UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA

Facultatea de Fizică și Inginerie

Departamentul Fizica Aplicată și Informatica

Valentina NICORICI, Liliana DMITROGLO

Fizica moleculară

Ghid metodic pentru studenții

de la învățământ cu frecvență redusă

Specialitățile: ***Tehnologia informației;***

Inginerie și managementul calității

Aprobat de
Consiliul Calității al USM

Chișinău – 2020
CEP USM

CZU 539.1(076.5)
N 67

*Recomandat de Departamentul Fizica Aplicată şi Informatica
și de Consiliul Facultății de Fizică și Inginerie*

Recenzent: ***Petru CHETRUȘ***, *dr. în științe fizico-matematice,
conferențiar universitar*

DESCRIEREA CIP A CAMERELOR NAȚIONALE A CĂRȚII

Nicorici, Valentina.

Fizica moleculară : Ghid metodic pentru studenţii de la învăţământ cu frecvenţă redusă : Specialităţile: Tehnologia informaţiei ; Inginerie şi managementul calităţii / Valentina Nicorici, Liliana Dmitroglo ; Univ. de Stat din Moldova, Fac. de Fizică şi Inginerie, Dep. Fizica Aplicată şi Informatica. – Chişinău : CEP USM, 2020. – 56 p. : fig., tab.

Bibliogr.: p. 54 (11 tit.). – 50 ex.

ISBN 978-9975-149-75-4.

539.1(076.5)
N 67

ISBN 978-9975-149-75-4

CUPRINS

PREFAȚĂ

Prezentul ghid cuprinde probleme de fizică moleculară și termodinamică și este destinat studenților Facultății de Fizică și Inginerie, secția de învățământ cu frecvență redusă, precum și celor de la facultățile cu profil ingineresc din instituțiile tehnice.

La elaborarea ghidului, s-a ținut cont de legătura dintre tematica problemelor și curriculumul disciplinei. Cunoștințele matematice, necesare pentru rezolvarea problemelor, nu depășesc limitele unui curs obișnuit de matematică superioară, studiat la Facultatea de Fizică și Inginerie.

Materialul teoretic este divizat în două compartimente. În fiecare compartiment sunt prezentate succint și esențial note teoretice, formule de bază, exemple de rezolvare a unor probleme tipice și probleme pentru rezolvare individuală.

Ghidul este în concordanță cu planul de învățământ pentru specialitățile *Tehnologia informației* și *Inginerie și managementul calității*.

La finele cursului, studentul va fi capabil:

- să definească fenomenele naturii din domeniile Fizicii moleculare și Termodinamicii; să aplice legile fizicii pentru gazul ideal la rezolvarea problemelor practice cu ajutorul tehnologiilor informaționale; să evalueze posibilitățile de a rezolva rațional probleme practice și de a elabora în acest scop recomandările necesare;
- să descrie și să interpreteze corect experimentele ce stau la baza proceselor din domeniul Fizicii moleculare; să modeleze fenomenele și procesele fizice; să simuleze la calculator rezolvarea problemelor din fizica generală;

- să definească metodele de măsurare a mărimilor fizice ce caracterizează substanța sau instalația; să calculeze valorile constantelor și mărimilor fizice din date și măsurători directe și indirecte; să organizeze experiențe și demonstrații ce ilustrează diferite fenomene fizice sau să verifice anumite legi fizice.

Evaluarea finală constă din nota de la două lucrări de control, nota pentru lucrul individual și din nota de la examen.

Fiecare student va prezenta, în termenul indicat de profesor, lucrarea individuală într-un caiet, în care vor fi înregistrate în deplinătate enunțurile problemelor și rezolvările acestora. Valorile numerice ale mărimilor fizice la introducerea în formula de calcul trebuie să fie exprimate doar în unități SI. Lucrarea individuală va fi evaluată cu notă. La finele ghidului, în *Anexă,* este prezentat tabelul cu variantele lucrărilor individuale – probleme propuse pentru rezolvare. Studentul va primi varianta de lucrare individuală propusă de profesor.

