

Mihaela CHIRIȚĂ

# Fizică

CULEGERE DE PROBLEME  
propuse și rezolvate

pentru

**CLASA A X-A**  
și examenul de  
**BACALAUREAT**

Editura **Tamar**

## Cuprins

**Enunțuri Rezolvări****Capitolul 1. Elemente de termodinamică**

	Teorie termodinamică și fizică moleculară	5	
1.1	Noțiuni termodinamice de bază	17	113
1.2	Lucrul mecanic și energia internă	33	147
1.3	Aplicații ale principiului 1 al termodinamicii	42	163
1.4	Aplicații ale principiului 2 al termodinamicii	53	189
1.5	Calorimetrie	65	232

**Capitolul 2. Circuite de curent continuu**

	Teorie electricitate	70	
2.1	Rezistența electrică. Legea lui Ohm pentru un circuit electric simplu	77	240
2.2	Gruparea rezistoarelor	79	244
2.3	Legile lui Kirchhoff	82	250
2.4	Energia și puterea electrică	96	279

<b>Bibliografie</b>	<b>315</b>
---------------------	------------

**Notă:** În calcule se consideră constantele  $R=8,31 \text{ J/molK}$ ,  $N_A=6,02 \cdot 10^{23} \text{ molecule/mol}$ ,  $1 \text{ atm} \approx 10^5 \text{ N/m}^2$  și  $\sqrt{2} \approx 1,41$ ,  $\sqrt{3} \approx 1,73$ ,  $\pi \approx 3,14$ ,  $\ln 2 \approx 0,7$ .

### 1. Mărimi legate de structura discontinuă a substanței

Substanțele sunt alcătuite din atomi și molecule. Deoarece masele lor sunt foarte mici s-a introdus prin convenție în 1961, **unitatea atomică** de masă care reprezintă a 12-a parte din masa izotopului de carbon  $C_6^{12}$ , astfel că

$$1u = \frac{m_{C_6^{12}}}{12} \approx 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

**Masa atomică relativă** este numărul care arată de câte ori este mai mare masa unui atom decât a 12-a parte din masa izotopului de carbon  $C_6^{12}$ .

**Masa moleculară relativă** este numărul care arată de câte ori este mai mare masa unei molecule decât a 12-a parte din masa izotopului de carbon  $C_6^{12}$ .

**Molul** este cantitatea de substanță exprimată în grame numeric egală cu masa moleculară relativă. Cantitatea de substanță  $\nu$  este o mărime fundamentală.

Numărul de molecule dintr-un mol este același indiferent de natura substanței și se numește numărul lui Avogadro, având valoarea  $N_A \approx 6,02 \cdot 10^{23}$ , astfel că  $\nu = \frac{N}{N_A}$ , unde  $N$  este numărul de particule ale substanței.

**Masa molară** este o mărime fizică scalară definită prin raportul dintre masa  $m$  a substanței și cantitatea de substanță,  $\nu$ , astfel că:  $\mu = \frac{m}{\nu}$ , unde  $m$  este masa substanței. În sistemul internațional masa molară se măsoară în kg/mol.

**Masa unei particule** este:  $m_0 = \frac{\mu}{N_A}$ .

**Volumul molar** este o mărime fizică scalară definită prin raportul dintre volumul  $V$  ocupat de substanță și cantitatea de substanță, astfel că:  $V_\mu = \frac{V}{\nu}$ .

În condiții normale de presiune  $p_0=1$  atm și temperatură  $t=0^\circ\text{C}$  volumul molar este  $V_\mu=22,42 \text{ L}$ .

### 2. Sisteme termodinamice

**Fenomenul termic** se înțelege orice fenomen legat de mișcarea permanentă, dezordonată, spontană și dependentă de temperatură la nivel molecular.

**Sistemul termodinamic** reprezintă orice corp sau ansambluri de corpu bine delimitate. Corpurile ce nu fac parte din sistem formează mediul exterior.

Sistemele termodinamice pot fi izolate sau neizolate.

**Sistemul termodinamic izolat** este un sistem care nu schimbă cu mediul exterior nici masă și nici energie.

**Sistemul termodinamic neizolat** este un sistem care poate schimba cu mediul exterior masă și energie. Dacă sistemul schimbă energie fără să schimbe masă se numește închis, iar dacă schimbă și masă și energie se numește deschis.

