

ELEMENTE DE TERMODINAMICĂ

CONȚINUTURI

- 1. NOȚIUNI TERMODINAMICE DE BAZĂ**
- 2. PRINCIPIUL I AL TERMODINAMICII**
- 3. APLICAREA PRINCIPIULUI I AL TERMODINAMICII LA TRANSFORMĂRILE GAZULUI IDEAL**
- 4. MOTOARE TERMICE**

LISTA DE TERMENI

NOȚIUNI TERMODINAMICE DE BAZĂ

- masă moleculară
- masă moleculară relativă
- cantitate de substanță
- masă molară
- volum molar
- numărul lui Avogadro
- echilibru termic
- corespondența între valoarea numerică a temperaturii în scara Celsius și valoarea numerică a acesteia în scara Kelvin

PRINCIPIUL I AL TERMODINAMICII

- lucrul mecanic în termodinamică, mărime de proces
- interpretarea geometrică a lucrului mecanic în termodinamică
- energia internă a unui sistem termodinamic, mărime de stare
- căldura, mărime de proces
- înveliș adiabetic
- principiul I al termodinamicii
- coeficienți calorici (relații de definiție, unități de măsură în SI)
- relația Robert - Mayer

APLICAREA PRINCIPIULUI I AL TERMODINAMICII LA TRANSFORMĂRILE GAZULUI IDEAL

- energia internă a gazului ideal (monoatomic, diatomic, poliatomic)
- variația energiei interne, lucrul mecanic și cantitatea de căldură pentru transformările simple ale gazului ideal (izobară, izocoră, izotermă, adiabetică)

MOTOARE TERMICE

- explicarea funcționării unui motor termic
- descrierea principalelor cicluri termodinamice – Otto, Diesel – pe baza cărora funcționează motoarele termice

Lecția nr. 1 NOȚIUNI TERMODINAMICE DE BAZĂ MĂRIMI SPECIFICE STRUCTURII SUBSTANȚEI

I. Masa atomică = masa unui atom

Exprimată în kg, aceasta are valori foarte mici. De aceea se folosește „*unitatea de masă atomică*”:

$$1u = \frac{1}{12} m_{12C} = 1,66 \cdot 10^{-27} kg .$$

Toate masele atomice ale elementelor chimice exprimate în u sunt foarte apropiate de numere întregi. Numărul întreg cel mai apropiat se numește număr atomic de masă A .

II. Masa moleculară = masa unei molecule de substanță

Se calculează ca suma maselor atomice ale atomilor componenți.

III. Molul = cantitatea de substanță care, exprimată în grame, este numeric egală cu masa moleculară exprimată în u .

Exemplu: 1mol de hidrogen atomic are masa de 1 gram; 1 mol de hidrogen molecular H_2 are masa de 2 g; 1 mol de apă are masa de 18 g.

a) **masa molară μ** = masa unui mol de substanță. Se exprimă în g/mol sau kg/kmol.

b) **numărul de moli v** se poate exprima în funcție de masa totală de substanță m și masa molară μ :

$$v = \frac{m}{\mu} .$$

c) **numărul de molecule dintr-un mol** $N_A = 6,023 \cdot 10^{23} mol^{-1}$ (numărul lui Avogadro) – este același pentru toate substanțele. Dacă notăm cu N numărul total de molecule de substanță, atunci se poate scrie:

$$v = \frac{N}{N_A} .$$

d) **Volumul molar V_μ** = volumul unui mol de substanță. Pentru gaze, în condiții normale de presiune și temperatură ($p_0 = 101325 N/m^2$, respectiv $T_0 = 273,15 K$), volumul molar are aceeași valoare $V_{\mu_0} = 22,42 \cdot 10^{-3} m^3/mol$. Dacă V este volumul total de substanță, atunci:

$$v = \frac{V}{V_\mu} .$$

TEMA 1: pe o foaie de hârtie alba scrieți formule pentru numărul de moli, numărul de molecule dintr-un mol , volumul molar și valoarea numărului lui Avogadro.

Lecția nr.2 SISTEM TERMODINAMIC. STARE TERMODINAMICĂ. PROCES TERMODINAMIC.

Numim **sistem termodinamic** un ansamblu finit format din entități macroscopice care pot schimba energie între ele sau cu mediul exterior.

Clasificare:

- **sisteme închise:** nu pot schimba substanță cu mediul exterior (lichid în sticlă)
- **sisteme izolate:** nu schimbă nici energie nici substanță cu mediul exterior (costum pompier)
- **sisteme deschise:** schimbă atât energie cât și substanță cu mediul exterior (cub de gheață în pahar)

Ansamblul proprietăților sistemului la un moment dat determină **starea termodinamică** a acestuia, iar mărimile fizice asociate acestor proprietăți sunt numite **parametrii de stare**.

Parametrii de stare pot fi:

- ✚ **extensivi:** valoarea lor crește cu cantitatea de substanță
- ✚ **intensivi:** exprimă proprietăți locale ale sistemului
- ✚ **de poziție:** exprimă proprietăți spațiale ale sistemului
- ✚ **de forță:** descriu interacțiuni mecanice
- ✚ **interni/externi**
- ✚ **dependenți/independenți**

Un sistem este **omogen** dacă fiecare parametru intensiv care caracterizează sistemul este **uniform**, adică are aceeași valoare în tot sistemul.

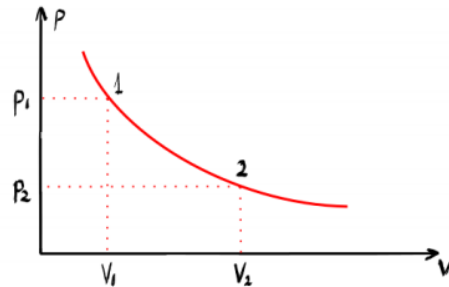
Părțile omogene ale unui sistem se numesc **faze**.

În cazul particular în care toți parametrii termodinamici ai unui sistem rămân invariabili în timp, se spune că , în condițiile exterioare date , sistemul este în stare de echilibru.

Un sistem termodinamic ce evoluează liber în condiții date, tinde întotdeauna spre o stare de echilibru.

La echilibru toate sistemele sunt omogene sau omogene pe porțiuni.

Când în urma unor interacțiuni cu mediul exterior, starea termodinamică a unui sistem se modifică, are loc o transformare de stare sau un **proces termodinamic**.

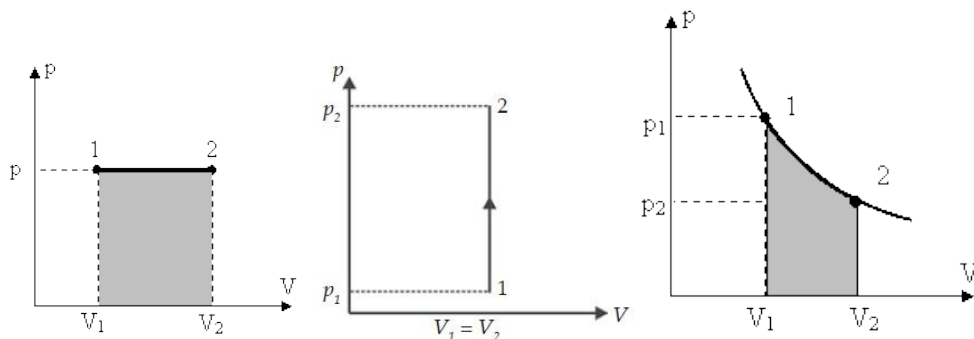


La modificarea condițiilor externe, orice sistem termodinamic evoluează către o stare de echilibru care satisface noile condiții în care se află. Timpul în care sistemul, aflat în echilibru în raport cu condițiile inițiale, ajunge la echilibru pentru noile condiții se numește **timp de relaxare**.

Trecerea unui sistem termodinamic dintr-o stare de echilibru în altă stare de echilibru se numește **proces termodinamic sau transformare de stare**. În general starea inițială și starea finală sunt stări de echilibru. Dacă sistemul evoluează suficient de lent încât și stările intermediare să fie considerate stări de echilibru, atunci procesul se numește **cvasistatic**.

