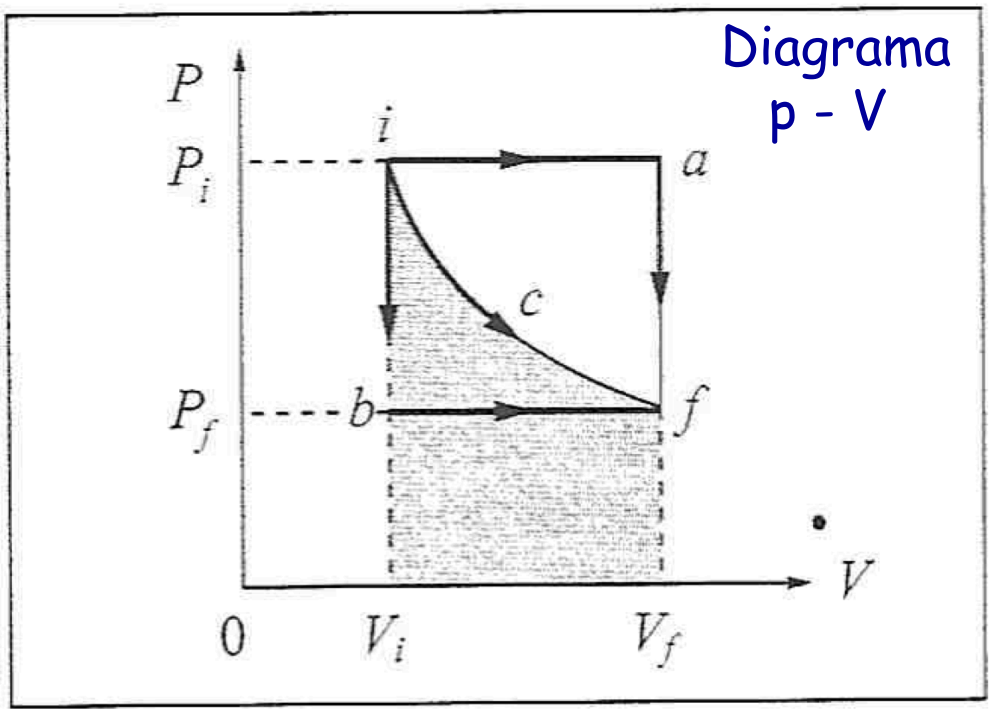
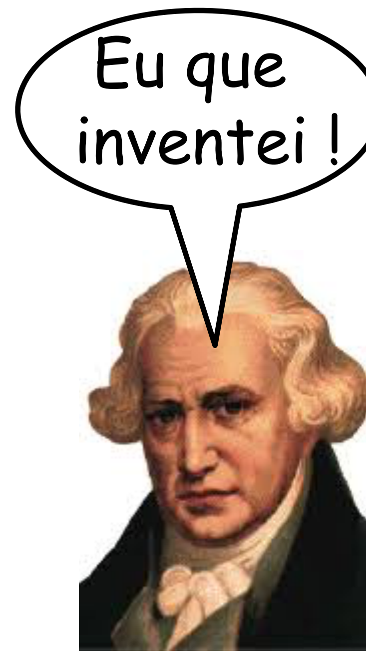
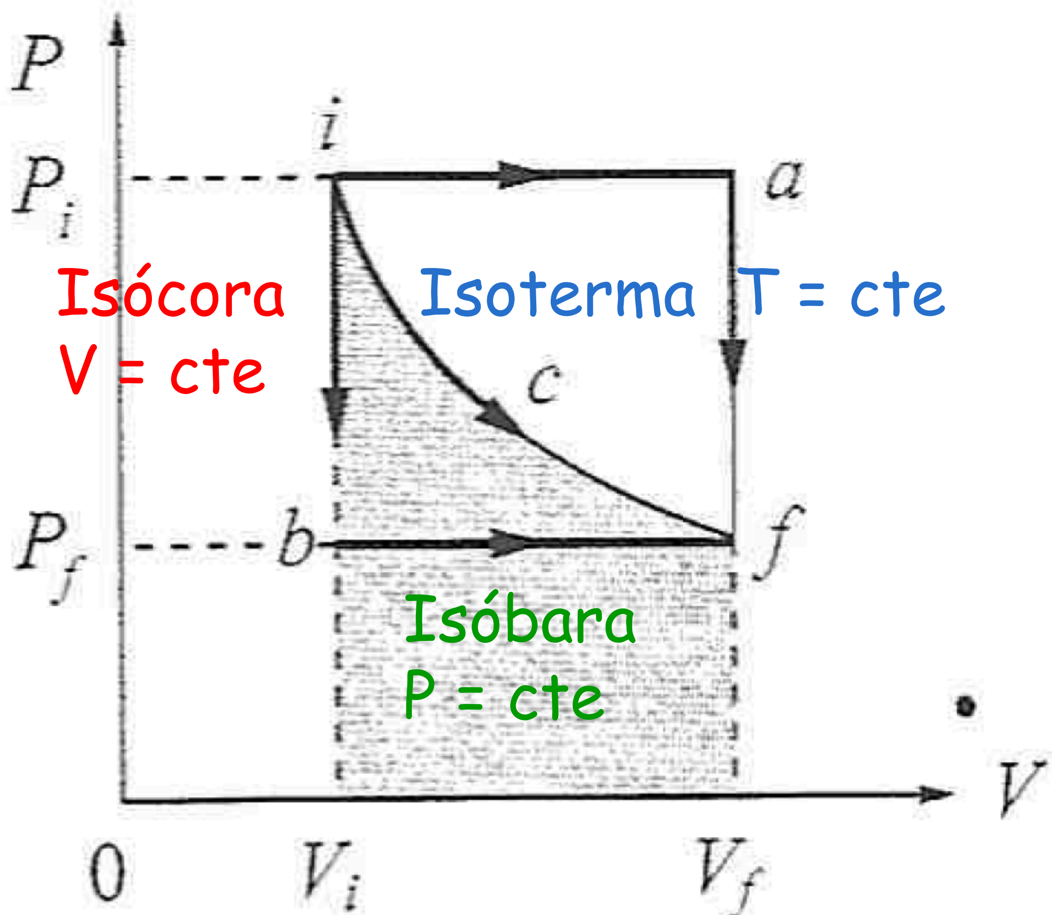