**Parametrii de stare** sunt mărimi fizice măsurabile care caracterizează proprietățile sistemului.

Parametrii de stare pot fi extensivi, dacă depind de părțile constitutive ale sistemului (masa, volumul) sau pot fi intensivi dacă nu depind de părțile constitutive ale sistemului (presiunea, temperatura).

Un sistem se află într-o **stare de echilibru termodinamic**, dacă parametrii de stare nu se modifică în timp. Într-o stare de echilibru termodinamic un fluid poate fi reprezentată grafic într-o diagramă Clapeyron ( $p, V$ ) printr-un punct.

Un sistem se află într-o **stare de neechilibru termodinamic** dacă parametrii săi se modifică în timp.

Prin **transformare de stare** sau **proces** se înlege trecerea sistemului termodinamic dintr-o stare în altă stare.

Transformarea se numește **transformare cvasistatică** dacă parametrii de stare variază foarte lent astfel ca sistemul termodinamic să se afle în permanență în stări de echilibru termodinamic. Transformările cvasistaticice se pot reprezenta grafic.

Transformarea se numește **transformare necvasistatică** dacă sistemul termodinamic pleacă dintr-o stare de echilibru termodinamic și ajunge într-o stare de echilibru termodinamic trecând prin stări de neechilibru. Transformările necvasistaticice nu se pot reprezenta grafic.

**Transformarea ciclică** este transformare în care sistemul termodinamic pleacă dintr-o stare de echilibru termodinamic și ajunge în aceeași stare, adică starea finală coincide cu cea inițială.

**Transformarea reversibilă** este acea transformare în care în urma schimbării semnului de variație a parametrilor de stare, sistemul evoluează din starea finală în starea inițială trecând prin aceleași stări intermediare de echilibru prin care a trecut în transformarea primară de la starea inițială la starea finală fără ca în mediul exterior să se producă vreo modificare. Transformările reversibile sunt cvasistaticice.

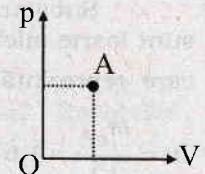
**Transformarea ireversibilă** este acea transformare care nu este reversibilă. Transformările necvasistaticice sunt ireversibile.

### 3. Temperatura empirică și temperatura absolută

Două sau mai multe sisteme termodinamice se află într-o stare de **echilibru termic** dacă atunci când sunt puse în contact termic și sunt izolate de exterior, între ele nu are loc schimb de căldură. În general în urma contactului termic între corpuși are loc schimb de căldură.

**Principiul echilibrului:** Dacă un sistem este scos din starea de echilibru și se izolează de mediul exterior el revine întotdeauna de la sine în starea de echilibru și nu o poate părăsi fără acțiunea unei forțe exterioare.

**Principiul tranzitivității echilibrului termic:** Dacă sistemele termodinamice  $A$  și  $B$  sunt în echilibru termic, iar  $B$  este în echilibru termic cu un al treilea sistem termodinamic  $C$ , atunci sistemele termodinamice  $A$  și  $C$  sunt în echilibru termic.



**Temperatura empirică** este o mărime fizică scalară care caracterizează starea de echilibru termodinamic al unui sistem, astfel că sistemele aflate în echilibru termic au aceeași temperatură. Dacă două sisteme sunt în contact termic și există schimb de căldură, sistemul care cedează căldură are temperatură mai mare. Unitatea de măsură pentru temperatura empirică este gradul Celsius.

**Temperatura absolută:** Între temperatura exprimată în grade Celsius  $t$  și temperatura absolută  $T$ , există relația:  $T = t + 273,15$ .

În sistemul internațional temperatura absolută se măsoară în grade Kelvin, astfel că:  $[T]_{SI} = K$ .

## 4. Modelul gazului ideal

Cel mai simplu model folosit este **modelul gazului ideal**.

Proprietățile acestuia sunt:

1. Gazul este format dintr-un număr mare de particule (atomi, molecule) identice.

2. Dimensiunile moleculelor sunt mici comparativ cu distanțele care le desparte, astfel că ele pot fi considerate puncte materiale.