Dacă sistemul poate reveni din starea finală în starea inițială trecând prin aceleași stări intermediare, procesul se numește **reversibil**.

Clapeyron a propus diagrama de evoluție a unui sistem termodinamic în coordonate p-V.



Lecția nr. 3 SISTEME TERMODINAMICE. PARAMETRII DE STARE

Sistemul termodinamic este orice corp macroscopic sau ansamblu de corpuri microscopice (atomi, molecule) bine delimitat.

Corpurile exterioare, care nu fac parte din sistemul termodinamic considerat, definesc **mediul exterior**.

Sistemul termodinamic poate fi:

- **izolat** (nu interacționează și nu schimbă substanță cu mediul exterior);
- **închis** (între sistemul termodinamic și mediul exterior există schimb de energie dar nu și de substanță);
- **deschis** (între sistem și mediul exterior are loc și schimb de energie și de substanță).

Starea sistemului termodinamic reprezintă totalitatea proprietăților lui la un moment dat.

Parametrii de stare sunt mărimi fizice care descriu starea sistemului termodinamic la un moment dat.

Parametrii de stare sunt de două feluri:

- parametrii extensivi, când el este suma parametrilor subsistemelor care alcătuiesc sistemul termodinamic.

Ex: volumul, masa, energia internă.

- parametrii intensivi, când parametrii de aceeași natură care descriu subsistemele sunt identici.

Ex: presiunea, temperatura, densitatea.

Parametrii de stare ai unui sistem termodinamic sunt mărimi fizice care caracterizează starea acestora la un moment dat.

Exemple:

I. Volumul V

$$[V]_{SI} = m^3$$

Pentru o coloană de fluid de lungime l și arie a bazei S , volumul este $V = S \cdot l$

II. Presiunea p – se definește ca raportul dintre forță (normală) și suprafață:

$p = \frac{F}{S}$, de unde rezultă și unitatea de măsură

$$[p]_{SI} = N/m^2 = Pa$$

Alte unități de măsură folosite pentru presiune:

$$1 atm = 101325 N/m^2;$$

$$1 torr = 1 mm\ col\ Hg = \frac{1}{760} atm;$$

$$1 barr = 10^5 N/m^2 .$$

Pentru o coloană de lichid cu înălțimea h și densitatea ρ , presiunea hidrostatică exercitată de aceasta este $p = \rho gh$.

III. Temperatura T – se măsoară n kelvin: $[T]_{SI} = K$

Se mai folosesc și scările empirice de temperatură, Celsius și Fahrenheit.

$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273,15 , \text{ unde zecimalele se neglijează și } \Delta T(K) = \Delta t(^{\circ}C)$$

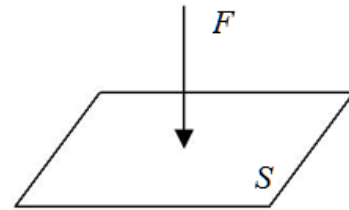
$$t(^{\circ}F) = \frac{9}{5} t(^{\circ}C) + 32 .$$

IV. Densitatea ρ – se definește ca raportul dintre masă și volum:

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ de unde } [\rho]_{SI} = kg/m^3 .$$

V. Concentrația n – se definește ca raportul dintre numărul de molecule și volum:

$$n = \frac{N}{V}, \text{ de unde } [n]_{SI} = m^{-3} .$$



TEMA nr. 2: Realizați o clasificare a sistemelor termodinamice

- definiți sistemul termodinamic și parametrii de stare
- scrieți formulele și unitățile de măsură pentru parametrii de stare despre care s-a discutat în lecție.

Lecția nr.4 STAREA DE ECHILIBRU TERMODINAMIC. TEMPERATURA.

Starea de echilibru termodinamic este acea stare a unui sistem termodinamic ai cărei parametri de stare nu se modifică în timp. Două sisteme termodinamice sunt în contact termic, dacă sunt îndeplinite simultan următoarele condiții:

- ansamblul celor două sisteme este izolat de mediul exterior;
- între cele două sisteme termodinamice este posibil schimbul de căldură, dar nu și de lucru mecanic.

Două sau mai multe sisteme termodinamice sunt în **echilibru termic** dacă, atunci când sunt puse în contact termic, nu schimbă căldură între ele.

Principiul tranzitivității echilibrului termic:

Dacă sistemele termodinamice A și B sunt în echilibru termic, iar B este în echilibru termic un al treilea sistem termodinamic C, atunci sistemele termodinamice A și C sunt în echilibru termic.

Temperatura este mărimea fizică ce caracterizează starea de echilibru termic. Temperatura este un parametru intensiv ce caracterizează gradul de încălzire al corpurilor.

Toate sistemele termodinamice aflate în echilibru termic au aceeași temperatură. Când se aduc în contact termic două corpuri cu temperaturi diferite, corpul care are temperatura mai mare va ceda căldură corpului cu temperatura mai mică.

Dispozitivele folosite pentru măsurarea temperaturii se numesc **termometre**. Orice termometru este caracterizat de o mărime termometrică. Ea poate fi: lungimea unei coloane de lichid, rezistența unui rezistor, volumul unui gaz la presiune constantă.

Scara de temperatură reprezintă corespondența între valoarea măsurată a mărimii termometrice ce caracterizează un termometru și valoarea temperaturii indicate de termometru.

În scara **Celsius**, temperaturile de reper sunt 0°C (temperatura de topire a gheții) și 100°C (temperatura de fierbere a apei) măsurate la presiune atmosferică normală.

Intervalul respectiv este împărțit în 100 părți egale, obținându-se gradul Celsius.

$$[t]_{SI} = ^{\circ}\text{C}$$

În scara Kelvin sau scara absolută, punctul zero este limita inferioară 273,15.

Temperatura absolută egală cu zero corespunde stării în care ar înceta agitația termică a moleculelor (practic nu poate fi atinsă). În această scară nu există temperaturi negative.

$$[T]_{SI} = K \text{ (Kelvin)}$$

Gradul Kelvin reprezintă 1/273,15 din temperatura stării triple a apei.

$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273,15$$
 - corespondența între valoarea numerică a temperaturii în scara

Celsius și valoarea numerică a acesteia în scara Kelvin.

Observație: $\Delta T = \Delta t$

TEMA nr. 3: a. Realizați un referat cu titlul TEMPERATURA-scări de temperatură.

b. Descrieți modul în care folosiți un termometru.

Lecția nr.5 MODELUL GAZULUI IDEAL. ECUAȚIA TERMICĂ DE STARE

Modelul gazului ideal are următoarele caracteristici :

- ✚ Gazul este format din foarte multe particule identice – aceste particule pot fi considerate puncte materiale
- ✚ Mișcării fiecărei particule i se pot aplica legile mecanicii clasice (newtoniană)
- ✚ Particulele se găsesc într-o stare de agitație termică
- ✚ Forțele intermoleculare nu se iau în considerare
- ✚ Ciocnirile dintre molecule și dintre acestea și pereții vasului ce conține substanța sunt considerate elastice.

Dacă un gaz se găsește în condiții normale de temperatură și presiune, valorile acestora sunt:

$$T(K)=273,15 \text{ K}$$

$$t(^{\circ}\text{C})=0^{\circ}\text{C}$$

$$p=1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

Numim volum molar (V_{μ}) volumul unui mol de substanță.

$$[V_{\mu}]_{\text{S.I.}} = \text{m}^3$$

Doar în cazul în care gazul este ideal, aflat în condiții normale de temperatură și presiune:

$$V_{\mu} = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{mol}$$

Numim număr volumic mărimea fizică notată cu „n”, raportul dintre numărul total de molecule și volumul ocupat de acesta.

$$n = \frac{N}{V}$$

În cazul în care gazul este ideal, aflat în condiții normale de presiune și temperatură, putem calcula :

$$n_c = \frac{N_A}{V_\mu} = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ molecule/m}^3$$

n_c – nr. lui Loschmidt

Ecuția termică de stare – face legătura între parametrii de stare ai unui gaz ideal la un moment dat. Se poate deduce din legea transformării generale:

Pentru un mol de gaz aflat în condiții normale $\frac{p_0 V_{\mu 0}}{T_0} = \frac{p V_\mu}{T}$, unde raportul

$$R = \frac{p_0 V_{\mu 0}}{T_0} = \frac{101325 \text{ N/m}^2 \cdot 22,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}}{273,15} = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$
 reprezintă constant universală

a gazelor. Se obține $\frac{p V_\mu}{T} = R$, deci $p V_\mu = RT$ și cum

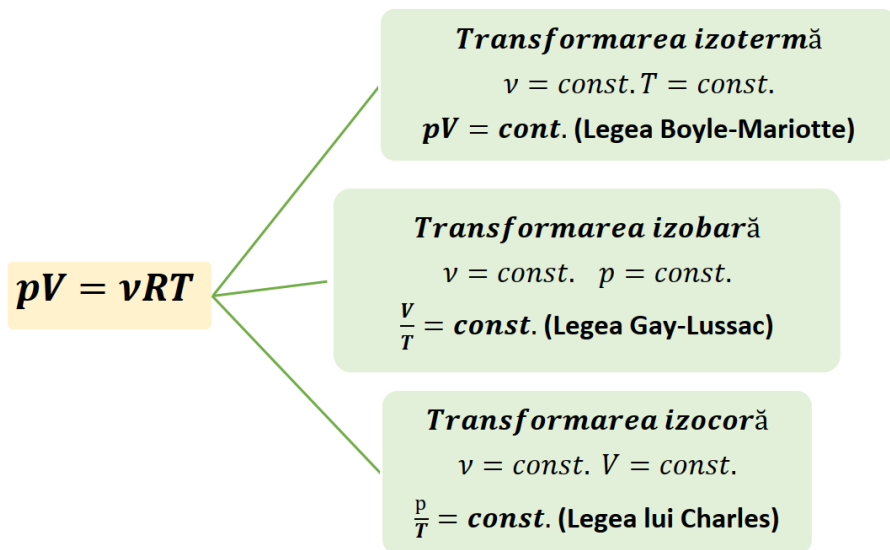
$v = \frac{V}{V_\mu}$, rezultă relația:

$$pV = \nu RT \text{ - ecuația termică de stare.}$$

$$pV = \nu RT$$

ecuația Clapeyron-Mendeleev

Ecuția Clapeyron-Mendeleev se mai numește ecuația termică a gazului ideal



Mișcarea de agitație termică

Mișcarea de agitație termică reprezintă starea de mișcare spontană, continuă, haotică și dependentă de temperatură a moleculelor dintr-un corp.

În natură, mișcarea de agitație termică nu încetează niciodată; teoretic, agitația termică încetează doar la temperatura de zero absolut (0 K).

Caracteristicile mișcării de agitație termică sunt:

- Moleculele oricărui corp, indiferent de starea lui de agregare, se găsesc într-o continuă mișcare dezordonată.
- Amplitudinea mișcării diferă în funcție de starea de agregare: moleculele solidului au o mișcare de oscilație în jurul nodurilor cristaline, iar moleculele gazului se mișcă liber în tot volumul.
- Agitația termică nu este impusă de o cauză exterioară.
- Agitația termică este spontană și nu încetează niciodată.
- Intensitatea mișcării de agitație termică crește cu creșterea temperaturii.
- Se poate stabili o legătură între starea de încălzire a unui corp și mișcarea de agitație termică a moleculelor corpului.

Lecția nr. 6 . TRANSFORMĂRILE SIMPLE ALE GAZULUI IDEAL

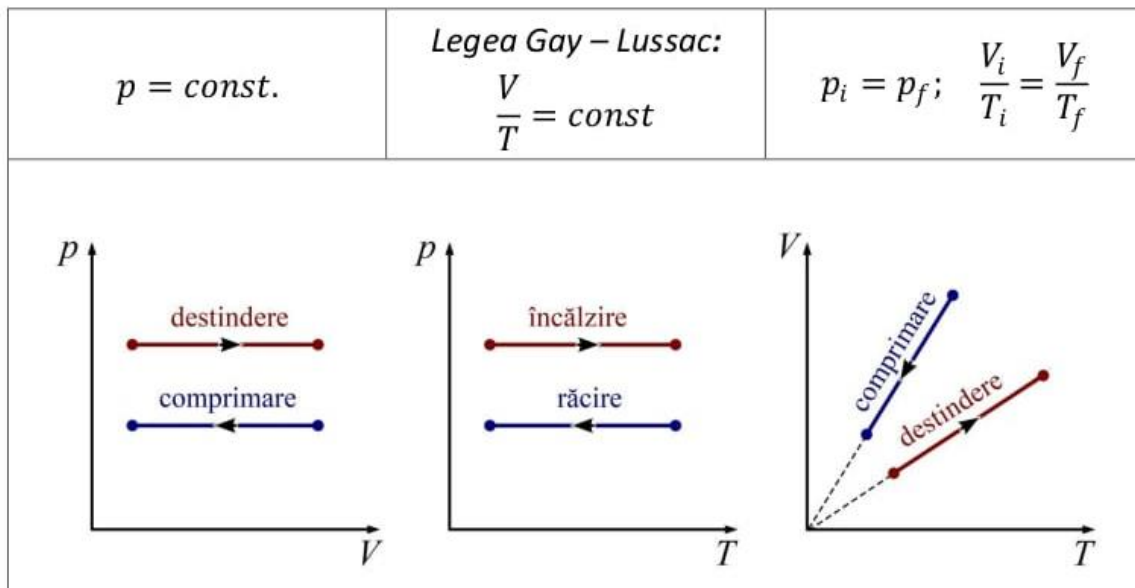
Trecerea sistemului de la o stare de echilibru la alta se numește *transformare* sau *proces termodinamic*.

Procesul cvasistatic este procesul în care abaterea de la starea de echilibru este foarte, foarte mică și toate stările consecutive prin care trece sistemul pot fi considerate stări de echilibru.

Procesul nestatic este constituit dintr-o succesiune de stări de neechilibru. În cazul unui proces nestatic, nu pot fi precizate decât starea inițială și starea finală.

Dacă, după parcurgerea unei transformări sau a unei succesiuni de transformări, *starea finală a sistemului coincide cu starea inițială*, se spune că sistemul a parcurs un *proces ciclic* sau un *ciclu*.

Transformarea izobară

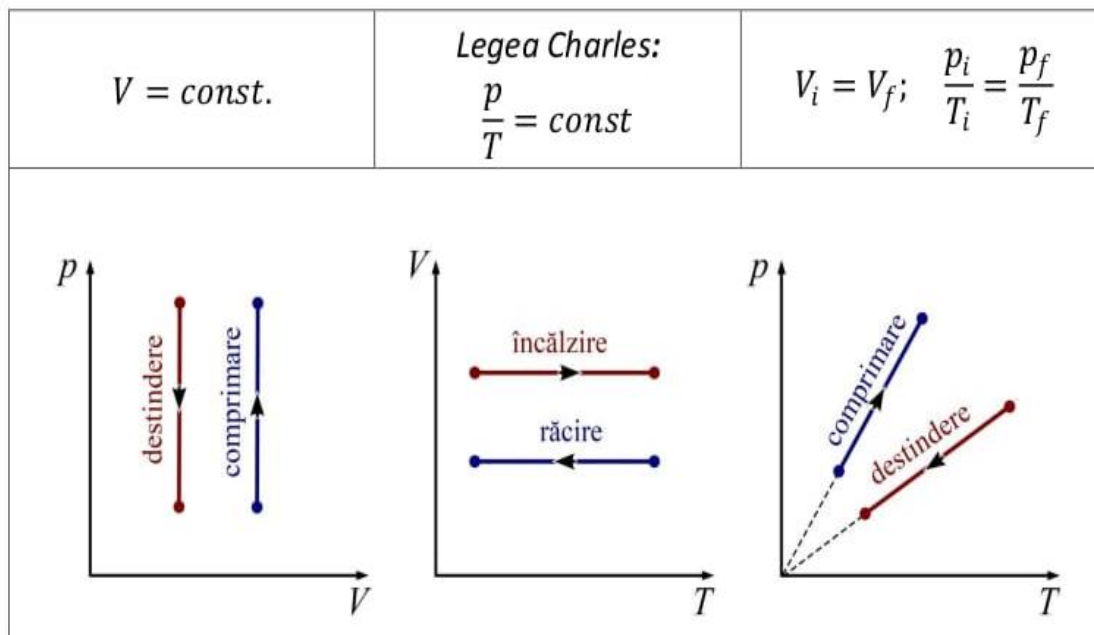


Transformarea izobară - este transformarea unui gaz în care presiunea rămâne constantă (p=const.)