În ghid sunt incluse probleme selectate din literatura de specialitate, inclusiv monografii, precum și probleme compuse de autori și rezolvate la orele practice. Rezolvarea acestor probleme contribuie la însușirea temeinică a cursului *Fizica moleculară*, la formarea abilităților de aplicare a cunoștințelor teoretice în practică, la dezvoltarea gândirii logice.

Considerăm drept o obligație onorabilă de a aduce sincere mulțumiri profesorului *Petru Chetruș* pentru observațiile valoroase și indicațiile utile de care am ținut cont și care au contribuit la perfecționarea acestei ediții.

Autorii

1. STAREA UNUI GAZ IDEAL

1.1. Noțiuni teoretice

Obiective și conținuturi:

Obiective de referință ***Studentul va fi capabil:***	**Unități de conținut**
- să definească principiile teoriei cinetico-moleculare; - să definească noţiunile: gaz ideal, parametri de stare, scări de temperatură; - să determine cantitatea de substanță; - să identifice legile cărora se supune un gaz ideal; - să utilizeze legile gazului ideal pentru a prezenta grafic transformările unui gaz ideal; - să aplice legile fundamentale ale gazului ideal la rezolvarea problemelor din domeniul teoriei cinetico-moleculare.	Principiile fundamentale ale teoriei cinetico-moleculare. Gazul ideal. Cantitatea de substanță. Ecuația de stare a gazului ideal. Legile gazului ideal. Graficele izoproceselor: izoterm; izobar; izocor. Energia cinetică medie E a mișcării de translație a moleculelor. Ecuația pentru presiunea unui gaz ideal.

Conform concepțiilor *teoriei cinetico-moleculare*, orice corp (solid, lichid, gaz) constă dintr-un număr mare de particule foarte mici, numite molecule. *Masa moleculară relativă* a substanței este raportul dintre masa moleculei m_0 a substanței date și $\frac{1}{12}$ din masa atomului de carbon:

$$M = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_{0C}}. \tag{1.1}$$

Un mol este cantitatea de substanță, în care se conține același număr de molecule (atomi), ca și în carbon, cu masa de $0{,}012\ kg$. *Cantitatea de substanță*, notată prin ν, se exprimă în *moli*. Rezultă că *1 mol* de orice substanță conține unul și același număr de molecule (atomi), numit constanta sau numărul lui Avogadro $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23} mol^{-1}$.

Dacă masa unei molecule este m_0, atunci masa unui mol poate fi reprezentată ca

$$M = m_0 N_A, \tag{1.2}$$

unde M este așa-numita masă molară, ce are valoarea numerică egală cu masa moleculară relativă exprimată în unități atomice de masă – kg/mol.

Cantitatea de substanță poate fi exprimată sub forma:

$$\nu = \frac{m}{M} \quad \text{sau} \quad \nu = \frac{N}{N_A}, \nu = \frac{V}{V_M}, \tag{1.3}$$

unde N este numărul de molecule în substanța cu masa m și volumul V, iar V_M este volumul unui mol.

I. Ecuația de stare a unui gaz ideal. Se numește *ideal* un gaz rarefiat, particulele căruia sunt considerate puncte materiale, ce efectuează mișcarea termică haotică și care nu interacționează la distanță. Interacțiunea dintre particule apare numai în momentul de ciocnire, care se consideră elastică.

Starea unei mase oarecare de gaz este determinată de valorile a trei parametri: P (presiune), V (volum), T (temperatură), care sunt legați între ei printr-o relație, așa că variația unuia dintre ei duce la variația celorlalți. Conform legii lui Avogadro: moleculele-kilogram ale tuturor gazelor ocupă volume egale în condiții egale. În particular, în așa-numitele condiții normale ($T =$

$273\,K\ (0^0C)$) și $P = 101{,}33\,kPa \approx 10^5 Pa$), volumul unui kilomol de gaz este egal cu $22{,}4\,m^3/kmol$.

Ecuația de stare pentru un kilomol de gaz ideal este:

$$\frac{PV}{T} = const = R, \tag{1.4}$$

unde $R = 8{,}31\,J/(K \cdot mol)$ este constanta universală a gazului.