3. Moleculele se află într-o mișcare haotică, continuă, astfel că luată separat mișcarea fiecărei molecule se supune legilor mișcării mecanicei clasice.

4. Forțele intermoleculare se neglijăază, astfel că moleculele se mișcă liber, traiectoriile lor fiind linii drepte.

5. Ciocnirile dintre molecule și pereții vasului sunt perfect elastice, astfel că moleculele exercită o presiune asupra pereților vasului în care se află.

Presiunea este definită ca fiind raportul dintre o forță exercitată perpendicular pe o suprafață și mărimea acelei suprafețe:  $p = \frac{F}{S}$ . În sistemul internațional presiunea se măsoară în  $[p]_{SI} = Pa = N/m^2$ .

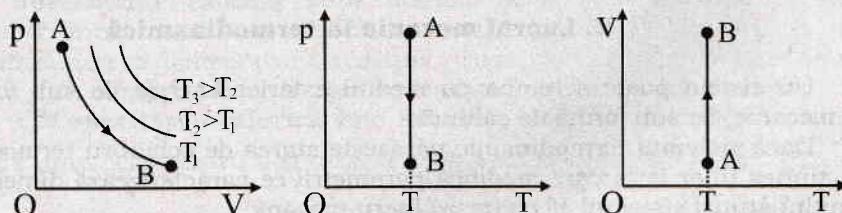
## 5. Ecuatia termică de stare a gazului ideal

**Ecuatia termică de stare** a gazului ideal stabilește o legătură unică între parametrii de stare ai unui gaz ideal aflat în stare de echilibru termodinamic:  $pV = nRT$ , unde  $p$  este presiunea,  $V$  este volumul,  $n$  este numărul de moli,  $T$  este temperatura absolută și  $R=8,31 \text{ J/molK}$  este constanta gazelor perfecte.

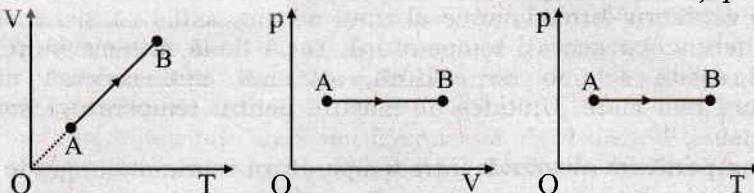
Transformările simple ale gazului ideal sunt acele transformări în decursul cărora masa gazului și unul dintre parametrii gazului nu se modifică.

a. **Trasformarea izotermă** este transformarea în care  $m=ct$  și  $T=ct$ .

În transformarea izotermă a gazului ideal presiunea gazului variază invers proporțional cu volumul gazului, astfel că:  $pV = const$ .



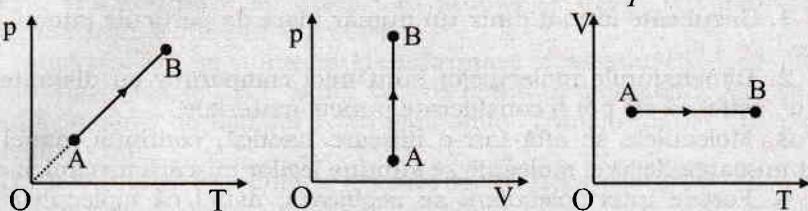
**b. Trasformarea izobară** este transformarea în care  $m=ct$  și  $p=ct$ .



În transformarea izobară a gazului ideal volumul gazului variază direct proporțional cu temperatura absolută a gazului, astfel că:  $\frac{V}{T} = const$ .

**c. Trasformarea izocoră** este transformarea în care  $m=ct$  și  $V=ct$ .

În transformarea izocoră a gazului ideal presiunea gazului variază direct proporțional cu temperatura absolută a gazului, astfel că:  $\frac{p}{T} = const$ .



## Principiile termodinamicii

### 1. Energia internă

**Energia internă** a unui sistem termodinamic este definită prin suma dintre energiile cinetice ale mișcărilor de agitație termică ale tuturor moleculelor și a energiilor potențiale datorită interacțiunilor dintre moleculele sistemului și energia potențială datorată interacțiunilor dintre molecule și mediul extern.