Legea transformării izobare – Gay-Lussac: $\frac{V}{T} = \text{const.}$ sau $\frac{V_i}{T_i} = \frac{V_f}{T_f}$.

Grafic, o transformare izobară se reprezintă astfel:

Transformarea izocoră

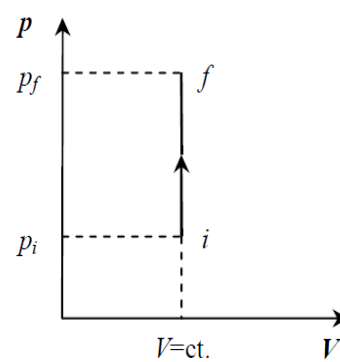
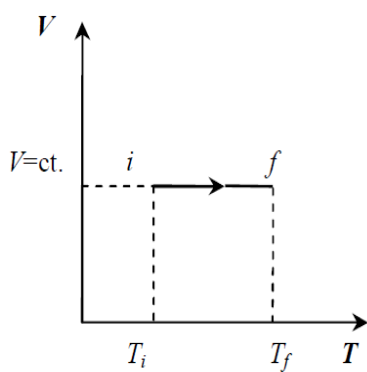
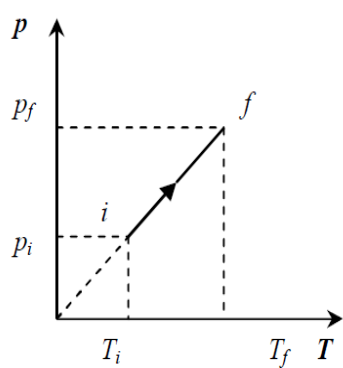


Transformarea izocoră – este transformarea unui gaz în care volumul rămâne constant

(V=const.)

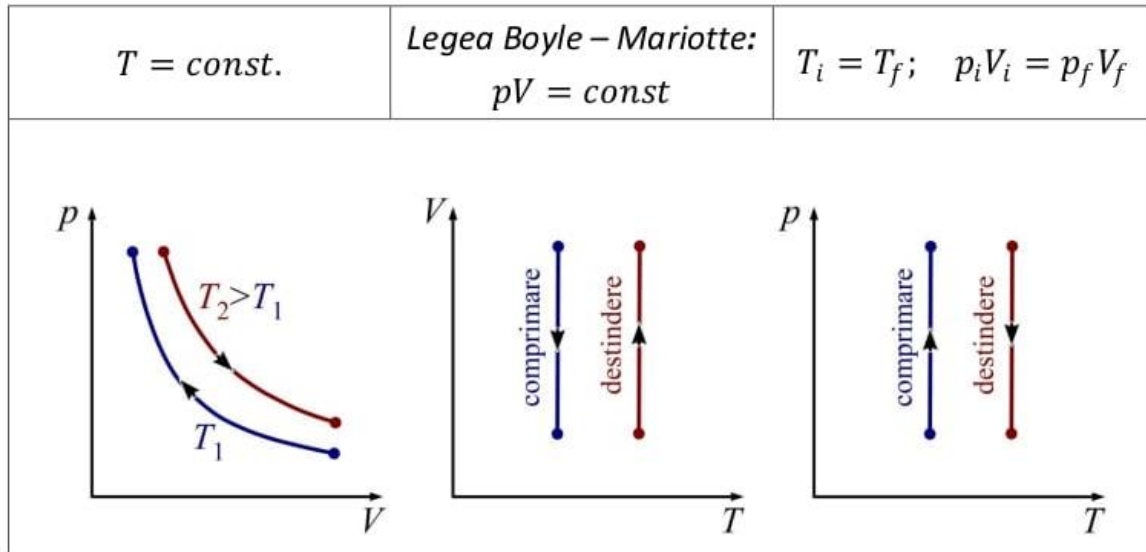
Legea transformării izocore – Charles: $\frac{p}{T} = \text{const.}$ sau $\frac{p_i}{T_i} = \frac{p_f}{T_f}$.

Grafic, o transformare izocoră se reprezintă astfel:



Lecția nr. 7 . TRANSFORMĂRILE SIMPLE ALE GAZULUI IDEAL

Transformarea izotermă

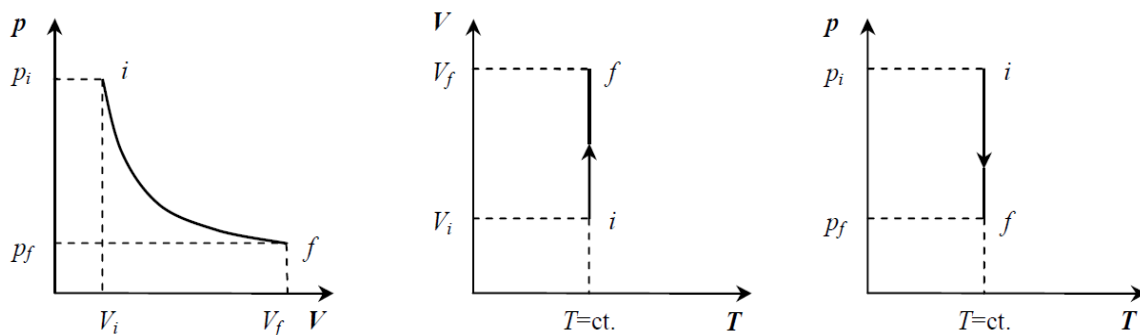


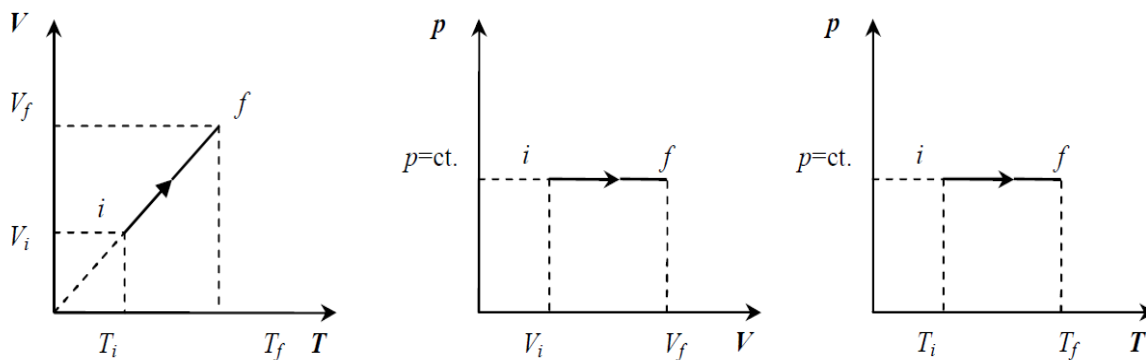
Transformarea izotermă - este transformarea unui gaz în care temperatura rămâne constantă ($T = \text{const.}$).

