



# Termodinâmica e Estrutura da Matéria

## Aula 5 – 1ª Lei da Termodinâmica

**Carlos A. Santos Silva**

Professor Associado Convidado

Cátedra WS – Energia

Departamento de Física

[carlos.santos.silva@tecnico.ulisboa.pt](mailto:carlos.santos.silva@tecnico.ulisboa.pt)



# Laboratórios

- Inscrição
  - Fenix
  - De 10 de Março a 16 de Março
- Funcionamento
  - Semana de 24 a 28 de Março
  - Grupos de 3
  - Qualquer turno
- Localização
  - [Pavilhão de Matemática, Cave -2, L02.02](#)
- Os trabalhos são entregues na aula
  - Em caso de falta
    - Apresentar justificação
    - Recuperação não está garantida

# Sumário

- Balanço de energia em sistemas
- Energia Interna
- 1ª Lei da termodinâmica
- Entalpia
- Energia cinética e temperatura

# BALANÇO DE ENERGIA EM SISTEMAS

# Calor e trabalho

- Calor é a forma de energia que é transferida entre o sistema e o exterior quando existe uma diferença de temperatura
- O trabalho é a energia transferida associada à aplicação de uma força entre o sistema e o exterior

$$Q > 0 \Rightarrow \Delta U > 0$$

$$W < 0 \Rightarrow \Delta U > 0$$

$$Q < 0 \Rightarrow \Delta U < 0$$

$$W > 0 \Rightarrow \Delta U < 0$$

# Formas de energia num sistema

- Energia potencial (PE)  $P = mgz [J]$
- Energia cinética (KE)  $K = \frac{1}{2}mv^2 [J]$
- Energia interna (U)  $U = mu [J]$ 
  - Formas de energia relacionadas com a estrutura da matéria
    - Energia cinética de translação, rotação e vibração das moléculas
    - Energia química de ligação entre átomos
    - Energia nuclear de ligação do núcleo

# Energia interna

- A energia interna de um sistema é uma função de estado
  - Não depende do processo como foi alcançado o estado
- O calor e o trabalho não são funções de estado
  - dependem do processo

# Balanço de energia

- Num sistema, a variação de energia entre dois estados é dada por:

$$\Delta E = \Delta PE + \Delta KE + \Delta U [J]$$

$$\Delta e = \Delta pe + \Delta ke + \Delta u [J/kg]$$

- Em sistemas onde não há alteração da sua velocidade ou da sua altura, podemos assumir que:

$$\Delta PE = 0, \Delta KE = 0 \Rightarrow \Delta E = \Delta U$$



Sistemas fechados

# 1ª LEI DA TERMODINÂMICA

# Definição

- A variação da energia interna num sistema fechado (ou sistemas abertos de massa fixa) é a diferença entre a energia transferida sob a forma de calor e a energia transferida sob a forma de trabalho

$$\Delta E = \Delta PE + \Delta KE + \Delta U = Q - W [J]$$

- Se não houver alteração da energia cinética do sistema nem da sua altura

$$\Delta E = \Delta U = Q - W [J]$$

- Num sistema isolado

$$\Delta U = 0 [J]$$

# Balanço de energia num ciclo

- Num ciclo termodinâmico, os estados iniciais e finais são iguais

$$\Delta E = E_{final} - E_{inicial} = 0 [J]$$

- Da primeira lei da termodinâmica temos que

$$\Delta E = 0 \Leftrightarrow Q - W = 0 [J]$$

$$Q = W [J]$$

# Tipos de ciclos

- Ciclos que produzem trabalho
  - Centrais termo-eléctricas
  - Motores de combustão interna

$$Q_{in} - Q_{out} = W_{out} [J]$$

- Ciclos que produzem ou retiram calor
  - Ciclos de refrigeração

$$W_{in} = Q_{out} - Q_{in} [J]$$

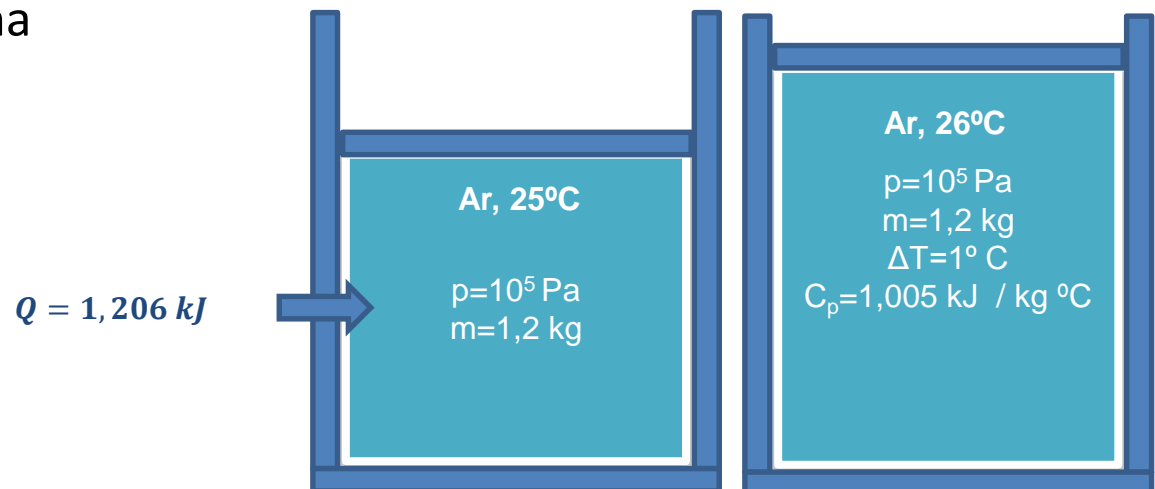
# Relação trabalho e calor em ciclos

- Motor térmica
  - Quanto trabalho é possível extrair de um sistema?
- Bomba de calor
  - Quanto trabalho é preciso para retirar calor a um sistema?