Pentru un gaz ideal energia internă este egală doar cu energia de agitație termică a moleculelor. Energia internă este o mărime fizică de stare și este și o mărime aditivă deoarece dacă fracționăm sistemul în mai multe părți, energia internă este suma energiilor interne ale părților componente.

**Ecuatia calorica de stare** pentru gazul monoatomic este:  $U = \frac{3}{2}vRT$ ,

unde  $U$  este energia internă,  $v$  este numărul de moli,  $T$  este temperatura absolută și  $R$  este constanta gazelor perfecte. Energia internă a gazului ideal depinde doar de temperatura absolută a acestuia.

În sistemul internațional energia internă se măsoară în  $U_{SI} = J$ .

### 2. Lucrul mecanic în termodinamică

Un sistem poate schimba cu mediul exterior energie fie sub formă de lucru mecanic, fie sub formă de căldură.

Dacă sistemul termodinamic părăsește starea de echilibru termodinamic sub acțiunea unor forțe care modifică parametrii ce caracterizează dimensiunile sistemului atunci sistemul efectuează lucru mecanic.

Respect parametrii de poziție sunt acei parametrii de stare care depind de dimensiunile sistemului și ale căror variații în timp ne indică că sistemul termodinamic părăsește starea de echilibru în urma schimbului de lucru mecanic cu mediul exterior și ne permit totodată să evaluăm acest lucru mecanic dacă cunoaștem forțele exterioare. Volumul este un parametru de poziție.

a. În transformarea izocoră, volumul nu variază și gazul nu schimbă lucru mecanic cu mediul exterior, astfel că  $L_{izocor} = 0$ .

Prin convenție dacă volumul gazului crește gazul efectuează lucru mecanic, iar dacă volumul gazului scade gazul primește lucru mecanic.

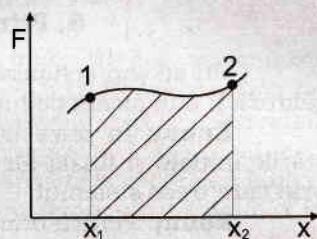
b. În transformarea izobară  $L_{izobar} = p(V_f - V_i)$ .

c. În transformarea izotermă  $L_{izotermă} = vRT \ln \frac{V_f}{V_i}$ .

În sistemul internațional lucrul mecanic se măsoară în  $[L]_{SI} = J$ .

### Interpretarea geometrică a lucrului mecanic:

Dacă presiunea unui gaz este reprezentată în funcție de volumul acestuia, atunci aria cuprinsă între curba presiunii, axa volumului și cele două ordonate construite prin extremități reprezintă fizic lucrul mecanic. Dacă transformarea este ciclică și parcursă în sensul acelor de ceasornic lucrul mecanic pe acea transformare este pozitiv și egal cu aria ciclului.



Lucrul mecanic este o mărime de proces.

**Învelișul adiabatic** este acel înveliș, care nu permite modificarea stării de echilibru termodinamic decât prin schimb de lucru mecanic între sistem și mediul exterior. **Transformarea adiabatică** este transformarea care se realizează într-un înveliș adiabatic. Conform legii conservării energiei:  $\Delta U = -L$ , deoarece dacă energia internă a sistemului scade, atunci acesta efectuează lucru mecanic.

### 3. Căldura

Spunem că un sistem schimbă **căldură** cu mediul extern dacă starea de echilibru a sistemului termodinamic se modifică fără ca sistemul să schimbe energie cu mediul exterior sub formă de lucru mecanic. Conform legii conservării energiei:  $\Delta U = Q$ , deoarece dacă energia internă a sistemului crește, atunci acesta primește căldură. Căldura este o mărime fizică scalară de proces.

În sistemul internațional presiunea se măsoară în  $[Q]_{SI} = J$ .

### 4. Coeficienți calorici

**Coeficienții calorici** sunt mărimi fizice care stabilesc o legătură cantitativă între cantitatea de căldură schimbată de un corp și variația corespunzătoare a temperaturii acestuia. Coeficienți calorici depind de natura corpului și de condițiile fizice în care se realizează schimbul de căldură.