Legea transformării izoterme –Boyle-Mariotte:

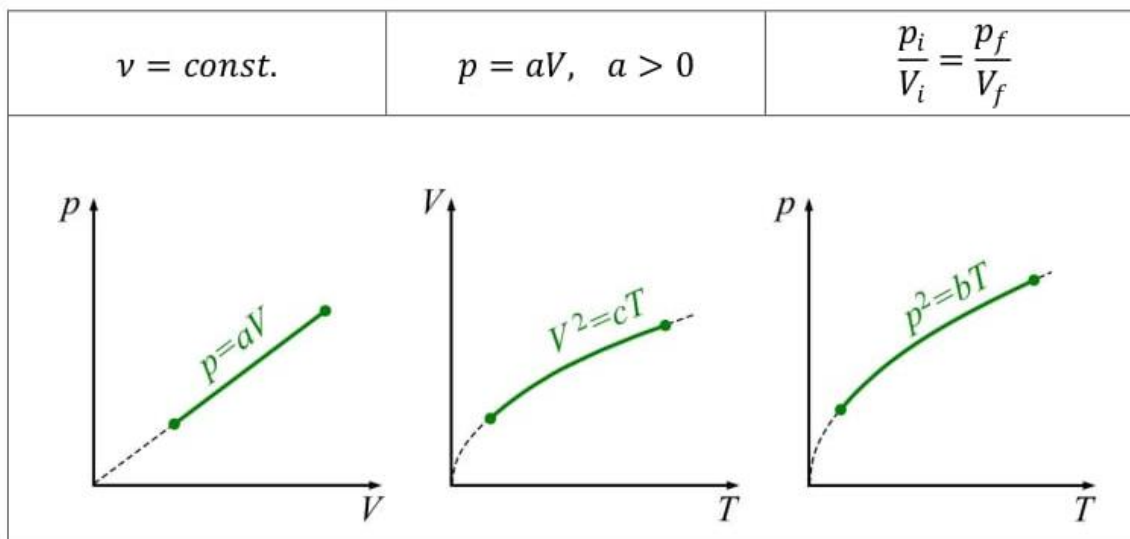
$$p \cdot V = \text{const. sau } p_i \cdot V_i = p_f \cdot V_f .$$

Grafic, o transformare izotermă se reprezintă astfel:





Transformarea liniară



Transformarea generală – este o transformare în care toți cei trei parametri ai gazului p , V și T se pot modifica.

Legea transformării generale este: $\frac{pV}{T} = \text{const.}$ sau $\frac{p_i V_i}{T_i} = \frac{p_f V_f}{T_f}$.

REZOLVAȚI URMĂTOARELE CERINȚE

1. Transformarea izotemă. (parametru constant, formulă lege, reprezentare P-V)
2. Reprezentați în coordonate (p, T) o transformare izotermă și o transformare izobară.
3. Volumului unui gaz aflat la presiunea $p_1=1\text{atm}=10^5\text{Pa}$ este micșorat izoterm de 5 ori, calculați presiunea finală p_2 a gazului.
4. În decursul unui proces volumul unui gaz este mărit izobar de 3 ori , calculați temperatura finală a gazului știind că inițial acesta se află la temperatura $t_1=27^\circ\text{C}$.
($T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273$)

Lecția nr. 8 LUCRUL MECANIC ÎN TERMODINAMICĂ

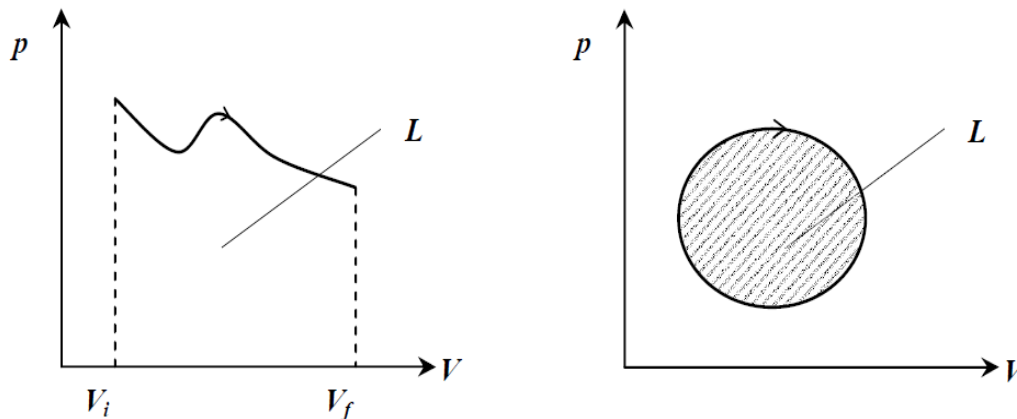
Pentru o transformare în care volumul variază puțin astfel încât să putem presupune presiunea constantă, lucru mecanic se definește astfel: $\delta L = p \cdot dV$.

Ne reamintim ca lucrul mecanic se masoară în Jouli:

$$[L]_{SI} = J$$

- pentru o transformare izocoră, $V = ct.$ și deci $L = 0$
- pentru o transformare izobară, $p = ct.$, $L = p(V_f - V_i)$, deci $L = p\Delta V$.
- pentru o transformare izotermă, $T = ct.$ și din ecuația termică de stare $pV = \nu RT$; deci
- $L = \nu RT \ln \frac{V_f}{V_i}$

Definiția integrală a lucrului mecanic arată că acesta este egal numeric cu aria cuprinsă sub graficul transformării în coordonate (p, V) , iar pentru un ciclu termodinamic, lucru mecanic este numeric egal cu aria ciclului:



Convenție de semn:

Dacă $L > 0$, atunci gazul efectuează lucru mecanic

Dacă $L < 0$, asupra gazului se efectuează lucru mecanic din exterior.

Lecția nr. 9 ENERGIA INTERNĂ.CĂLDURA

Energia internă U a unui sistem termodinamic reprezintă suma energiilor cinetice și potențiale de interacțiune ale tuturor moleculelor.

$$[U]_{SI} = J$$

Pentru gazul ideal, moleculele sunt identice, deci au aceeași masă m_0 și se neglijează interacțiunile dintre ele. Deci energia internă va fi suma energiilor cinetice ale celor N molecule:

$U = N \cdot \varepsilon_T$, unde $\varepsilon_T = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2}$ reprezintă energia cinetică medie a unei molecule, numită și energia termică, iar $\overline{v^2}$ este viteza pătratică medie (moleculele nu au aceeași viteză).

Energia termică depinde exclusiv de temperatură. Pentru gazul ideal monoatomic, există relația: $\varepsilon_T = \frac{3}{2} kT$, unde $k = 1,38 \cdot 10^{-23} J/K$ se numește constant lui Boltzmann.

Se obține $\overline{v^2} = \frac{3kT}{m_0}$. Dar masa totală de gaz fiind $m = N \cdot m_0$ și $v = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{\mu}$, rezultă $m_0 = \frac{m}{N} = \frac{\mu}{N_A}$ și deci $\overline{v^2} = \frac{3kN_A T}{\mu}$. Produsul constant $k \cdot N_A = R$ reprezintă constant universală a gazelor. Se obține astfel relația $\overline{v^2} = \frac{3RT}{\mu}$.

$$\text{Definim viteza termică a moleculelor gazului } v_T = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}.$$

Se poate obține și expresia energiei interne:

$$U = N \cdot \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} v \cdot N_A kT, \text{ de unde rezultă ecuația calorică de stare: } U = \frac{3}{2} vRT.$$

De asemenea, din ecuația termică de stare $pV = vRT$, înlocuind $R = k \cdot N_A$ și $v = \frac{N}{N_A}$, se obține $pV = NkT$ și cum $n = \frac{N}{V}$, rezultă forma primară a ecuației termice de stare $p = nkT$ și respectiv formula fundamentală a teoriei cinetico-moleculare: $p = \frac{2}{3} n\varepsilon_T$

Mai general, pentru gaze moleculare, energia cinetică medie a unei molecule este $\varepsilon_T = \frac{i}{2} kT$, unde i se numește *numărul de grade de libertate*.

Astfel, pentru:

Gazul monoatomic $i=3$

Gazul biatomic $i=5$

Gazul poliatomic $i=6$. Ecuția calorică de stare se scrie așadar mai general: $U = \frac{i}{2} \nu RT$.

CĂLDURA

Căldura schimbată de un sistem termodinamic într-o transformare cu mediul exterior se definește astfel:

$$Q = \Delta U + L, \text{ unde } [Q]_{SI} = J.$$

Convenție de semn:

Dacă $Q > 0$, sistemul primește căldură (Q_p)

Dacă $Q < 0$, sistemul cedează căldura (Q_c).

O transformare în care sistemul nu schimbă căldura cu mediul exterior ($Q = 0$) se numește transformare adiabatică.

Lecția nr.10 PRINCIPIUL I AL TERMODINAMICII

Enunț: În orice transformare, variația energiei interne a unui sistem nu depinde de stările intermediare prin care trece sistemul, ci doar de starea inițială și starea finală.

Concluzie: ΔU nu depinde de tipul transformării.