# ENTALPIA

# Calor e trabalho

- A pressão constante o calor fornecido ao sistema é utilizado não só para aumentar a energia interna do sistema como para realizar trabalho



# Definição

- Quantidade de energia que é possível remover de um sistema sob a forma de calor e trabalho

$$H = U + PV$$

$$h = u + Pv$$

- *Quantidade de energia libertada ou consumida numa reação química*
  - *medida da energia envolvida na alteração das forças de ligação entre as moléculas*



# Gases perfeitos

- Joule demonstrou que a energia interna de gases perfeitos depende apenas da temperatura
  - Para gases perfeitos, a entalpia depende apenas da temperatura

$$\left. \begin{array}{l} u = u(T) \\ Pv = R_{gas}T \end{array} \right\} \Leftrightarrow h = u + R_{gas}T$$

$$\Rightarrow h = u(T) + R_{gas}T \Leftrightarrow h = h(T)$$

# Redefinição de calor específico

- $C_v$  é a quantidade de energia que uma substância necessita por unidade de massa para aumentar a temperatura em 1 grau enquanto **o volume permanece constante**

$$c_v = \left( \frac{\delta u}{\delta T} \right)_v$$

- $C_p$  é a quantidade de energia que uma substância necessita por unidade de massa para aumentar a temperatura em 1 grau enquanto **a pressão permanece constante**

$$c_p = \left( \frac{\delta h}{\delta T} \right)_p$$

# Relação entre calor específico para gases perfeitos

- Sabendo que:

$$h = u + R_{gas}T \quad c_v = \left( \frac{\delta u}{\delta T} \right)_v \quad c_p = \left( \frac{\delta h}{\delta T} \right)_p$$

então obtemos:

$$dh = du + R_{gas}dT \Leftrightarrow C_p dT = C_v dT + R_{gas}$$

$$C_p = C_v + R_{gas}$$

- Coeficiente expansão adiabática

$$k = \frac{C_p}{C_v}$$

# RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E ENERGIA CINÉTICA

# Temperatura

- Temperatura é uma medida da energia cinética do sistema

# Energia cinética de uma molécula

- Considere uma molécula de gás ideal a uma velocidade  $v_x$  que choca com a parede de um cubo com comprimento de lado  $l$

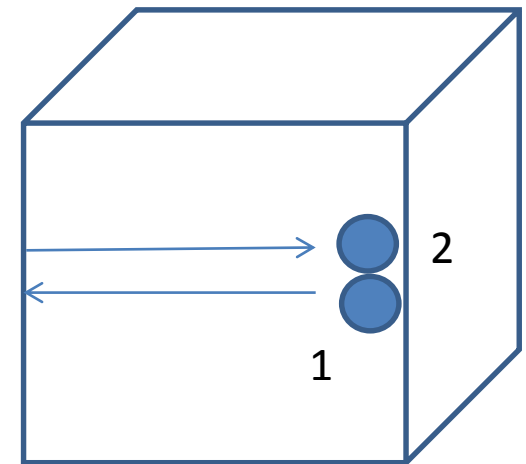
- O momento transferido é  $\Delta p = 2mv_x$

- A força exercida na parede é

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2mv_x}{\Delta t}, \Delta t = \frac{2l}{v_x}$$

- A pressão exercida na caixa é

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mv_x^2/l}{l^2} = \frac{m}{l^3} v_x^2 = \frac{m}{V} v_x^2$$



# Energia cinética de um gás perfeito

- Somando a pressão exercida por todas as moléculas

$$P = N \frac{m}{V} v_x^2$$

- A pressão exercida em todas as direcções

$$P = \frac{1}{3} \cdot N \frac{m}{V} v^2 = \frac{1}{3} \cdot \rho v^2$$

- A energia cinética é então:

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{1}{3} \cdot N \frac{m}{V} v^2 = \frac{2}{3} \cdot N \frac{1}{V} \frac{1}{2} m v^2 \\ PV &= NRT \end{aligned} \right\} \Leftrightarrow \frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} RT$$

*A temperatura é uma medida da energia cinética das moléculas de um gás perfeito*

# Calor específico de gases perfeitos (monoatômicos)

- Se só houver translação entre as moléculas

$$U = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}NRT$$

- Sabendo que  $c_v = \left(\frac{\delta u}{\delta T}\right)_v$  e que  $C_p = C_v + R_{gas}$ , então

$$c_v = \frac{3}{2}R_{gas}$$

$$c_p = \frac{5}{2}R_{gas}$$