Figura 8.12 — Diagrama indicador



James Watt

Transformações reversíveis



i - c - f :
Transf. Isotérmica

i - b , a - f
Transf. Isocórica

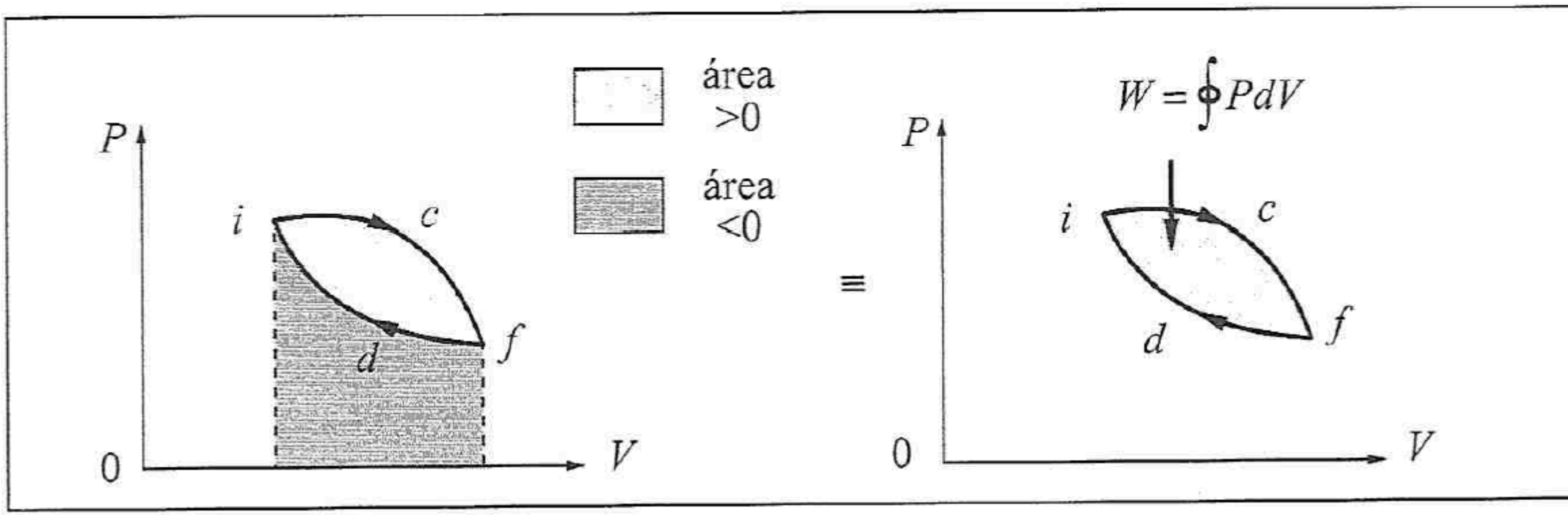
i - a , b - f :
Transf. Isobárica

Ciclo : sistema volta ao estado inicial

$$W_{f\rightarrow i} = \int_{V_f}^{V_i} p\,dV = -\int_{V_i}^{V_f} p\,dV \qquad W_{f\rightarrow i} = -W_{i\rightarrow f}$$

Ciclo : sistema volta ao estado inicial

$$W_{f\to i} = \int_{V_f}^{V_i} p\,dV = -\int_{V_i}^{V_f} p\,dV \qquad W_{f\to i} = -W_{i\to f}$$



$$W = W_{i\xrightarrow{c}f} + W_{f\xrightarrow{d}i} = W_{i\xrightarrow{c}f} - W_{i\xrightarrow{d}f}$$