1. **Capacitatea calorică** este mărimea fizică numeric egală cu căldura necesară unui corp pentru a-și varia temperatura cu un grad. Astfel:  $C = \frac{Q}{\Delta T}$ .

Capacitatea calorică este o mărime fizică caracteristică corpului.

În sistemul internațional capacitatea calorică se măsoară în  $[C]_{SI} = J/K$ .

**2. Căldura specifică** este mărimea fizică numeric egală cu căldura necesară unui corp cu masa de 1 kg pentru a-și varia temperatura cu un grad.

Astfel:  $c = \frac{Q}{m\Delta T}$ . Căldura specifică este o mărime fizică caracteristică substanței.

Între capacitatea calorică și căldura specifică există relația  $C = mc$ .

În sistemul internațional căldura specifică se măsoară în  $[c]_{SI} = J/kgK$ .

**3. Cădura molară** este mărimea fizică numeric egală cu căldura necesară unui mol de substanță pentru a-și varia temperatura cu un grad.

Astfel:  $C = \frac{Q}{v\Delta T}$ . Cădura molară este o mărime fizică care depinde de condițiile în care se face schimbul de căldură. Între căldura specifică  $c$  și cădura molară  $C$  există relația  $C = \mu c$ .

În sistemul internațional cădura molară se măsoară în  $[C]_{SI} = J/molK$ .

## 5. Primul principiu al termodinamicii

Un sistem schimbă energie cu mediul exterior în general și sub formă de căldură și sub formă de lucru mecanic.

**Enunț:** În orice transformare variația energiei interne depinde doar de stările inițială și finală ale sistemului fiind independentă de stările intermediare prin care trece sistemul.

**Enunț:** Pentru orice sistem termodinamic închis există o mărime de stare numită energie internă a cărei variație  $\Delta U$  în cursul unui proces este dată de relația:  $\Delta U = Q - L$ .

Aplicații ale principiului întâi.

### 1. Transformarea izocoră:

Din  $L=0$  și cum  $\Delta U = Q_v$ , iar  $C_v = \frac{Q_v}{v\Delta T} \Rightarrow Q_v = vC_v\Delta T$ , astfel că  $\Delta U = vC_v\Delta T$ .

### 2. Transformarea izobară:

$L_{izobar} = p(V_f - V_i) = pV_f - pV_i = vRT_f - vRT_i = vR(T_f - T_i) = vR\Delta T$ .

Cum  $C_p = \frac{Q_p}{v\Delta T} \Rightarrow Q_p = vC_p\Delta T$ , iar  $\Delta U = vC_v\Delta T$  deoarece variația energiei interne depinde doar de stările inițială și finală ale sistemului fiind independentă de stările intermediare prin care trece sistemul, atunci din primul principiu al termodinamicii  $Q = \Delta U + L \Rightarrow vC_p\Delta T = vC_v\Delta T + vR\Delta T \Rightarrow$  obținem:

**Relația lui Robert Mayer:**  $C_p = C_v + R \Rightarrow C_p > C_v$  sau  $\mu c_p = \mu c_v + R$

### 3. Transformarea izotermă:

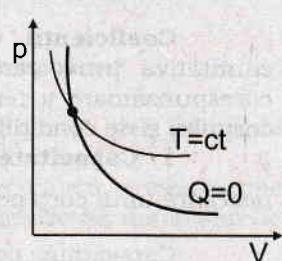
$L_{izoterm} = vRT \ln \frac{V_f}{V_i}$  și cum  $\Delta U = vC_v\Delta T = 0$  din primul

principiu obținem:  $Q_{izoterm} = L_{izoterm} = vRT \ln \frac{V_f}{V_i}$

### 4. Transformarea adiabatică:

$Q=0$  și din primul principiu obținem  $L = -\Delta U = -vC_v\Delta T$ .

În coordonate  $p$  și  $V$  ecuația transformării



Respect pentru pampej și cărti  
adiabatice este  $pV^\gamma = ct$ , unde  $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$  se numește exponentul adiabatic.  $\gamma$  este adimensional și supraunitar.

În coordonate  $p$  și  $V$  adiabata este mai înclinată decât transformarea izotermă.