Relația $Q = \Delta U + L$ se numește ecuația principiului I al termodinamicii.

Consecințe:

1. Pentru o transformare adiabatică ($Q = 0$): rezultă $\Delta U + L = 0$, sau $L = U_i - U_f$. Deci sistemul poate efectua lucru mecanic fără să primească căldură pe baza energiei sale interne.

2. Pentru o transformare ciclică:

Starea inițială și cea finală coincid, deci $\Delta U = 0$. Rezultă $Q = L$. Apar situațiile:

a) $Q > 0, L > 0$ – sistemul primește căldură și efectuează lucru mecanic (mașina termică);

b) $Q < 0, L < 0$ – asupra sistemului se efectuează lucru mecanic din exterior și acesta cedează căldură (mașina termică inversă – frigiderul);

c) $Q = 0, L = 0$ – sistemul nu poate efectua lucru mecanic în mod ciclic, la nesfârșit, fără să primească căldură din exterior. Un sistem care ar putea face acest lucru se numește *perpetuum mobile de speța I*.

Concluzie: Principiul I arată că nu se poate construi un perpetuum mobile de speța

Lecția nr. 11 COEFICIENȚI CALORICI

Notăm: Q = căldura schimbată de un sistem cu mediul exterior

m = masa sistemului

ν = numărul de moli ai sistemului

ΔT = variația temperaturii.

I. Capacitatea calorică

$$C = \frac{Q}{\Delta T}, [C]_{SI} = \frac{J}{K}.$$

II. Căldura specifică

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}, [c]_{SI} = \frac{J}{kg \cdot K}.$$

Căldura specifică depinde de substanță. Pentru apă, $c = 4180 J/kgK$. De aici se definește caloria: $1 cal = 4,18 J$.

Pentru gaze, căldura specifică depinde de transformarea în care se face schimbul de căldură.

Astfel, notăm:

c_V = căldura specifică izocoră (la volum constant)

c_P = căldura specifică izobară (la presiune constantă).

III. Căldura molară

$$C_\mu = \frac{Q}{\nu \cdot \Delta T}, [C_\mu]_{SI} = \frac{J}{mol \cdot K}.$$

Se notează de asemenea: C_V = căldura molară izocoră (la volum constant), C_P = căldura molară izobară (la presiune constantă).

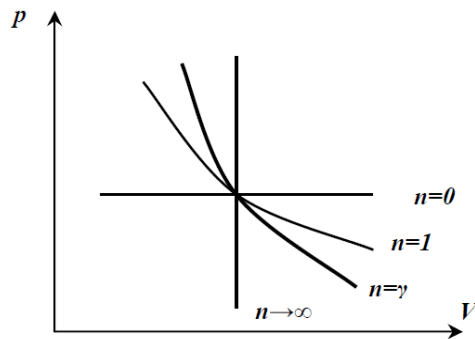
Pentru gazul ideal acestea depind de numărul de grade de libertate: $C_V = \frac{i}{2} R$, $C_P = \frac{i+2}{2} R$.

	Gaz monoatomic ($i=3$)	Gaz biatomic ($i=5$)	Gaz poliatomic ($i=6$)
C_V	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$	$3R$
C_P	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$	$4R$
$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{7}{5}$	$\frac{4}{3}$

Raportul $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ se numește exponentul adiabatic.

Se demonstrează că ecuația unei transformări adiabatică se poate scrie sub forma:

$pV^\gamma = ct.$. Ea reprezintă, ca și cele trei transformări simple ale gazelor, un caz particular al „transformării politrope” $pV^n = ct.$.



Astfel, pentru:

$n=0$ – transformare izobară;

$n=1$ – transformare izotermă;

$n=\gamma$ – transformare adiabatică;

$n \rightarrow \infty$ – transformare izocoră.

TEMA nr.5

1. Un corp este încălzit de la $t_1 = -5^\circ\text{C}$ până la $T_2 = 278,15\text{K}$. Variația temperaturii corpului este:

a) $273,15\text{K}$; b) $283,15\text{K}$; c) 0°C ; d) 10°C ; e) 13°C

2. Temperatura unui corp omogen cu masă de 1kg , care primește căldura de 25kJ crește cu 50 de grade. Care este căldura specifică a corpului?

R:

3. Scrieți formulele de definiție pentru următoarele mărimi și unitățile lor de măsură. Identificați termenii folosiți:

Marimea:	Formula de definiție:	Unitate de măsură:	Am notat:
Capacitate calorică			
Căldură			
specifică			
Căldură molară			

Lecția nr. 12 CĂLDURA, VARIAȚIA ENERGIEI INTERNE ȘI LUCRUL MECANIC**ÎN TRANSFORMĂRILE SIMPLE. PRINCIPIUL al II-lea al termodinamicii**

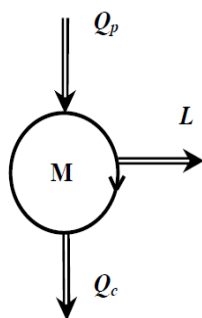
TRANSFORMAREA	DEFINIȚIE	LEGE	Q	ΔU	L
Izocoră	$V = ct.$	$\frac{p}{T} = ct.$	$\nu C_V \Delta T$	$\nu C_V \Delta T$	0
Izobară	$p = ct.$	$\frac{V}{T} = ct.$	$\nu C_P \Delta T$	$\nu C_V \Delta T$	$p \Delta V$
Izotermă	$T = ct.$	$pV = ct.$	$\nu RT \ln \frac{V_f}{V_i}$	0	$\nu RT \ln \frac{V_f}{V_i}$
Adiabată	$Q = 0$	$pV^\gamma = ct.$	0	$\nu C_V \Delta T$	$-\nu C_V \Delta T$

Observație: Din relația $Q = \Delta U + L$ pentru o transformare izobară, obținem $C_P - C_V = R$ - relația Robert – Mayer sau relația echivalentă în funcție de căldurile specific și de masa molară: $c_P - c_V = \frac{R}{\mu}$.

PRINCIPIUL II AL TERMODINAMICII

Principiul I arată că într-o transformare ciclică $\Delta U = 0$ și deci $Q = L$. Dacă $Q > 0$ și $L > 0$ – sistemul primește căldură și efectuează lucru mecanic (mașina termică). Se pune întrebarea: este posibil ca o mașină termică să transforme integral căldura primită în lucru mecanic? Experiența a arătat că nu. O formulare aproximativă a principiului II este legată de acest răspuns:

Enunț: Într-o transformare ciclică, un sistem termodinamic nu poate transforma integral căldura primită în lucru mecanic.



Întotdeauna există pierderi, adică o căldură cedată. Căldura Q care apare în principiul I este de fapt o sumă între o căldură primită și o căldură cedată: $Q = Q_P + Q_C$ și, deoarece $Q_C < 0$, $Q = Q_P - |Q_C|$.

Rezultă deci, că $L = Q_P - |Q_C|$.

Schematic, mașina termică funcționează astfel:

Randamentul mașinilor termice

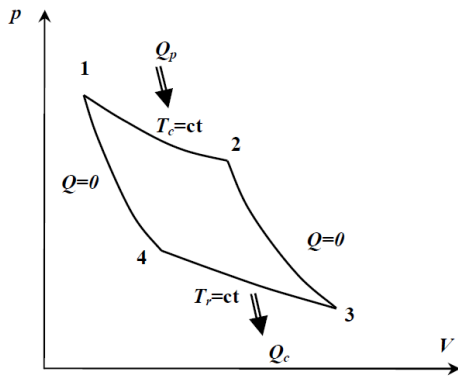
Prin definiție, $\eta = \frac{L}{Q_P}$. Rezultă $\eta = \frac{Q_P - |Q_C|}{Q_P} = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_P}$. Din principiul al II-lea, deoarece $Q_C \neq 0$ întotdeauna, rezultă că pentru orice mașină termică $\eta < 1$ sau $\eta < 100\%$.

Concluzie: Principiul II ne arată că nu se poate construi o mașină termică care să transforme integral căldura primită în lucru mecanic, adică să aibă randamentul de 100%.

O mașină care ar putea face acest lucru se numește *perpetuum mobile de speța a II-a*.