Calor no processo reversível

Processos muito lentos: aumento gradual da temperatura

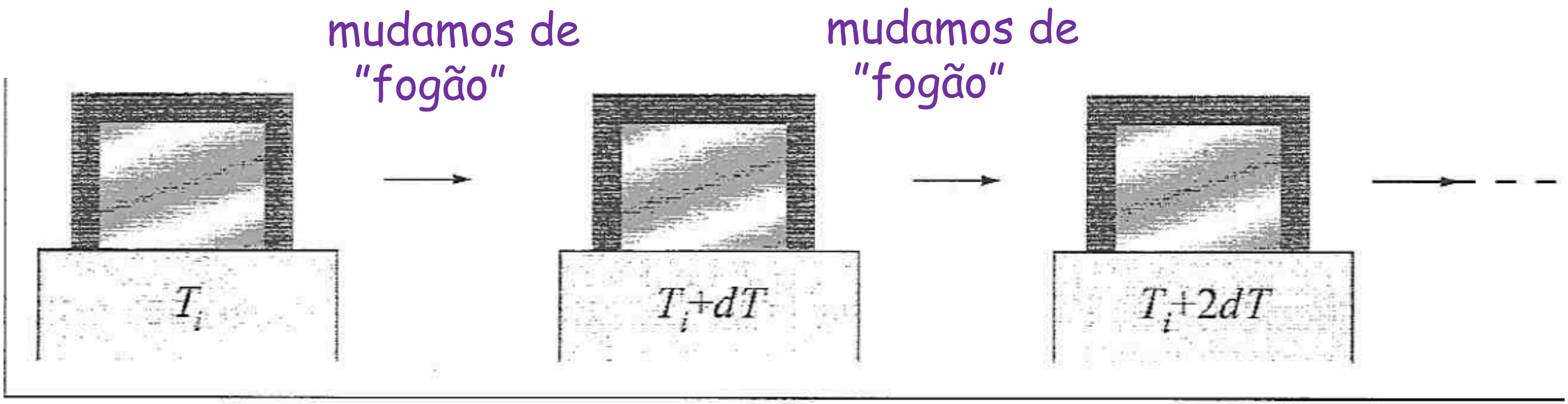


Figura 8.14 — Transferência reversível de calor

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

depende do caminho

não depende do caminho

depende do caminho

$$\Delta Q = m\,c\,\Delta T \longrightarrow dQ = m\,c\,dT$$

$$\Delta Q = m\,c\,\Delta T \longrightarrow dQ = m\,c\,dT$$

$$C = m\,c \longrightarrow dQ = C\,dT$$

$$\Delta Q = m\,c\,\Delta T \longrightarrow dQ = m\,c\,dT$$

$$C = m\,c \longrightarrow dQ = C\,dT$$

$$\boxed{Q = \int_{T_i}^{T_f} C\,dT}$$

$$\Delta Q = m\,c\,\Delta T \longrightarrow dQ = m\,c\,dT$$