Din ecuația  $pV^\gamma = ct$  și ecuația termică de stare  $pV = nRT$  prin împărțirea relațiilor obținem ecuația procesului adiabatic în coordonate  $T$  și  $V$ , astfel că:  $TV^{\gamma-1} = ct$ .

Din relația lui Mayer  $C_p = C_v + R$  și din definiția exponentului adiabatic  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  obținem:  $C_v = \frac{R}{\gamma - 1}$  și  $C_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}$ .

## 6. Principiul al doilea al termodinamicii

**1. Formularea Thompson:** Într-o transformare ciclică monotermă reversibilă sistemul termodinamic nu poate efectua lucru mecanic asupra mediului exterior. Dacă transformarea ciclică monotermă este și reversibilă atunci sistemul primește lucru mecanic de la mediul exterior.

**2. Formularea Clausius:** Nu este posibilă o transformare care să aibă ca rezultat trecerea de la sine a căldurii de la un corp cu temperatură dată la un corp cu temperatură mai ridicată.

## 7. Motoare termice

**Motorul termic** este un dispozitiv care funcționând după o transformare ciclică transformă o parte din căldura primită în lucru mecanic.

Randamentul motorului termic reprezintă raportul dintre lucru mecanic efectuat pe un ciclu și cantitatea de căldură primită, astfel că:  $\eta = \frac{L_{ciclu}}{Q_{primit}}$ . Cum

într-o transformare ciclică  $\Delta U = 0$  și  $\Delta U = Q_t - L_{ciclu} = 0 \Rightarrow L_{ciclu} = Q_t = Q_{primit} - |Q_{cedat}|$ .

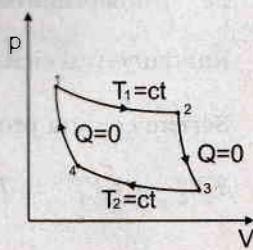
Obținem  $\eta = 1 - \frac{|Q_{cedat}|}{Q_{primit}}$ . Randamentul motorului termic este întotdeauna adimensional și subunitar.

### Ciclul Carnot

**Ciclul Carnot** este un ciclu ideal format din două izotermă și două adiabate.

Randamentul ciclului Carnot este

$$\eta_C = 1 - \frac{|Q_{34}|}{Q_{12}} = 1 - \frac{vRT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{vRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}. \text{ Din ecuațiile transformărilor}$$



Respect pentru oameni și cărti  
adiabatice 2-3 și 4-1 obținem:  $T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$  și  $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}$ . Prin împărțirea

relațiilor obținem:  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$ , astfel că randamentul ciclului Carnot este  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

Randamentul ciclului Carnot nu depinde de natura substanței de lucru și depinde doar de temperaturile absolute ale surselor utilizate.

Randamentul ciclului Carnot este cel mai mare randament comparativ cu randamentul unei mașini termice reale care ar funcționa între aceleași temperaturi  $T_1$  și  $T_2$  extreme.

### Motorul Otto

Motorul Otto este un motor cu aprindere prin scânteie, combustibilul folosit fiind un amestec de vaporii de benzină și aer.

Motorului Otto este un motor în patru timpi, iar ciclul este format din două adiabate și două izocore.

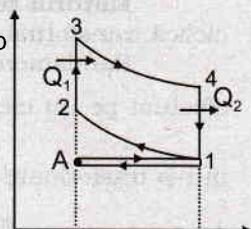
Primul timp este admisia amestecului carburant la presiunea atmosferică și este reprezentată prin izobara A-1. Pistonul se deplasează din punctul mort superior (PMS) în punctul mort inferior (PMI) și în cilindru prin supapa de admisie aflată deschisă pătrunde amestecul carburant.

Timpul al doilea se numește compresia amestecului carburant. Când pistonul a ajuns în PMI, supapa de admisie se închide și pistonul se deplasează brusc spre PMS comprimând adiabatic amestecul carburant.

Timpul al treilea reprezintă arderea și detenta. Când pistonul a ajuns în PMS o bujie produce o scânteie care aprinde brusc amestecul carburat, astfel că arderea se produce practic izocor. Ulterior gazele arse imping pistonul din PMI efectuând lucru mecanic.

