

# **Notas de aula**

## **Física Geral 2 – F 228**

**Odilon D. D. Couto Jr.**

Instituto de Física "Gleb Wataghin"  
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP  
Departamento de Física da Matéria Condensada

<http://sites.ifi.unicamp.br/odilon>

## AULA 08 - 1ª LEI DA TERMODINÂMICA

A termodinâmica estuda a relação entre calor e outras formas de energia em sistemas de  $N$  partículas

→ Sólidos, líquidos ou gases

Como  $N \sim 10^{24}$  partículas → TERMODINÂMICA: descrição estatística dos fenômenos

→ Variáveis macroscópicas: pressão, volume, temperatura

→ Estas variáveis nos auxiliam na descrição dos fenômenos

→ ciclos termodinâmicos: motores, refrigeradores.

→ Descrevem os estados mais prováveis do sistema

↳ MUITOS CONCEITOS BASEADOS NOS EXPERIMENTOS

### TEMPERATURA

É o parâmetro que se iguala no equilíbrio térmico

↳ Diferentes escalas: Celsius, Kelvin, Fahrenheit

↳ Calibração feita a partir de grandezas físicas: volume, pressão, resistência

→ DISCUTIR  
SLIDES

→ A temperatura caracteriza um estado térmico

### LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

Se dois sistemas estão em eq. térmico com um terceiro, eles devem estar em equilíbrio térmico entre si.

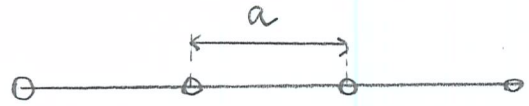
$$\text{Se } T_A = T_C \text{ e } T_B = T_C \Rightarrow T_A = T_B$$

C pode ser o termômetro.

## DILATAÇÃO TÉRMICA

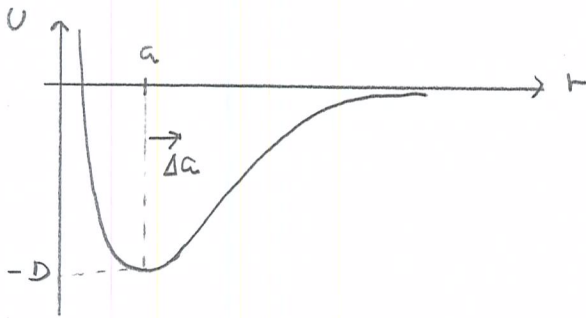
O aumento da temperatura causa um aumento na separação média entre os átomos em um sólido.

Seja uma cadeia monoatômica:



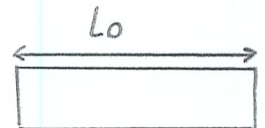
Para  $T$  baixo  $\langle r \rangle = a$

Para  $T$  alto:  $\langle r \rangle = a + \Delta a$



O resultado macroscópico disso é a expansão linear:

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



$\alpha = \frac{\Delta L / L_0}{\Delta T} = \text{cte}$  é o coeficiente de expansão linear que depende do material.

Para um sistema 2D:  $A = L^2$   $\Delta A = 2L \Delta L$

$$\frac{\Delta A}{A_0} = \frac{2L_0 \Delta L}{L_0^2} = 2 \frac{\Delta L}{L_0} \Rightarrow \Delta A = 2\alpha A_0 \Delta T$$

O mesmo raciocínio vale em 3 dimensões.

$$V = L^3 \quad \Delta V = 3L^2 \Delta L$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta V}{V} = \frac{3L_0^2 \Delta L}{L_0^3} = 3 \frac{\Delta L}{L_0} = 3\alpha \Delta T$$

$$\Rightarrow \Delta V = \beta V_0 \Delta T$$

$\beta = 3\alpha \Rightarrow$  coeficiente de expansão volumétrica

## CALOR

Calor é energia térmica, que pode ser retilhada ou absorvida por um corpo.

A capacidade térmica determina o quanto de calor um corpo absorve ou libera, por unidade de temperatura.

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{Q}{T_f - T_i} \Rightarrow Q = C(T_f - T_i)$$

C depende da quantidade de matéria (massa). Portanto é interessante a noção de calor específico.

$$C = mc \Rightarrow c = \frac{Q}{m \Delta T}$$

Temos também o calor específico molar:  $C_{mol} = \frac{Q}{mol \Delta T}$

C e  $C_{mol}$  dependem das condições de pressão e volume. (e temperatura)

$[Q] = J$  ou  $[Q] = cal = 4,1868 J \Rightarrow$  calor necessário p/ elevar a temperatura de 1g de água de  $14,5^\circ C$  a  $15,5^\circ C$

$$[c] = J/kgK$$

## TRANSFORMAÇÃO DE FASE

Durante uma mudança de fase uma energia (calor) extra deve ser dada ao sistema para que isso ocorra. É o calor de transformação.

$$L = \frac{Q}{m} \quad \rightarrow \text{mostrar gráfico}$$

**CALOR:** Energia transferida ou recebida

**TRABALHO:** Energia realizada sobre ou pelo sistema devido a variações de parâmetros externos

**ENERGIA INTERNA:** ENERGIA cinética ou potencial dos graus de liberdade do sistema  
 $\hookrightarrow$  Definida apenas pelos estados inicial e final do sistema.