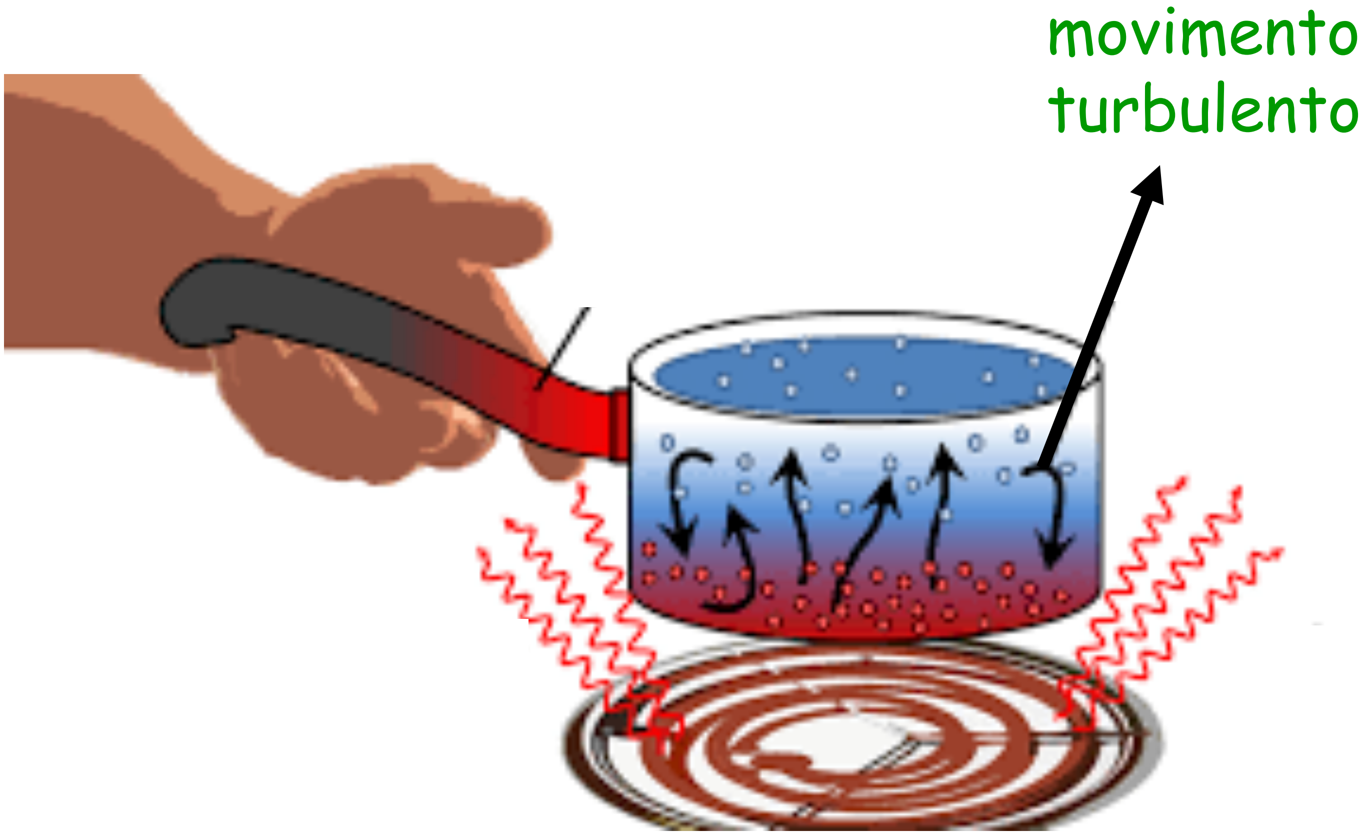
$$C = m\,c \longrightarrow dQ = C\,dT$$

$$\boxed{Q = \int_{T_i}^{T_f} C\,dT}$$

$$dQ = dU + dW$$

$$C\,dT = dU + p\,dV$$

Calor no processo irreversível

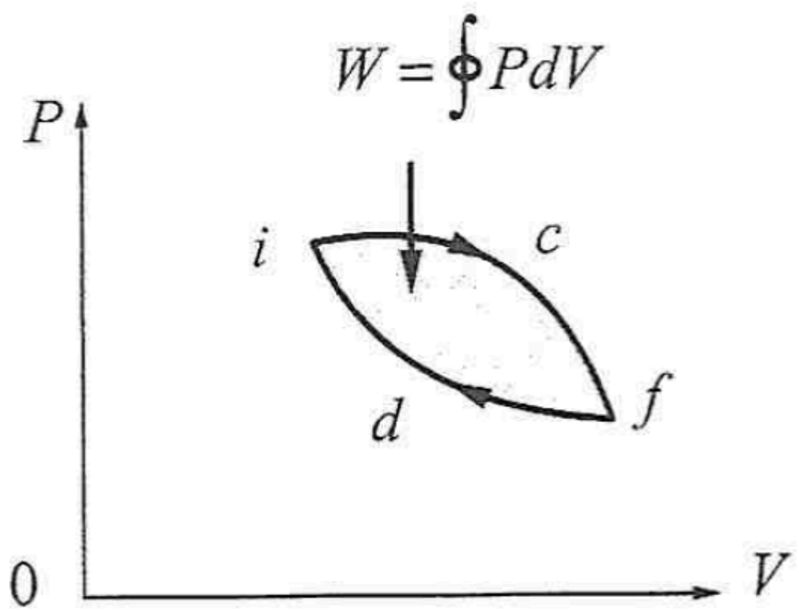


P, V e T não estão bem definidos !

Transformações importantes

(ou processos importantes)

a) Ciclo



$$i = f$$

$$U_i = U_f$$

$$\Delta U = U_f - U_i = 0$$

$$\boxed{W = Q}$$

b) Processo isobárico (pressão constante)

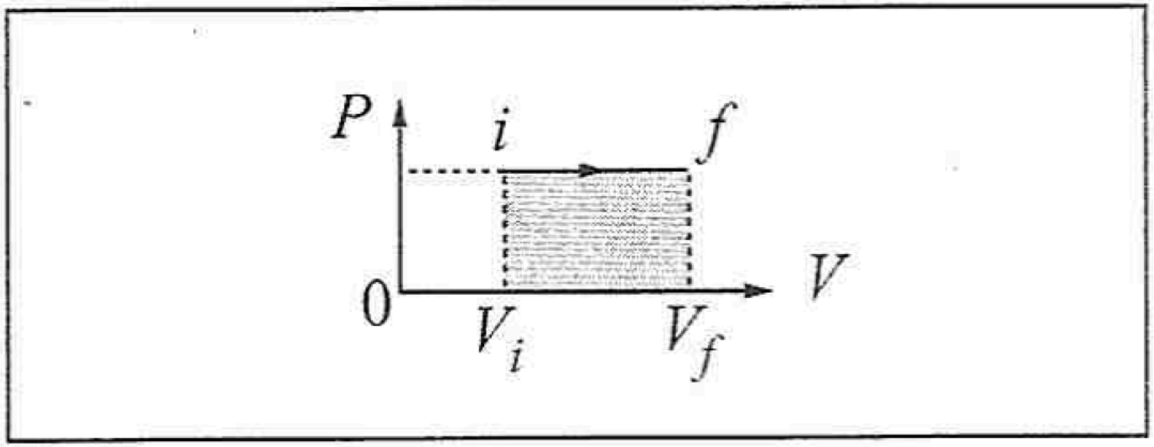


Figura 8.15 — *Processo isobárico*

$$W_{i\to f} = \int_{V_i}^{V_f} p\,dV = p\,(V_f - V_i)$$

$$Q = U_f - U_i + p\,(V_f - V_i)$$

c) Processo adiabático (Q = 0)