Ciclul Carnot

Ciclul Carnot este ciclul unui motor ideal cu valoare teoretică, el neputând fi realizat practic. **Este format din două transformări izoterme și două adiabatice:**



1-2 și 3-4 – izoterme;

2-3 și 4-1 – adiabatice.

Randamentul se calculează astfel:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_P}, \text{ unde } Q_P = \nu R T_c \ln \frac{V_2}{V_1}, \text{ iar } Q_C = \nu R T_r \ln \frac{V_4}{V_3}.$$

Din legea transformării adiabatice $pV^\gamma = ct.$, cum $\frac{pV}{T} = ct.$, rezultă $TV^{\gamma-1} = ct.$. Scriind ecuația pentru cele

două transformări adiabatice, obținem: $T_2 V_2^{\gamma-1} = T_3 V_3^{\gamma-1}$, respective $T_4 V_4^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1}$, unde $T_1 = T_2 = T_c$, adică temperatura „sursei calde”, iar $T_3 = T_4 = T_r$ este temperatura „sursei reci”.

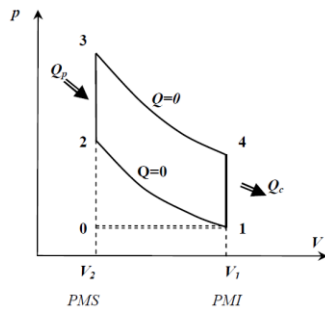
Se obțin relațiile: $\begin{cases} T_c V_2^{\gamma-1} = T_r V_3^{\gamma-1} \\ T_c V_1^{\gamma-1} = T_r V_4^{\gamma-1} \end{cases}$. Rezultă $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$. Înlocuind în formulele căldurilor,

obținem expresia randamentului ciclului Carnot: $\eta = 1 - \frac{T_r}{T_c}$.

Lecția nr. 14 Motorul Otto. Motorul Diesel

Este un motor:

- cu ardere internă;
- în patru timpi;
- cu aprindere prin scânteie;
- cu benzină.



Ciclul motorului Otto este format din două transformări adiabatice și două transformări izocore:

1-2 și 3-4 – adiabatice;

2-3 și 4-1 – izocore.

Căldurile schimbate pe ciclu sunt:

$$Q_P = \nu C_V (T_3 - T_2) \text{ și } Q_C = \nu C_V (T_1 - T_4) .$$

Scriind ecuațiile celor două transformări adiabatice și făcând înlocuirile de rigoare, se poate determina formula randamentului.

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}, \text{ unde } \varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \text{ se numește raportul de compresie.}$$

Timpii motorului sunt:

- 1. Admisia (transformarea 0-1)**
- 2. Compresia (transformarea 1-2)**
- 3. Aprinderea și detenta (transf. 2-3 și 3-4)**
- 4. Evacuarea (transf. 4-1 și 1-0)**

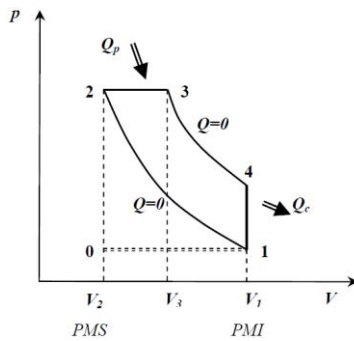
Fiecare timp corespunde unei mișcări între cele două volume extreme numite punct mort superior *PMS*, respectiv punct mort inferior *PMI*.

Motorul Diesel

Este un motor:

- cu ardere internă;
- în patru timpi;
- cu aprindere prin compresie;
- cu motorină.

Ciclul motorului Diesel este format din două transformări adiabatice, o transformare



izobară și una izocoră:

1-2 și 3-4 – adiabatice;

2-3 – izobară;

4-1 – izocoră.

Făcând calcule asemănătoare, se obține formula randamentului:

$$\eta = 1 - \frac{\rho^{\gamma}-1}{\gamma \varepsilon^{\gamma-1}(\rho-1)}, \text{ unde se definesc rapoartele de compresie } \varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \text{ și } \rho = \frac{V_3}{V_2}.$$

TEMA nr. 6 Realizați un referat despre Motorul Otto.

TEST DE EVALUARE

2 puncte 1. Definiti:

- mișcarea termică și precizați caracteristicile ei;
- molul;
- căldura specifică;
- sistemul termodinamic;
- starea de echilibru termodinamic;
- transformarea de stare (procesul termodinamic)

0,5 puncte 2. Formula capacității calorice este:.....

1,5 puncte 3. Într-un proces oarecare, un sistem efectuează lucrul mecanic $L = 500\text{J}$ și primește căldura $Q = 1200\text{J}$. Calculați valoarea energiei interne din proces.

1,5 puncte 4. Reprezentați în coordonate V-T și P-T o transformare izotermă, o transformare izocoră, o transformare izobară.

0,5 puncte 5. Scrieți relația de transformare a temperaturii din Kelvin în grade Celsius.

0,5 puncte 6. Unitatea de măsură pentru temperatură în SI este:

- ☐ A) grade Celsius;
- ☐ B) grade Kelvin;
- ☐ C) Joule-ul;
- ☐ D) caloria

0,5 puncte 7. Ecuația de stare a gazului ideal se scrie:.....

1,5 puncte 8. Volumului unui gaz aflat la presiunea $p_1 = 1\text{atm} = 10^5\text{Pa}$ este micșorat izoterm de 5 ori, calculați presiunea finală p_2 a gazului.

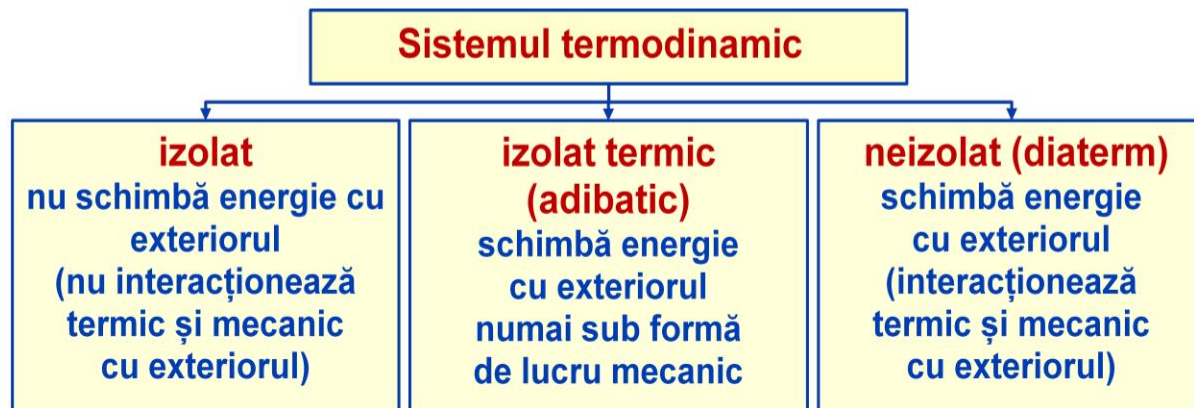
Se acordă 1,5 puncte din oficiu.

