Tema 2. Principiul I al termodinamicii

Energia internă a corpului în starea de echilibru termodinamic

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

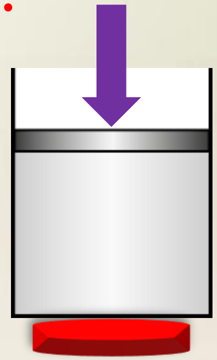
Pentru gazul ideal $\langle E_{p,\text{int}} \rangle << \sum_{k=1}^{N} \langle \varepsilon_k \rangle$ și $U = \sum_{k=1}^{N} \langle \varepsilon_k \rangle$

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

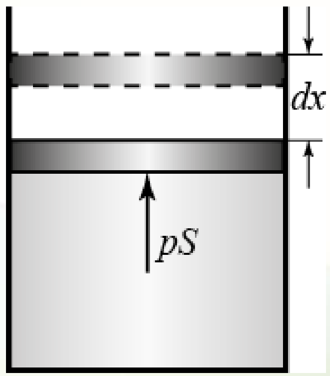


$$U_2 - U_1 = Q + L'; \qquad L = -L'; \qquad \Delta U = U_2 - U_1$$

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

Tema 2. Principiul I al termodinamicii

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



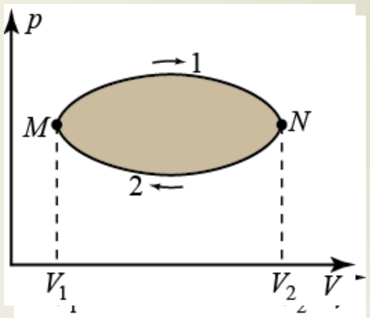
În cazul procesului cvasistatic

$$\delta L = pSdx = pdV$$

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

Lucrul mecanic nu este parametru de stare

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



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

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

$$c = \frac{\delta Q}{mdT}$$ – căldură specifică $$\left[c\right] = \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

$$C = \frac{\delta Q}{\nu dT} = \frac{\delta Q}{\frac{m}{M}dT}$$ – căldură molară $$\left[C\right] = \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$$

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

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

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

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

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

$V =$ const.

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

$p =$ 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

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

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

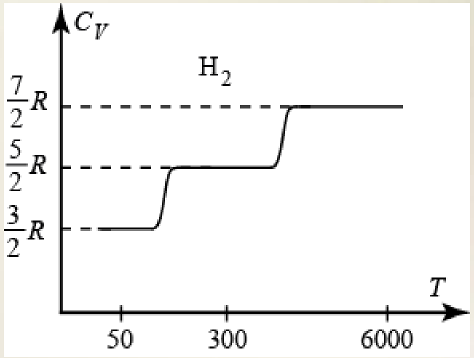
$$pV_m = RT \rightarrow \left(\frac{\partial V_m}{\partial T}\right)_p = \frac{R}{p} \quad \text{ținând seama de} \quad \left(\frac{\partial U_m}{\partial V}\right)_T = 0 \rightarrow$$

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

Ecuația 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:

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

$$\gamma = \frac{C_V + R}{C_V} = 1 + \frac{R}{C_V} \quad \Rightarrow \quad C_V = \frac{R}{\gamma - 1}; \quad C_p = \frac{R\gamma}{\gamma - 1}$$

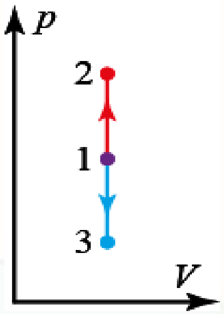
$$U = \frac{m}{M} C_V T \quad \Rightarrow \quad U = \frac{m}{M}\frac{RT}{\gamma - 1}$$

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 = const.)

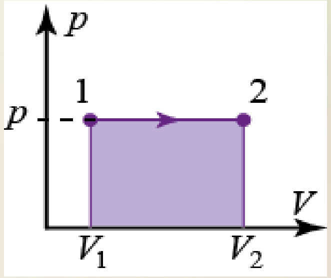


$$\delta L = pdV = 0 \quad \Rightarrow \quad \delta Q = dU + \delta L = dU$$

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

2. Procesul izobar (p = const.)

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

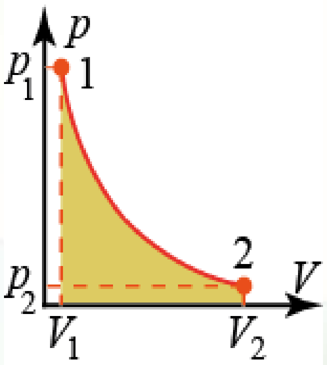


$$Q = \frac{m}{M} C_p\left(T_2 - T_1\right) = \nu C_p\left(T_2 - T_1\right)$$

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

Tema 2. Principiul I al termodinamicii

3. Procesul izoterm (T = const.)



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

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

4. Procesul adiabatic

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

$$\delta L = -dU$$

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

$$\left.\begin{aligned} 0 &= \frac{d(pV)}{\gamma-1} + pdV \\ d(pV) &= pdV + Vdp \end{aligned}\right\} \rightarrow \left(\frac{1}{\gamma-1}+1\right)pdV + \frac{1}{\gamma-1}Vdp = 0 \rightarrow$$

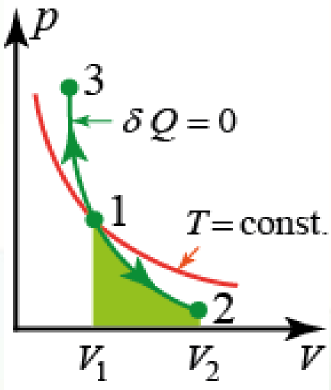
$$\rightarrow \gamma pdV + Vdp = 0 \rightarrow \gamma\frac{dV}{V} + \frac{dp}{p} = 0 \rightarrow d(\gamma \ln V + \ln p) = 0 \rightarrow$$

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

$$\left.\begin{aligned} pV^{\gamma} &= \text{const.} \\ Tp^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} &= \text{const.} \\ TV^{\gamma-1} &= \text{const.} \end{aligned}\right\} \text{ – ecuația lui Poisson}$$

Tema 2. Principiul I al termodinamicii

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



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

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

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