$$U_f - U_i = -W_{i \to f}$$

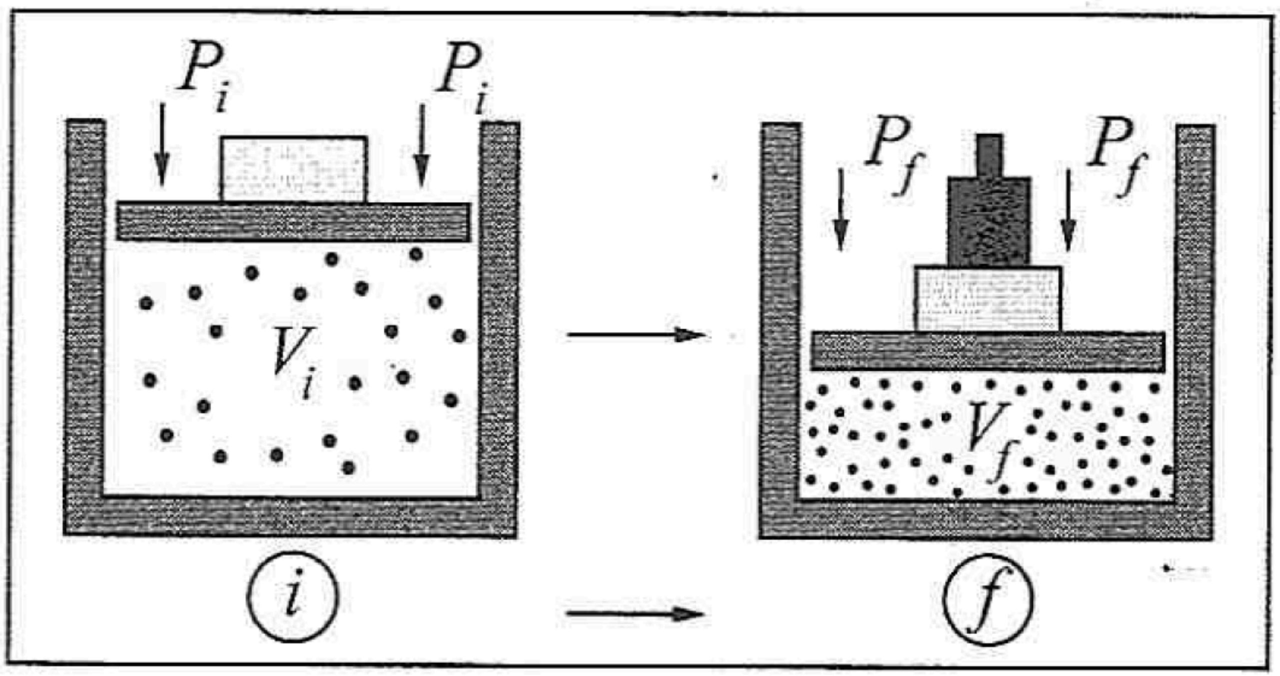
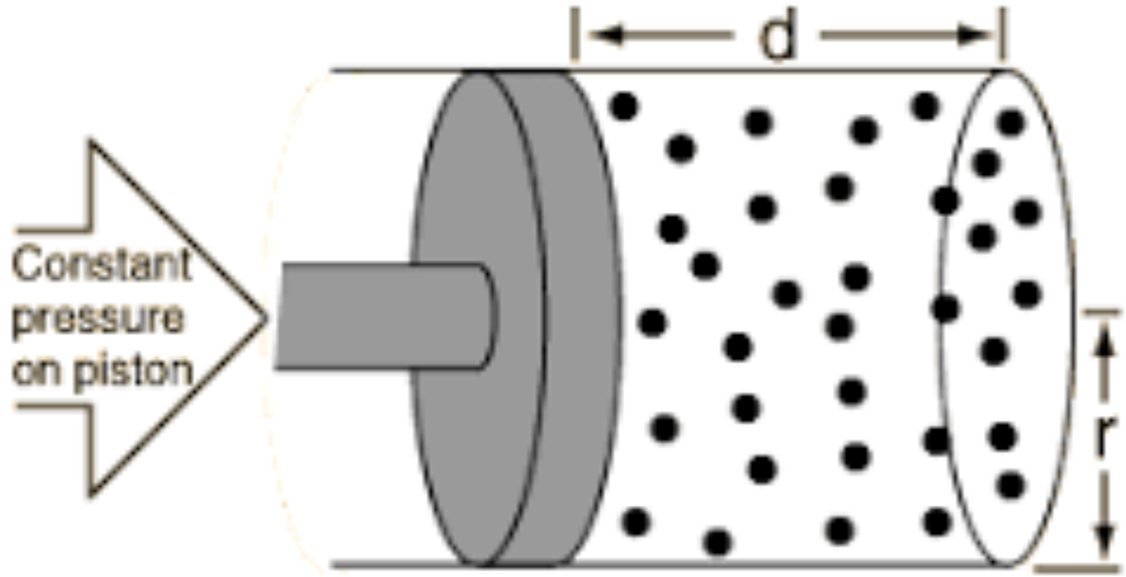


Figura 8.17 — Compressão adiabática

Fim

Pressão constante na "tampa"



Trabalho feitor sobre o gas

Work done on gas:

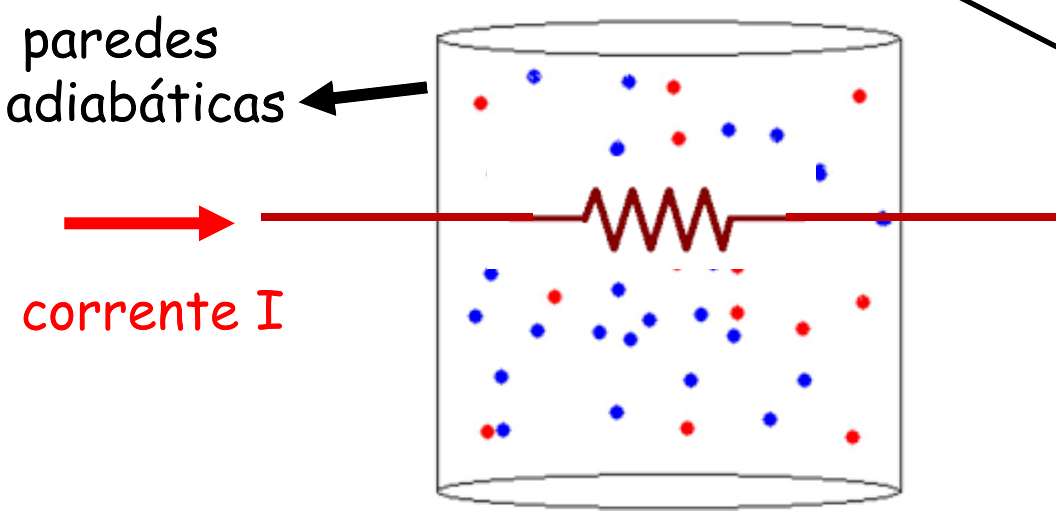
$$W = Fd = \left[\frac{F}{A}\right]\left[Ad\right] = P\Delta V$$