Lecția nr. 16 REZOLVARE DE PROBLEME

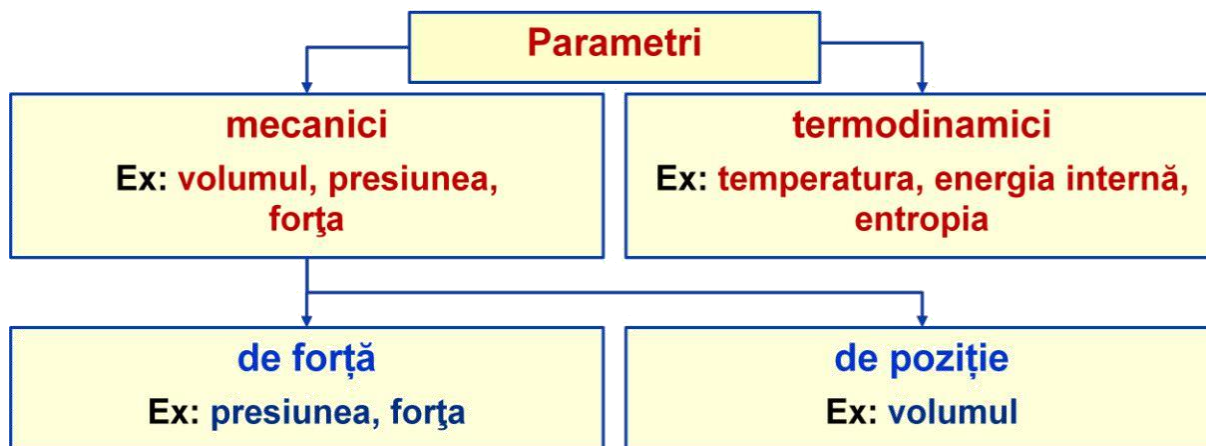
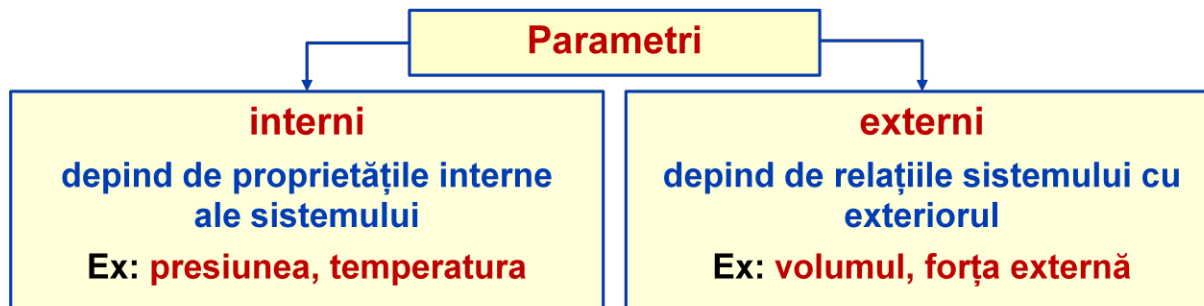
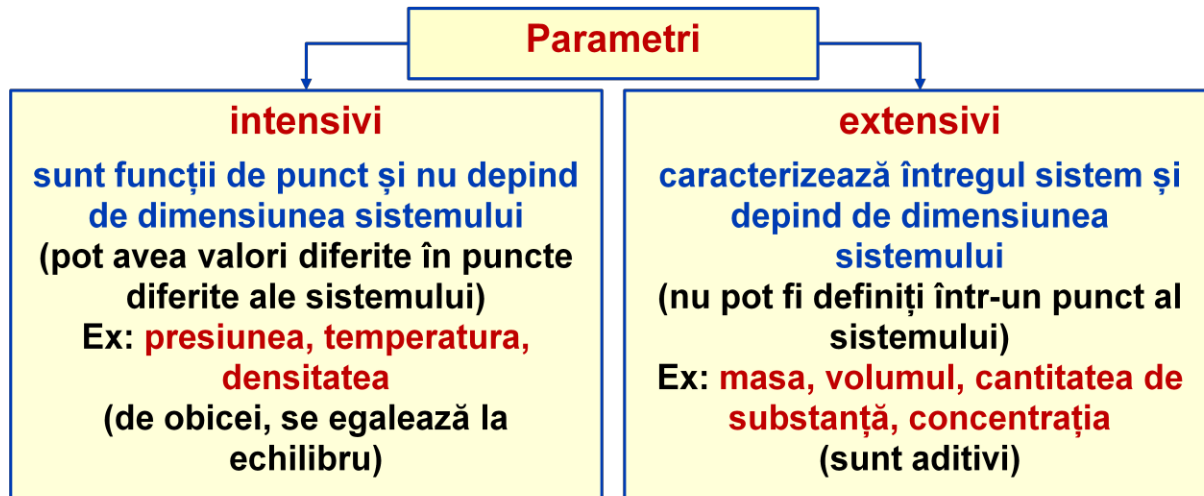
1. Un gaz ocupa volumul $V_1 = 0,25 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ la temperatura $T_1 = 300 \text{ K}$. Ce volum va ocupa gazul dacă temperatura :
 - a) crește la $T_2 = 324 \text{ K}$
 - b) scade la $T_3 = 270 \text{ K}$.
2. Volumul ocupat de un gaz este $V_1 = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Gazul este răcit izobar la temperatura $T_2 = 100 \text{ K}$, iar volumul său devine $V_2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Să se afle temperatura inițială T_1 a gazului.
3. Transformarea izotermă.
4. Reprezentați în coordonate (p, T) o transformare izotermă și o transformare izobară.
5. Volumului unui gaz aflat la presiunea $p_1 = 1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$ este micșorat izoterm de 5 ori, calculați presiunea finală p_2 a gazului.
6. În decursul unui proces volumul unui gaz este mărit izobar de 3 ori, calculați temperatura finală a gazului știind că inițial acesta se află la temperatura $t_1 = 27^\circ \text{C}$. ($T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273$)

Lectia nr. 17 RECAPITULARE FINALA

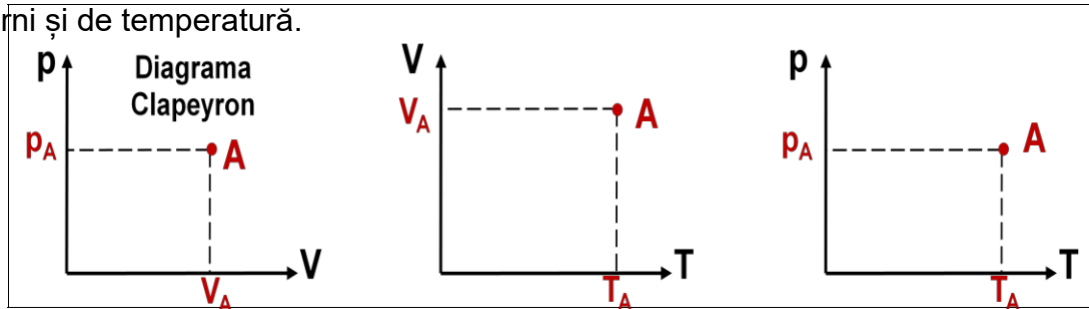
Să ne reamintim!!!



Tipurile de parametri de stare



Obs.: toți parametrii interni ai sistemului termodinamic sunt funcții de parametrii externi și de temperatură.



Procesul termodinamic

nestatic

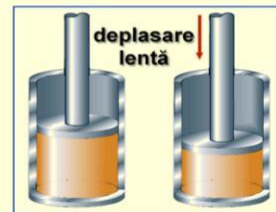
este procesul termodinamic în care stările intermediare nu sunt stări de echilibru termodinamic



Procesele naturale sunt procese nestatice.

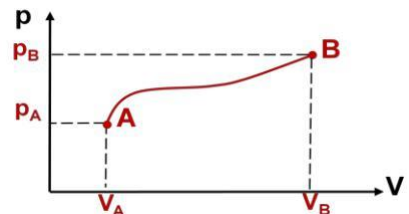
cvasistatic

este procesul termodinamic în care stările intermediare sunt stări de echilibru termodinamic



Un proces natural care se desfășoară foarte încet poate fi considerat proces cvasistatic

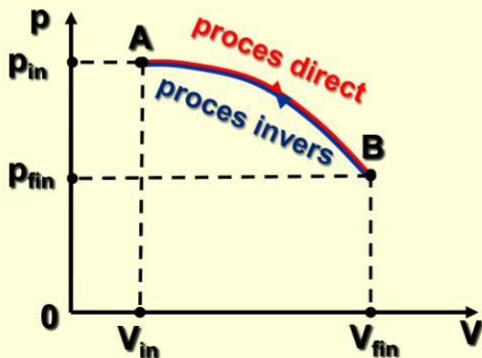
Procesele cvasistatice se pot reprezenta grafic într-o diagramă de stare printr-o curbă:



Procesul termodinamic

reversibil

este procesul termodinamic în care, la trecerea dintr-o stare în alta într-un sens sau în sens invers, sistemul trece prin aceleași stări intermediare de echilibru termodinamic.



ireversibil

este procesul termodinamic în care, la trecerea dintr-o stare în alta într-un sens sau în sens invers, sistemul trece prin alte stări intermediare (care pot fi de neechilibru termodinamic).