1ª LEI DA TERMODINÂMICA:

$$Q = \Delta E_{\text{INT}} + W$$

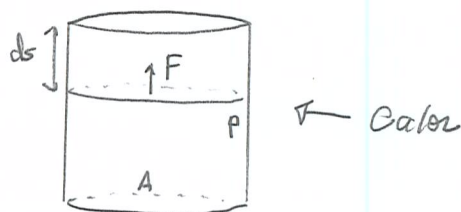
$$\Delta E_{\text{INT}} \propto T$$

ou seja, ao fornecer calor: parte é energia interna, parte realiza trabalho.

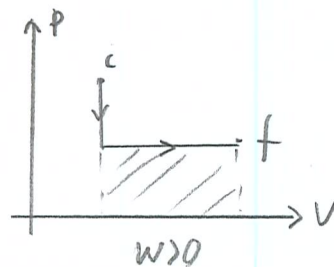
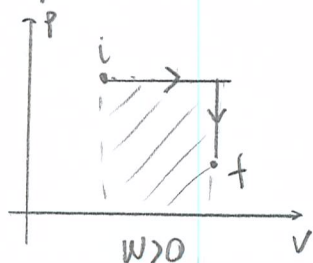
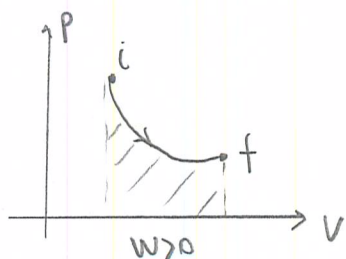
Para um processo reversível:

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = p \cdot A ds = p dV$$

$$\Rightarrow W = \int_{V_i}^{V_f} p dV$$



Seu próximo, um diagrama  $p$  vs.  $V$  o trabalho é a área sob o gráfico.



## PROCESSOS ADIABÁTICOS

⇒ Sistema isolado ou transmissividade de calor nula ⇒  $Q=0$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta E_{\text{int}} = -W}$$

$W > 0$  ⇒ trabalho realizado pelo sistema ⇒  $\Delta E_{\text{int}} < 0$  : temp. diminui

$W < 0$  ⇒ trabalho sobre o sistema ⇒  $\Delta E_{\text{int}} > 0$  : temp. aumenta

## PROCESSOS ISOVOLUMÉTRICOS (ISOCÓRICOS)

$$V = \text{cte} \Rightarrow W = 0 \Rightarrow \boxed{\Delta E_{\text{int}} = Q}$$

$Q > 0$  : T aumenta

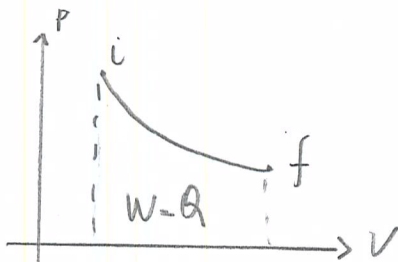
$Q < 0$  : T diminui

## PROCESSOS ISOTÉRMICOS

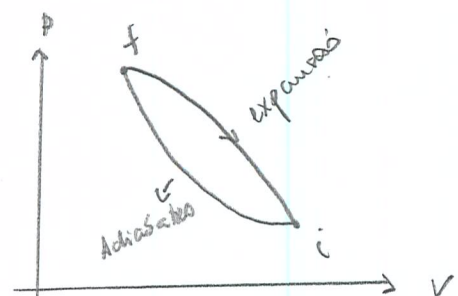
$$\Rightarrow T = \text{cte} \Rightarrow \Delta E_{\text{int}} = 0 \Rightarrow \boxed{Q = W}$$

Para um gás ideal:  $pV = nRT$

$$\Rightarrow W = \int_{V_i}^{V_f} p dV = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{1}{V} dV = nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$



NOVA

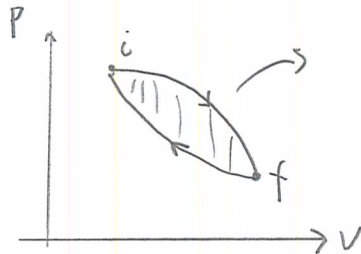




## PROCESSOS CÍCLICOS

Num ciclo, o estado inicial e o final são iguais.

$$\Rightarrow i = f \Rightarrow E_{int}(i) = E_{int}(f) \Rightarrow \Delta E_{int} = 0 \Rightarrow Q = W$$



$W > 0 \Rightarrow$  sist. realiza trabalho.