$$W = p\left(V_f - V_i\right) \begin{cases} V_f > V_i & W_{i\to f} > 0 \\ \\ V_f < V_i & W_{i\to f} < 0 \end{cases}$$

Equivalente mecânico do calor

Da experiência de Joule: 1 caloria = 4.186 Joule

Exemplo: Uma resistência de 68 Ω 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?



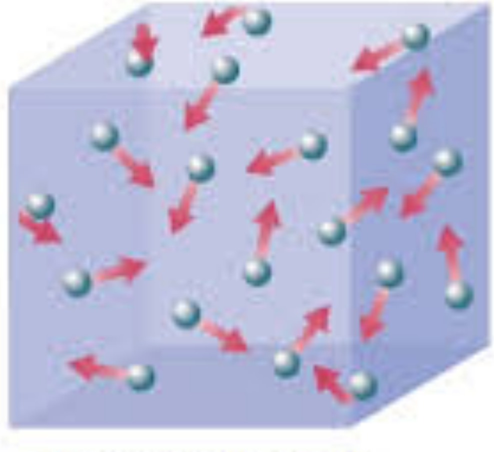
Moyses Nussenzveig

Aula 4

Revisão, 1ª Lei e exercícios

Capítulo 8

Equilíbrio Térmico

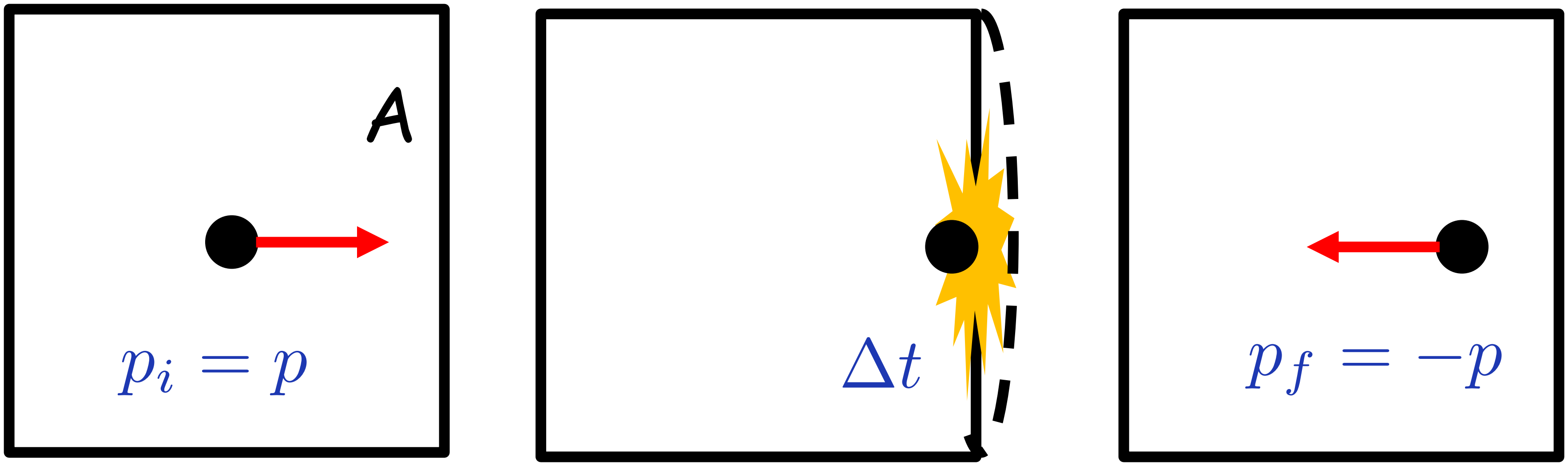


Distribuição de velocidades dada por:

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

Temperatura e pressão constantes no tempo !

Pressão



$$\boxed{P = -\frac{2\,p}{A\,\Delta t} = -\frac{2\,m\,v}{A\,\Delta t}}$$

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"

