

Tema 2. Principiul I al termodinamicii

Energia internă a corpului în starea de echilibru termodinamic

$$U = \sum_{k=1}^N \langle \varepsilon_k \rangle + \langle E_{p,int} \rangle$$

Pentru gazul ideal $\langle E_{p,int} \rangle \ll \sum_{k=1}^N \langle \varepsilon_k \rangle$ și $U = \sum_{k=1}^N \langle \varepsilon_k \rangle$

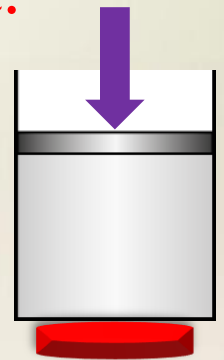
- 1) Proprietatea de aditivitate, 2) Funcție de stare

Energia internă a unui corp poate fi variată:

- 1) Efectuând asupra lui un lucru mecanic
2) Prin schimb termic

$$U_2 - U_1 = Q + L'; \quad L = -L'; \quad \Delta U = U_2 - U_1$$

$Q = \Delta U + L$ – principiul (legea) I al termodinamicii



Tema 2. Principiul I al termodinamicii

Sunt oare lucrul mecanic și cantitatea de căldură parametri de stare ai sistemului?

În cazul procesului cvasistatic

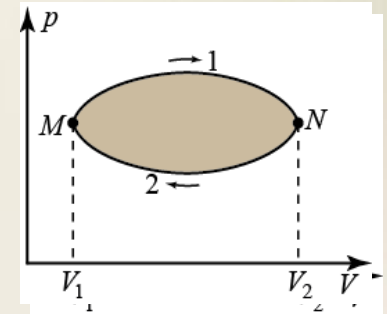
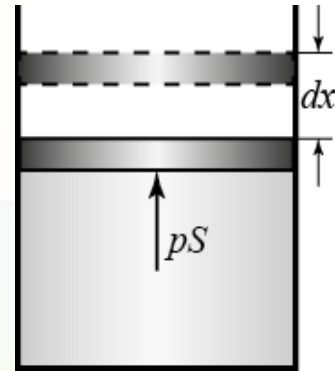
$$\delta L = pSdx = pdV$$

$$L = \int_{V_1}^{V_2} pdV$$

Lucrul mecanic nu este parametru de stare

$$\delta Q = dU + \delta L$$

$$\delta Q = dU + pdV$$



Atât lucrul mecanic L , cât și cantitatea de căldură Q nu sunt funcții de stare ale sistemului, ci funcții de proces

Tema 2. Principiul I al termodinamicii

Capacitatea calorică a unui corp C_c se numește cantitatea de căldură necesară pentru a încălzi corpul cu 1 K

$$C_c = \frac{\delta Q}{dT}$$

$$c = \frac{\delta Q}{mdT} \text{ – căldură specifică}$$

$$[c] = \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$C = \frac{\delta Q}{\nu dT} = \frac{\delta Q}{\frac{m}{M} dT} \text{ – căldură molară}$$

$$[C] = \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$c = \frac{C}{M}; \quad C_c = cm; \quad C_c = \frac{m}{M} C$$

$$\delta Q = cmdT; \quad \delta Q = \frac{m}{M} CdT \quad \text{sau}$$

$$Q = cm\Delta T = \frac{m}{M} C\Delta T$$

Tema 2. Principiul I al termodinamicii

Capacitatea calorică a unui corp este o funcție de procesul în care variază starea lui

$$C_c = \frac{dU + pdV}{dT}$$

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV$$

$$C_c = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] \frac{dV}{dT}$$

$V = \text{const.}$

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$$

$p = \text{const.}$

$$C_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$$

Tema 2. Principiul I al termodinamicii

Pentru un mol de gaz ideal

$$U_m = B_m T; \quad C_V = \left(\frac{\partial U_m}{\partial T} \right)_V = B_m \quad \longrightarrow \quad U_m = C_V T$$

Pe de altă parte,

$$U_m = \langle \varepsilon \rangle N_A = \frac{i}{2} k N_A T = \frac{i}{2} RT$$

prin urmare

$$C_V = \frac{i}{2} R$$

Energia internă a unei mase date de gaz ideal

$$U = \frac{m}{M} C_V T = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT$$

Tema 2. Principiul I al termodinamicii

Din ecuația de stare pentru un mol de gaz ideal

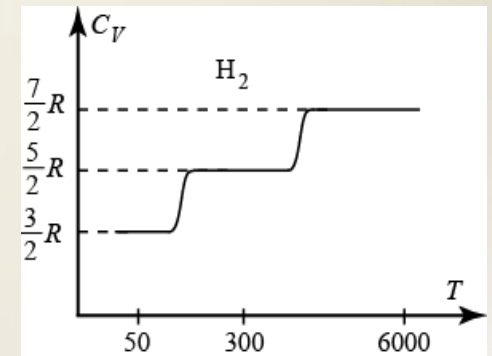
$$pV_m = RT \quad \longrightarrow \quad \left(\frac{\partial V_m}{\partial T} \right)_p = \frac{R}{p} \quad \text{ținând seama de} \quad \left(\frac{\partial U_m}{\partial V} \right)_T = 0 \quad \longrightarrow$$

$$C_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = C_V + [0 + p] \frac{R}{p} = C_V + R$$