Timpul al patrulea reprezintă evacuarea gazelor arse. Când pistonul a ajuns în PMI, supapa de evacuare se deschide și datorită diferenței de presiune dintre gazele din cilindru și cele din afară cea mai mare parte din gazele arse vor fi evacuate izocor. Ulterior cu supapa de evacuare deschisă pistonul revine din PMI în PMS și evacuează izobar la presiunea atmosferică restul de gaze arse, izobara A-1.

Prin definiție randamentul ciclului este:  $\eta_{cicl} = 1 - \frac{|Q_{cedat}|}{Q_{primit}}$ .



Cum pe transformările 2-3 și 4-1 nu se schimbă căldură cu mediul extern atunci  $Q_{23} = Q_{31} = 0$ . Calculăm căldurile pe celelalte două transformări. Pe transformarea 1-2,  $Q_{12} = vC_v(T_2 - T_1) > 0 \Rightarrow$  gazul primește căldură.

Pe transformarea 3-4  $Q_{34} = vC_v(T_4 - T_3) < 0 \Rightarrow$  gazul cedează căldură.

Randamentul ciclului este:  $\eta = 1 - \frac{|Q_{34}|}{Q_{12}} = 1 - \frac{T_3 - T_4}{T_2 - T_1}$

Scriem ecuația proceselor adiabatice în coordonate  $V$  și  $T$  astfel că:

$$T_2 V_2^{\gamma-1} = T_3 V_3^{\gamma-1} \Rightarrow T_2 = T_3 \left( \frac{V_3}{V_2} \right)^{\gamma-1} = T_3 \left( \frac{V_3}{V_1} \right)^{\gamma-1} = T_3 \varepsilon^{\gamma-1} \text{ și}$$

Respect pentru oameni și cărti

$$T_4 V_4^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1} \Rightarrow T_1 = T_4 \left( \frac{V_4}{V_1} \right)^{\gamma-1} = T_4 \left( \frac{V_3}{V_1} \right)^{\gamma-1} = T_4 \varepsilon^{\gamma-1} \Rightarrow$$

$$\text{randamentul ciclului Otto este : } \eta = 1 - \frac{T_3 - T_4}{T_3 \varepsilon^{\gamma-1} - T_4 \varepsilon^{\gamma-1}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}.$$

## Motorul Diesel

Motorul Diesel este un motor ce folosește drept combustibil motorina și este un motor cu aprindere prin compresie sau autoaprindere.

Motorul Diesel este tot un motor în patru timpi al cărui ciclu de funcționare conține două adiabate, o izobară și o izocoră.

Primul timp este admisia aerului la presiunea atmosferică și este reprezentată prin izobara A-1. Pistonul se deplasează din punctul mort superior (PMS) în punctul mort inferior (PMI) și în cilindru prin supapa de admisie aflată deschisă aerul pătrunde în cilindru.

Timpul al doilea se numește compresia aerului. Când pistonul a ajuns în PMI, supapa de admisie se închide și pistonul se deplasează brusc spre PMS comprimând adiabatic aerul.

Timpul al treilea reprezintă arderea și detenta. Când pistonul a ajuns în PMS un injector introduce în cilindru picături fine de motorină. Picăturile coboară datorită proprietății lor greutăți, se freacă de aerul fierbinte, se încălzesc și se autoaprind. Motorina arde pe măsură ce este introdusă în cilindru și din această cauză arderea se face izobar. Ulterior gazele arse imping pistonul din până PMI efectuând lucrul mecanic.

Timpul al patrulea reprezintă evacuarea gazelor arse. Când pistonul a ajuns în PMI, supapa de evacuare se deschide și datorită diferenței de presiune dintre gazele din cilindru și cele din afară cea mai mare parte din gazele arse vor fi evacuate izocor. Ulterior cu supapa de evacuare deschisă pistonul revine din PMI în PMS și evacuează izobar la presiunea atmosferică restul de gaze arse, izobara A-1.

Conform formulei randamentului:  $\eta = 1 - \frac{|Q_{cedat}|}{Q_{primit}}$ .