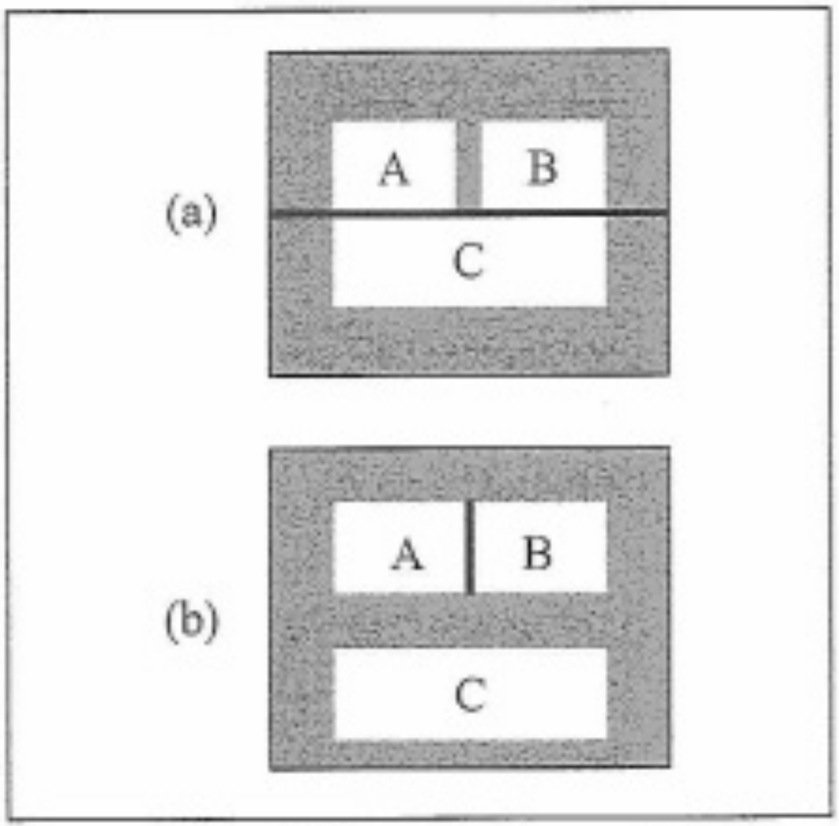
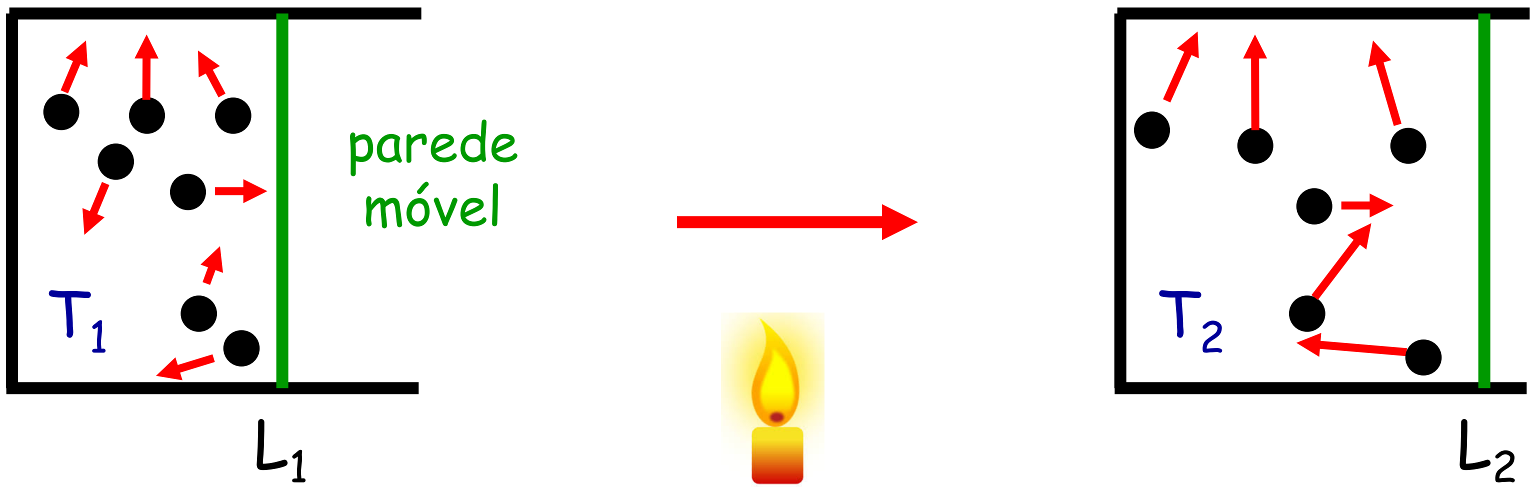


Figura 7.2 — Lei zero da termodinâmica

Maior temperatura $\longrightarrow$ Maior volume



Volume é proporcional à temperatura

$$\boxed{T \propto L}$$

Termômetro

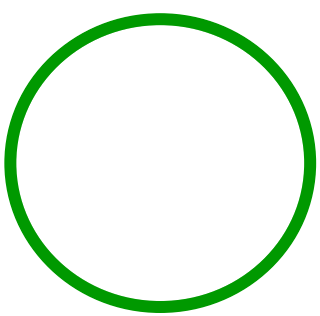
Exercícios

Problemas do capítulo 7

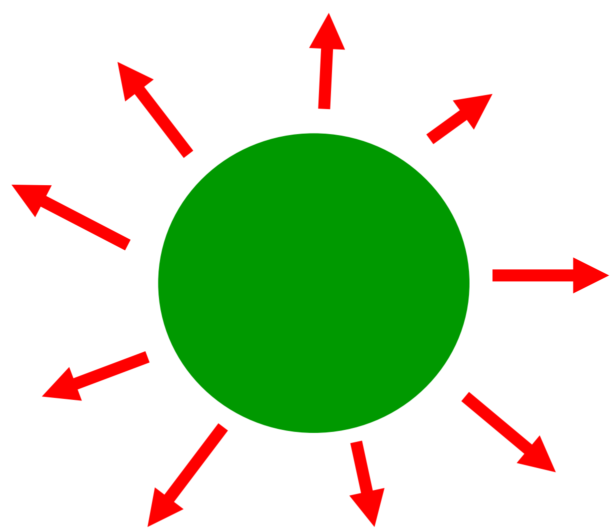
1 – Uma esfera oca de alumínio tem um raio interno de 10 cm e raio externo de 12 cm a 15°C. O coeficiente de dilatação linear do alumínio é 2,3 x 10^{-5}/°C. De quantos cm³ varia o volume da cavidade interna quando a temperatura sobe para 40°C? O volume da cavidade aumenta ou diminui?