Ecuția lui Mayer

$$C_p = C_V + R \quad \text{sau} \quad c_p = c_V + \frac{R}{M}$$

$$C_p = \frac{i}{2} R + R = \frac{i+2}{2} R$$



Tema 2. Principiul I al termodinamicii

Exprimăm energia internă a unui gaz ideal prin mărimea γ , numit parametru adiabatic:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$$

$$\gamma = \frac{C_v + R}{C_v} = 1 + \frac{R}{C_v} \quad \longrightarrow \quad C_v = \frac{R}{\gamma - 1}; \quad C_p = \frac{R\gamma}{\gamma - 1}$$

$$U = \frac{m}{M} C_v T \quad \longrightarrow \quad U = \frac{m}{M} \frac{RT}{\gamma - 1}$$

Conform ecuației de stare a gazului ideal $pV = \frac{m}{M} RT$

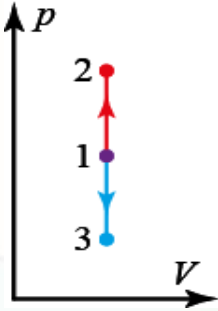
$$U = \frac{pV}{\gamma - 1}$$

Tema 2. Principiul I al termodinamicii

1. Procesul isocor ($V = \text{const.}$)

$$\delta L = p dV = 0 \quad \longrightarrow \quad \delta Q = dU + \delta L = dU$$

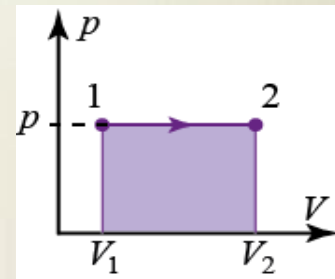
$$\delta Q = dU = \frac{m}{M} C_V dT = \nu C_V dT$$



2. Procesul izobar ($p = \text{const.}$)

$$\left. \begin{aligned} L &= p(V_2 - V_1) \\ p(V_2 - V_1) &= \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) \end{aligned} \right\} L = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) = \nu R(T_2 - T_1)$$

$$Q = \frac{m}{M} C_p (T_2 - T_1) = \nu C_p (T_2 - T_1)$$



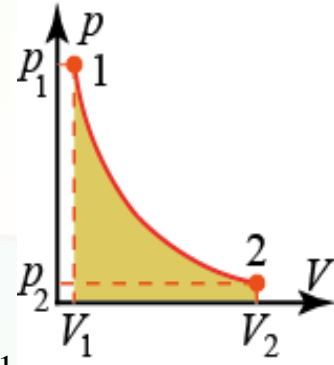
$$\Delta U = \frac{m}{M} C_V (T_2 - T_1) = \nu C_V (T_2 - T_1)$$

Tema 2. Principiul I al termodinamicii

3. Procesul izoterm ($T = \text{const.}$)

$$L = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \frac{m}{M} RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$\Delta U = \frac{m}{M} C_V \Delta T = 0 \quad \longrightarrow \quad Q = L = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2}$$



4. Procesul adiabetic

Procesul, pe parcursul căruia nu există schimb termic între sistemul fizic și mediul înconjurător ($\delta Q = 0$), se numește **adiabetic**.

$$\delta L = -dU$$

Perpetuum mobile de gradul I.

Procesul, unicul rezultat al căruia ar fi producerea lucrului mecanic fără careva variații în alte corpuri, este imposibil. Din principiul I al termodinamicii rezultă imposibilitatea perpetuum mobile

Tema 2. Principiul I al termodinamicii

$$\left. \begin{array}{l} 0 = \frac{d(pV)}{\gamma - 1} + pdV \\ d(pV) = pdV + Vdp \end{array} \right\} \longrightarrow \left(\frac{1}{\gamma - 1} + 1 \right) pdV + \frac{1}{\gamma - 1} Vdp = 0 \longrightarrow$$

$$\longrightarrow \gamma pdV + Vdp = 0 \longrightarrow \gamma \frac{dV}{V} + \frac{dp}{p} = 0 \longrightarrow d(\gamma \ln V + \ln p) = 0 \longrightarrow$$

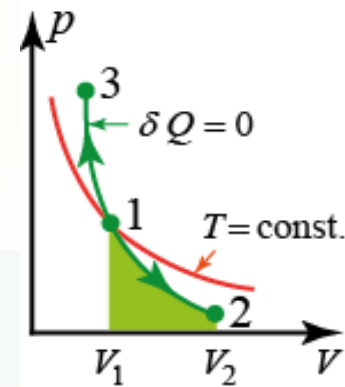
$$\longrightarrow \gamma \ln V + \ln p = \text{const.} \longrightarrow \ln(pV^\gamma) = \text{const.}$$

$$\left. \begin{array}{l} pV^\gamma = \text{const.} \\ T p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{const.} \\ TV^{\gamma-1} = \text{const.} \end{array} \right\} \text{ — ecuația lui Poisson}$$

Tema 2. Principiul I al termodinamicii

$$\delta L = -\frac{m}{M} C_V dT$$

$$L = -\frac{m}{M} C_V \int_{T_1}^{T_2} dT = \frac{m}{M} C_V (T_1 - T_2)$$



Având în vedere că $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$ și $C_V = \frac{R}{\gamma-1}$ obținem:

$$L = \frac{m}{M} \frac{RT_1}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] = \frac{p_1 V_1}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]$$