$Q > 0 \Rightarrow$  calor injetado é usado na realização de trabalho.

$\Rightarrow$  todos os pontos em um diagrama p-v são estados de equilíbrio intermediários do sistema

$\Rightarrow$  são estados termodinâmicos bem definidos.

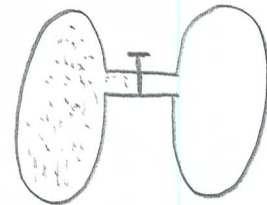
Na expansão livre apenas os estados i e f são definidos.

$\Rightarrow$  Paredes adiabáticas :  $Q = 0$

$\Rightarrow$  Volume total não se altera :  $W = 0$

$$\Rightarrow \Delta E_{int} = 0$$

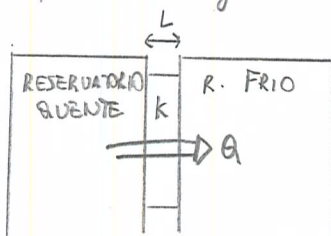
Deve ser feita rapidamente!



## TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Existem 3 maneiras distintas de se conduzir calor.

i) CONDUÇÃO: energia é transferida átomo a átomo.



$\hookrightarrow$  parede diatérmica

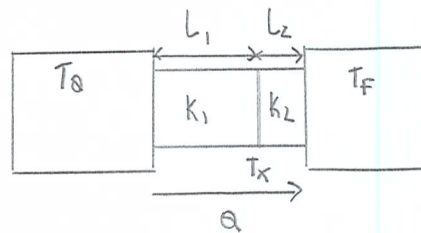
Verificar-se que a taxa de condução de calor vale.

$$\frac{Q}{\Delta t} = k A \frac{(T_Q - T_F)}{L}$$

$k$ . condutividade térmica

Resistência térmica:  $R_T = \frac{L}{k}$

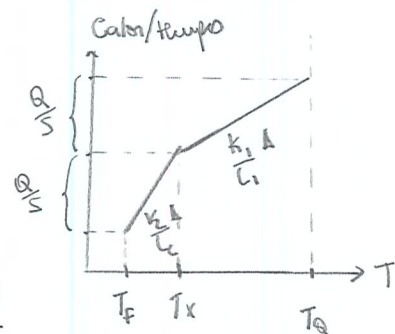
No caso de uma placa composta:



$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{k_1 A}{L_1} (T_Q - T_X) = \frac{k_2 A}{L_2} (T_X - T_F) \rightarrow$  Isto é verdade porque estamos assumindo que não há pontos de acumulação de calor.

$$\Rightarrow \frac{k_1 A}{L_1} T_Q - \frac{k_1 A}{L_1} T_X = \frac{k_2 A}{L_2} T_X - \frac{k_2 A}{L_2} T_F \Rightarrow \left( \frac{k_1}{L_1} + \frac{k_2}{L_2} \right) T_X = \frac{k_1}{L_1} T_Q + \frac{k_2}{L_2} T_F$$

$$T_X = \frac{L_2 k_1 T_Q + k_2 L_1 T_F}{k_1 L_2 + k_2 L_1}$$



$$\Rightarrow \frac{Q}{\Delta t} = \frac{k_1 A}{L_1} \left[ \frac{k_1 L_2 T_Q + k_2 L_1 T_Q - k_1 L_2 T_Q - k_2 L_1 T_F}{k_1 L_2 + k_2 L_1} \right] = \frac{k_1 k_2 A (T_Q - T_F)}{k_1 L_2 + k_2 L_1}$$

$$\frac{Q}{\Delta t} = A \frac{(T_Q - T_F)}{\frac{L_2}{k_2} + \frac{L_1}{k_1}}$$

$$\Rightarrow R_T = R_1 + R_2 = \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_1}{k_1} \Rightarrow \text{resistências se somam.}$$

## CONVECÇÃO

$\rightarrow$  A convecção é o transporte de calor devido à variações em  $T$  que causam variações na densidade e movimentam o fluido.



## RADIAÇÃO

É a forma de transmissão de calor através de ondas eletromagnéticas.

⇒ Corpos a  $T > 0\text{ K}$  irradiam calor.

A taxa de emissão e absorção é dada pela lei de Stefan-Boltzmann:

$$P = \frac{Q}{t} = \sigma \epsilon A T^4$$

$A \rightarrow$  área da superfície

$\epsilon \rightarrow 0 \rightarrow 1 \Rightarrow$  emissividade

$\sigma \rightarrow 5,6701 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \Rightarrow$  constante de Stefan-Boltzmann.

A taxa de absorção tem a mesma forma:

$$P_{\text{ass}} = \sigma \epsilon A T_{\text{amb}}^4$$

De modo que a taxa líquida é

$$P_{\text{liq}} = P - P_{\text{ass}} = \sigma (\epsilon_1 A_1 T_{\text{amb}}^4 - \epsilon_2 A_2 T^4)$$