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

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



=



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 x 10^{-5}/°C para o latão e 1,1 x $10^{-5/}$°C para o aço. qual o coeficiente de dilatação linear da barra?

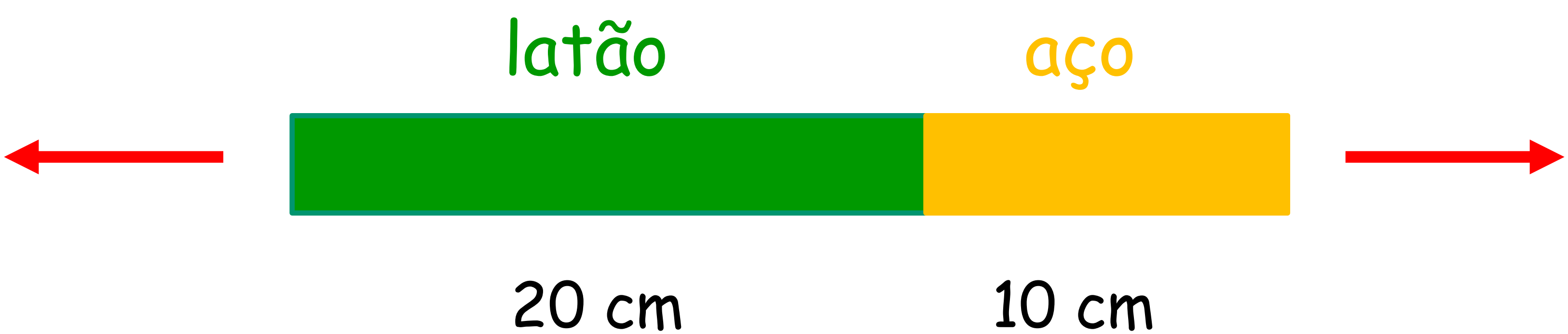
Para uma dada temperatura T: $\Delta T = T - T_0$

$$\left.\begin{aligned} \Delta L_L &= L_{0L}.\alpha_L.\Delta T = 20.1{,}9.10^{-5}.\Delta T \\ \Delta L_A &= L_{0A}.\alpha_A.\Delta T = 10.1{,}1.10^{-5}.\Delta T \end{aligned}\right\} \qquad \text{(I)}$$

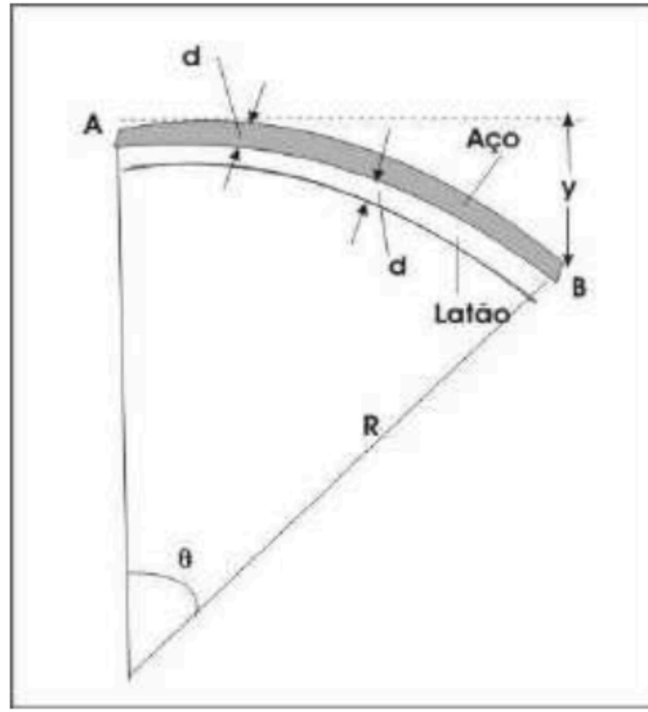
$$\Delta L = \Delta L_L + \Delta L_A = L_0.\alpha.\Delta T \qquad \text{(II)}$$

Somando (I) e substituindo em (II):

$$49.10^{-5}.\Delta T = 30.\alpha.\Delta T \quad \Rightarrow \quad \boxed{\alpha = 1{,}63 \text{ x } 10^{-5}/°C}$$



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 x 10^{-5}/°C e o do aço é 1,1 x 10^{-5}/°C.



I) $\begin{cases} \Delta L = L_o \alpha_l \Delta T \Rightarrow L_l = L_o(1+\alpha_l \Delta T) = 15{,}007125\ cm \\ \Delta L = L_o \alpha_a \Delta T \Rightarrow L_a = L_o(1+\alpha_a \Delta T) = 15{,}004123\ cm \end{cases}$

$$\theta = \frac{L_l}{R} = \frac{L_a}{R-d} \Rightarrow L_l(R-d) = L_a R \Rightarrow R = \frac{dL_l}{L_l - L_a}$$

$$\therefore R = \frac{3{,}00285}{0{,}00300} \Rightarrow \boxed{R = 10m}$$