Calculăm căldurile pe fiecare transformare.  $Q_{12} = 0$ ;

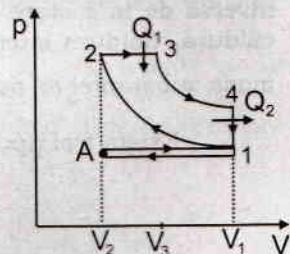
$$Q_{23} = \nu C_p (T_3 - T_2) = \nu \frac{\gamma R}{\gamma - 1} (T_3 - T_2) = \frac{\gamma}{\gamma - 1} (p_3 V_3 - p_2 V_2) \Rightarrow$$

$$Q_{23} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} p_2 (V_3 - V_2) = \frac{\gamma}{\gamma - 1} p_2 V_2 (\rho - 1) > 0$$

Utilizăm ecuația transformării adiabatice 1-2 scrisă în coordinate  $p$  și  $V$  astfel că:

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma \Rightarrow p_2 = p_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma = p_1 \varepsilon^\gamma \Rightarrow$$

$$Q_{23} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} p_1 \varepsilon^\gamma \frac{V_1}{\varepsilon} (\rho - 1) = \frac{\gamma}{\gamma - 1} p_1 V_1 \varepsilon^{\gamma-1} (\rho - 1); Q_{34} = 0;$$



$$Q_{41} = vC_v(T_1 - T_4) = \frac{vR}{\gamma - 1}(T_1 - T_4) = \frac{p_1 V_1 - p_4 V_4}{\gamma - 1} \Rightarrow Q_{41} = \frac{V_1(p_1 - p_4)}{\gamma - 1} < 0 \Rightarrow$$

pe transformarea 4-1 gazul cedează căldură.

Scriem ecuația procesului adiabatic 3-4 în coordonate  $p$  și  $V$ :

$$p_3 V_3^\gamma = p_4 V_4^\gamma \Rightarrow p_4 = p_3 \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^\gamma = p_2 \left( \frac{\rho V_2}{V_1} \right)^\gamma = p_2 \rho^\gamma \frac{1}{\varepsilon^\gamma} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{|Q_4|}{Q_{23}} = 1 - \frac{\rho^\gamma - 1}{\gamma \varepsilon^{\gamma-1} (\rho - 1)}$$

## 8. Calorimetrie

**Calorimetria** se ocupă cu măsurarea căldurii și a căldurii specifice.

Principiile calorimetriei sunt:

**1.** Într-un sistem izolat, format din corpuri cu temperaturi diferite, aflate în contact, după un anumit interval de timp, toate corpurile ajung la aceeași temperatură, realizându-se echilibrul termic, astfel că cele calde cedează căldură iar cele reci primesc căldură.

**2.** Căldura primită de un corp să se încălzească cu un număr de grade este egală cu modulul căldurii restituite ca să se răcească cu același număr de grade.

**3.** Dacă mai multe corpuri aflate la temperaturi diferite se află într-o incintă adiabatică, acestea fiind puse în contact termic ele schimbă căldură între ele astfel că suma căldurilor primite este egală cu modulul sumei căldurilor cedate. Conform convenției de semne  $\sum Q_i = 0$ , adică suma algebrică a căldurilor schimbate între corpurile aflate în incinta adiabatică este nulă.

## 9. Transformări de fază

**Transformarea de fază** reprezintă trecerea de la o stare de agregare la altă stare de agregare. Trecerea de la o stare mai ordonată la una mai puțin ordonată se face cu absorbție de căldură numita căldură latentă, iar trecerea inversă de la o stare dezordonată la un o stare ordonată se face cu cedare de căldură. Căldura latentă specifică reprezintă raportul dintre cădura latentă  $Q$  și masa substanței  $m$ , astfel că  $\lambda = \frac{Q}{m}$ , unde  $\lambda$  este căldura latentă specifică.

Există trei tipuri de schimbări de fază.

### 1. Vaporizarea și condensarea.

Prin **vaporizare** substanța trece de la faza lichidă la cea gazoasă și necesită absorbție de căldură.

Vaporizarea se poate realiza în volum limitat sau în volum nelimitat.

Vaporizarea în volum limitat se poate realiza în vid sau atmosferă limitată.

**a. Vaporizarea în vid** este instantanee și se realizează până când presiunea vaporilor obținuți atinge la temperatura de lucru o presiune maximă numită presiunea a vaporilor saturanți.

Proprietățile presiunii vaporilor saturanți: