

Aula de Física do Calor (Profa. Kaline Coutinho)

Hoje: 1ª Lei da Termodinâmica

Aulas passadas: - Exp. Joule; Sistema + ambiente; paredes (Universo);
 - $dQ = mcdT$ (se não envolve ^{T.E.E.} transição de fase)

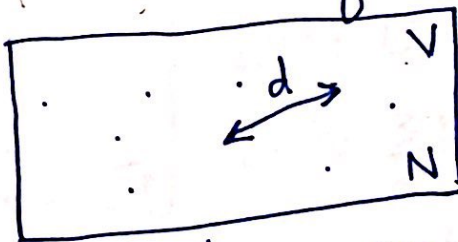
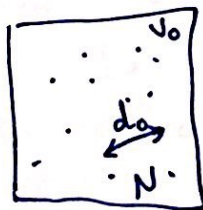
- Gás ideal
 ($E_{pot} = 0$)

$$U = E_{cin}; PV = nRT; PV = NkT$$

$U = \frac{1}{2} kT N \cdot \nu$ $\nu =$ graus de liberdade
 $\nu = 3$ gás atômico
 $\nu = 5$ gás moléculas diatômicas rígidas
 $\nu = 6$ gás moléculas poliatômicas

Monoatômico $U = \frac{3}{2} NkT \Rightarrow U(T)$ $U \uparrow T \uparrow$

- Gás Real $U(T, V)$



$U \uparrow T \uparrow$
 $U \downarrow V \uparrow$

- Trabalho (W) em Mecânica $\Rightarrow$ sistema conservativo

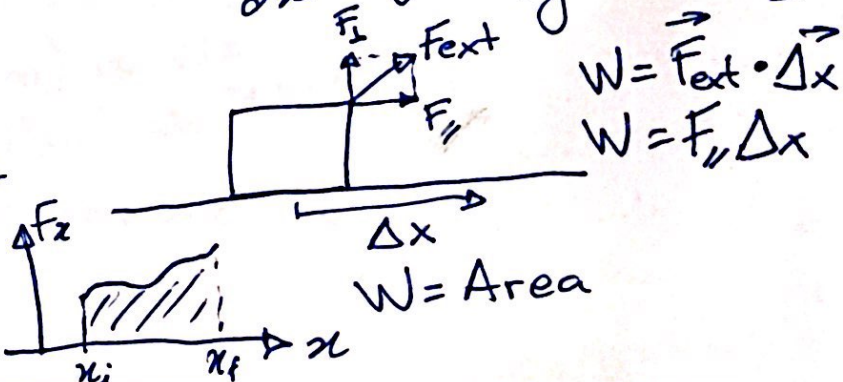
$$\Delta E = \Delta E_{cin} + \Delta E_{pot} = 0$$

$$\vec{F}_{ext} = -\vec{\nabla} U \Rightarrow F_x = -\frac{\partial U}{\partial x}; F_y = -\frac{\partial U}{\partial y}; F_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

Gravitacional $U = mgy \Rightarrow F_y = -mg$

Elastico $U = \frac{1}{2} kx^2 \Rightarrow F_x = -kx$

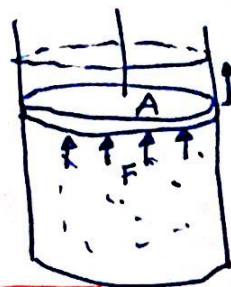
$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} \Rightarrow W = \int_{s_i}^{s_f} \vec{F} \cdot d\vec{s}$$



Hoje: 1ª Lei

$$dU = dQ - dW$$

Gás ideal
 $PV = NkT$



$$P = \frac{F}{A} \quad dV = A dh$$

$$dW = F dh = F \frac{dV}{A}$$

$$dW = PdV \quad \rightarrow \quad W = \int_{V_i}^{V_f} PdV$$

$$dU = dQ - PdV$$

dU = variação infinitesimal de energia interna do sistema

dQ = quantidade de calor que o sistema troca com o ambiente

dW = quantidade de trabalho realizado pelo sistema



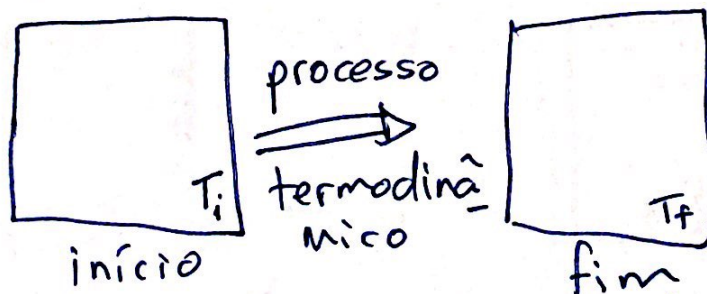
No Tipler

$$dU = dQ + dW_{\text{sobre}}$$

$$dW_{\text{sobre}} = -dW$$

Monoatômico

$$U = \frac{3}{2} NkT$$



$$\Delta U = U_f - U_i = \frac{3}{2} Nk(T_f - T_i)$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} Nk\Delta T$$

Processos termodinâmicos: muito lentos chamado de quase-estáticos

- Isotérmico: temperatura constante ($T = \text{fixo}$) $\Rightarrow \Delta U = 0$
- Isocórico: volume constante ($V = \text{fixo}$) $\Rightarrow W = 0$
- Isobárico: pressão constante ($P = \text{fixa}$) $\Rightarrow W = P\Delta V$
- Adiabático: não a troca de energia térmica ($Q = 0$)

Exemplos:

Processo isotérmico

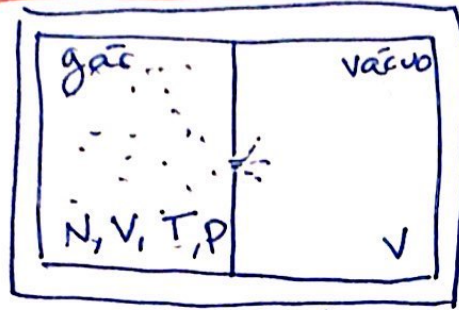
- expansão livre
processo rápido

$$P_i V_i = N k T$$

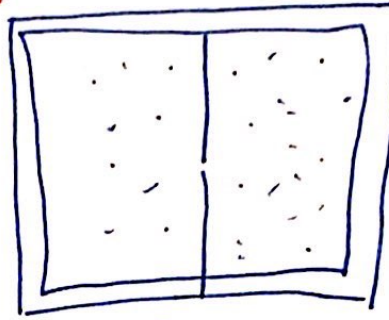
$$W = 0 \text{ e } Q = 0$$

Pela 1ª Lei $\Delta U = Q - W$

$\underset{0}{\Delta U} = \underset{0}{Q} - \underset{0}{W}$



isolado
início



final

$$N, T, 2V$$

$$P_f V_f = N k T$$

$$P_i V_i = P_f V_f$$

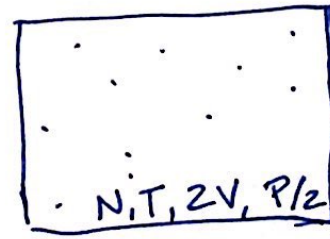
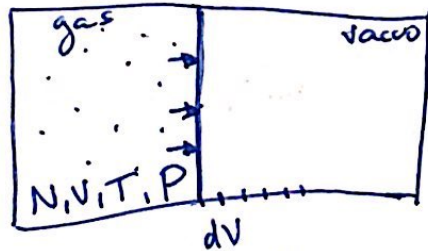
$$P V = P_f 2V$$

$$P_f = P/2$$

- Quase-estático isotérmico

$$T = \text{const}$$

$$\Delta U = 0$$



$$P V = N k T \Rightarrow P = \frac{N k T}{V}$$

$$W = \int_V^{2V} P dV$$

$$W = \int_V^{2V} \frac{N k T}{V} dV$$

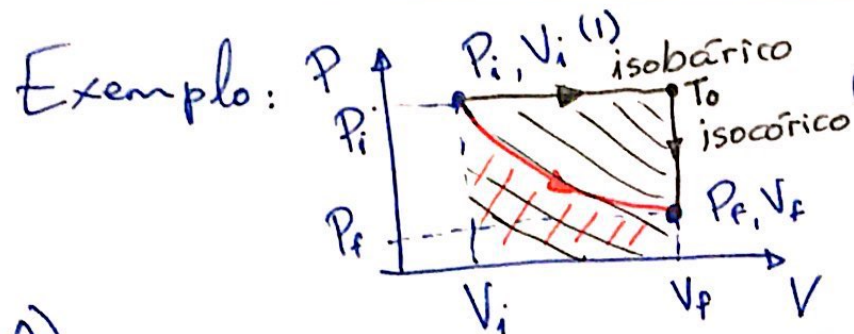
$$W = N k T \int_V^{2V} \frac{dV}{V} = N k T \ln V \Big|_V^{2V} = N k T [\ln(2V) - \ln(V)] = N k T \ln\left(\frac{2V}{V}\right) = N k T \ln 2$$

Pela 1ª Lei este processo só pode ocorrer se $Q = N k T \ln 2$

$$\Delta U = Q - W$$

↳ isotérmico $\Rightarrow \Delta U = 0 \therefore 0 = Q - W \therefore \boxed{Q = W}$

↑
não pode ocorrer
num sistema
isolado.



(2) Calcular a variação: Q e W por 2 caminhos diferentes:

A) Isotérmico $\Rightarrow P = \frac{NkT}{V}$ com $T = \text{const.}$

B) Isobárico + Isocórico.

A)

$$V_f > V_i \Rightarrow W > 0$$

$$\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$$

$$\Delta U = Q - W \Rightarrow Q = W > 0$$

$$W_A = \int_{V_i}^{V_f} P dV = NkT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = NkT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) \Rightarrow Q_A = NkT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

B) (1) Isobárico $P_i V_i = NkT$ $P_i V_f = NkT_0 \therefore T_0 = \frac{P_i V_f}{Nk} \Rightarrow \Delta U_i = \frac{3}{2} Nk(T_0 - T)$

$$W_i = \int_{V_i}^{V_f} P dV = P_i \int_{V_i}^{V_f} dV = P_i V \Big|_{V_i}^{V_f} \Rightarrow W_i = P_i (V_f - V_i)$$

Pela 1ª Lei $\Delta U_i = Q_i - W_i \therefore Q_i = \Delta U_i + W_i = \frac{3}{2} Nk(T_0 - T) + P_i (V_f - V_i)$

$$Q_i = \frac{3}{2} Nk \left(\frac{P_i V_f}{Nk} - \frac{P_i V_i}{Nk} \right) + P_i (V_f - V_i) = \frac{3}{2} (P_i V_f - P_i V_i) + \frac{2}{2} (P_i V_f - P_i V_i)$$

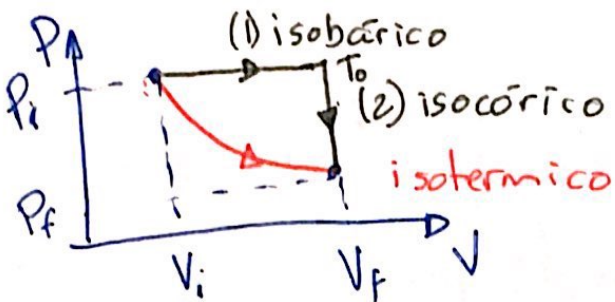
$$Q_i = \frac{5 P_i V_f - 5 P_i V_i}{2} = \frac{5}{2} P_i (V_f - V_i) = \frac{5}{2} Nk \underbrace{(T_0 - T_i)}_{\Delta T} \quad \leftarrow Q = N c_p \Delta T \quad c_p = \frac{5}{2} k$$

$$\boxed{Q_i = \frac{5}{2} Nk (T_0 - T_i)}$$

B) (2) Isocórico

$$\Delta V = 0$$

$$W_2 = 0$$



$$\Delta U_2 = \frac{3}{2} Nk(T - T_0)$$

Pela 1ª Lei $\Rightarrow \Delta U_2 = Q_2 - W_2$

$$Q_2 = \Delta U_2 = \frac{3}{2} Nk(T - T_0) \leftarrow Q = Nc_v \Delta T$$

$$c_v = \frac{3}{2} k$$

Isobárico + isocórico

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_B &= \Delta U_1 + \Delta U_2 \\ Q_B &= Q_1 + Q_2 \\ W_B &= W_1 + W_2 \end{aligned} \right\}$$

$$\Delta U_B = Q_B - W_B$$

$$\Delta U_B = \frac{3}{2} Nk(T_0 - T) + \frac{3}{2} Nk(T - T_0) = \frac{3}{2} Nk[(T_0 - T) - (T_0 - T)] = 0$$

$$W_B = W_1 + W_2 = P_i(V_f - V_i) + 0 = P_i(V_f - V_i) = P_i \Delta V$$

$$W_A = NkT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

$$W_A \neq W_B$$

$$Q_B = \frac{5}{2} Nk(T_0 - T) + \frac{3}{2} Nk(T - T_0)$$

$$Q_A = NkT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

$$Q_A \neq Q_B$$

U é uma função de estado, ou seja, não depende do caminho.

trabalho não é uma função de estado e portanto depende do caminho adotado.

calor não é uma função de estado.