De la (1.4) se poate trece ușor la ecuația pentru orice masa m de gaz și vom obține *ecuația Clapeyron-Mendeleev*

$$\frac{PV}{T} = \frac{m}{M}R. \tag{1.5}$$

Din ultima ecuație pot fi obținute ecuațiile pentru cele trei legi experimentale ale gazului ideal:

1. Legea lui Boyle-Mariotte determină legătura dintre presiune și volum:

$$PV = const, \tag{1.6}$$

pentru $T = const$. Graficele *izotermelor* (Fig. 1.1, *a)*) reprezintă hiberbole, astfel încât izoterma ce corespunde temperaturii cu $T_2 > T_1$ ($P = const$) se atribuie unui volum mai mare.

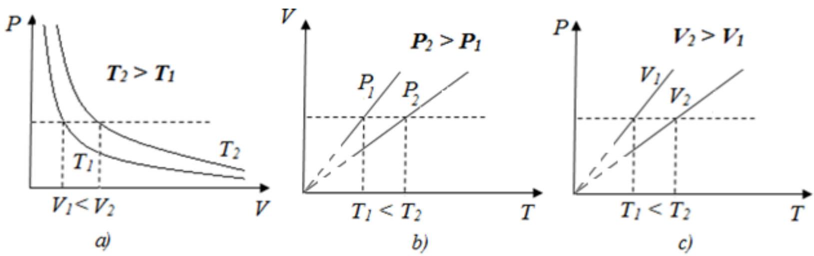


Fig. 1.1. Graficele: a) izotermelor; b) izobarelor; c) izocorelor

2. Legea lui Gay-Lussac determină raportul dintre volum și temperatură:

$$\frac{V}{T} = const \tag{1.7}$$

pentru $P = const$. Graficele *izobarelor* (Fig. 1.1, *b*)) reprezintă niște linii drepte care pornesc din originea axelor de coordonate. Dreapta ce corespunde presiunii $P_2 > P_1$ (pentru același V) se atribuie unei temperaturi mai mari.

3. Legea lui Charles determină raportul dintre presiune și temperatură:

$$\frac{P}{T} = const \tag{1.8}$$

pentru $V = const$. Graficele *izocorelor* (Fig. 1.1, *c*)) reprezintă niște drepte, care pornesc din originea axelor de coordonate. Dreapta ce corespunde volumului $V_2 > V_1$ (pentru același P) se atribuie unei temperaturi mai mari.

II. Energia cinetică a moleculelor. Ecuația fundamentală a teoriei cinetico-moleculare reprezintă dependența presiunii gazului de energia cinetică medie *E* a mișcării de translație a moleculelor:

$$P = \frac{2}{3} nE, \tag{1.9}$$

unde

$$n = \frac{N}{V} \tag{1.10}$$

este concentrația gazului.

Raportul constantelor *R* și N_A determină o constantă, care se numește constanta lui Boltzmann:

$$k = \frac{R}{N_A}. \tag{1.11}$$

Luând în considerație (1.11) și pornind de la ecuația *Clapeyron-Mendeleev* (1.5), obținem *ecuația pentru presiunea* unui gaz ideal:

$$P = nkT, \tag{1.12}$$

care stabilește dependența presiunii gazului de concentrația și temperatura lui.

În cazul unui amestec de gaze, conform legii lui Dalton, presiunea totală a gazului reprezintă suma presiunilor parțiale P_i, astfel:

$$P = (n_1 + n_2 + n_3 + \cdots)kT = n_1kT + n_2kT + n_3kT + \cdots = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots \tag{1.13}$$

1.2. Probleme rezolvate

Problema 1. Într-o cameră cu suprafața $S = 35\,m^2$ și înălțimea $h = 2{,}5\,m$, temperatura aerului s-a ridicat de la $T_1 = 293\,K$ până la $T_2 = 308\,K$. Presiunea este constantă, egală cu $P = 100\,kPa$. Cu cât s-a micșorat masa Δm a aerului în cameră? Masa molară a aerului este $0{,}029\,kg/mol$.

Rezolvare: La încălzire o parte de aer va ieși din cameră și masa se va micșora de la m_1 la m_2. Presiunea aerului rămânând constantă, egală cu P. Scriem ecuațiile Clapeyron-Mendeleev pentru aerul din cameră în starea inițială la temperatura T_1 și starea finală la temperatura T_2 :

$$\frac{PV}{T_1} = \frac{m_1}{M}R, \tag{1.14}$$

$$\frac{PV}{T_2} = \frac{m_2}{M}R. \tag{1.15}$$

Scădem ecuația (1.15) din (1.14) și calculăm masa aerului care a ieșit din cameră:

$$\frac{PV}{T_1} - \frac{PV}{T_2} = \left(\frac{m_1}{M} - \frac{m_2}{M}\right) R$$

$$PV\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) = (m_1 - m_2)\frac{R}{M}$$

$$\Delta m = \frac{MPV}{R}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_2\, T_1}\right)$$

Problema 2. La presiunea egală cu $P_1 = 2 \cdot 10^6\ Pa$, gazul ideal ocupă un volum de $V_1 = 5\ l$. Ca rezultat al dilatării izotermice, volumul s-a mărit cu $\Delta V = 1\ l$, iar concentrația moleculelor a devenit egală cu $n_2 = 3{,}5 \cdot 10^{26}\ m^{-3}$. La ce temperatură T a avut loc procesul?

Rezolvare: După dilatare volumul gazului va fi

$$V_2 = V_1 + \Delta V, \tag{1.16}$$

și, respectiv, concentrația moleculelor în acest volum va fi

$$n_2 = \frac{N}{V_2}, \tag{1.17}$$

unde N este numărul de molecule, care în procesul de dilatare rămâne constant. Atunci din (1.16) și (1.17) obținem:

$$N = n_2 V_2 = n_2(V_1 + \Delta V). \tag{1.18}$$

La rezolvarea problemei, folosim ecuația (1.12) pentru presiunea gazului ideal:

$$P_1 = n_1 kT = \frac{N}{V_1} kT = \frac{n_2(V_1 + \Delta V)}{V_1} kT. \tag{1.19}$$

Din (1.19) determinăm temperatura gazului:

$$T = \frac{P_1V_1}{kn_2(V_1+\Delta V)}.$$

Problema 3. În coordonatele $P - V$ (Fig. 1.2) este prezentată diagrama de stare a unui ciclu de transformări, prin care trece un gaz ideal.

Fiecare segment corespunde unui izoproces. Masa gazului nu se schimbă.

Numiți izoprocesele, analizați variația parametrilor P,V și T și prezentați ciclurile în coordonatele $P - T$ și $V - T$.

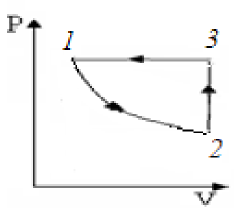


Fig.1.2. Ciclul de transformări al unui gaz ideal

Rezolvare: La analiza diagramei de transformari de stare prezentată în condiția problemei, trebuie să ne axăm pe ecuația (1.4) și graficele (Fig.1.1) pentru fiecare izoproces.

Procesul 1→2 reprezintă o hiperbolă și corespunde izotermei ($T - const$). Paralel, cum se vede din diagramă, cu creșterea volumului presiunea scade. Deci, în procesul 1→2:

$$T = const, P \downarrow, V \uparrow. \tag{1.20}$$

Pornind de la (1.20), prezentăm variația acestor parametri în graficele $P - T$ și $V - T$, respectiv. (Diagramele cerute în condiția problemei mai întâi trebuie reprezentate pe maculator). Linia verticală 1→2 (Fig. 1.3) corespunde condiției $T = const$, iar sensul procesului îl indicăm având în vedere variația P și V din (1.20).

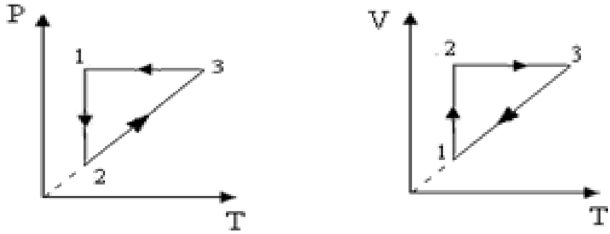


Fig.1.3. Ciclul de transformări al unui gaz ideal

Procesul 2→3 este un proces izocor, în care presiunea crește. Pentru a determina sensul variației temperaturii, analizăm ecuația (1.4). Raportul $\frac{P}{T}$ rămâne constant, dacă concomitent cu creșterea presiunii, temperatura va crește. În procesul 2→3:

$$V = const, P \uparrow, T \uparrow. \tag{1.21}$$

În diagrama $P - T$, acestui proces îi corespunde linia 2→3, care iese din originea axelor de coordonate. Pe diagrama $V - T$ linia 2→3 este linia orizontală, orientată spre creșterea temperaturii.

Procesul 3→1 este un proces izobar, care are loc la micșorarea volumului. Conform (1.4), în acest proces se micșorează atât temperatura, cât și volumul. În procesul 3→1:

$$P = const, V \downarrow, T \downarrow. \tag{1.22}$$

Acestui proces pe diagrama $P - T$ îi corespunde linia orizontală, iar pe diagrama $V - T$, dreapta orientată spre originea axelor de coordonate.

La rezolvarea corectă a problemei, ciclurile pe diagramele $P - T$ și $V - T$ se închid.

Problema 4. Volumul unei bule de aer, pe măsură ce ea se ridică de pe fundul unui lac la suprafață, se mărește de trei ori.

Să se determine adâncimea lacului h, dacă presiunea atmosferică P_0 se consideră normală.

Rezolvare: Notăm prin V_1 și P_1 volumul bulei și presiunea aerului în bulă, respectiv, la fundul lacului. La suprafața lacului volumul devine egal cu

$$V_2 = 3V_1, \tag{1.23}$$

iar presiunea aerului în bulă se micșorează până la presiunea atmosferică P_0. Conform legii Boyle-Mariotte (1.6)

$$P_1V_1 = P_0V_2$$

sau $$P_1V_1 = 3P_0V_1,$$

de unde $$P_1 = 3P_0. \tag{1.24}$$

Diferența presiunilor la suprafața și la fundul lacului este legată de presiunea formată de coloana de apă din lac, care este egală cu

$$\Delta P = \rho g h. \tag{1.25}$$

Conform (1.24) și (1.25), determinăm diferența presiunilor:

$$P_1 - P_0 = 3P_0 - P_0 = 2P_0 = \rho g h,$$

de unde $$h = \frac{2P_0}{\rho g}.$$

Problema 5. Două baloane identice, având fiecare volumul $V = 2\ l$, legate între ele printr-un fir, plutesc în aer. Un balon conține hidrogen, iar celălalt heliu, ambele gaze având temperatura $T_0 = 300\ K$ și presiunea de $P_0 = 10^5\ Pa$. Să se afle: a) forța de tensiune T în firul dintre baloane; b) masa învelișului m_0 a unui balon. Masele molare ale gazelor sunt:

$M_{H_2} = 0,002\ kg/mol$; $M_{He} = 0.004\ kg/mol$; densitatea aerului este egală cu $1,29\ kg/m^3$.

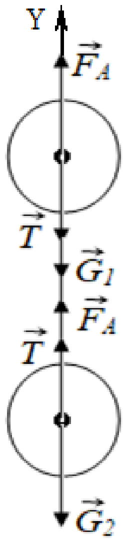


Fig. 1.4. Aplicarea forțelor

Rezolvare: Vom analiza forțele ce acționează asupra baloanelor. Baloanele, având unul și același volum, rezultă că asupra fiecărui balon acționează una și aceeași forță Arhimede, orientată vertical în sus. Masa molară a hidrogenului este mai mică decât masa molară a heliului, de aceea balonul cu hidrogen se află mai sus decât balonul cu heliu ($\overrightarrow{G_2} > \overrightarrow{G_1}$). Baloanele sunt legate cu un fir și de-a lungul firului sunt aplicate forțele de tensiune (Fig. 1.4). Baloanele se află în stare de echilibru și rezultă că suma vectorială a tuturor forțelor, ce acționează asupra fiecărui balon, este egală cu zero. Considerând că axa Y este orientată vertical în sus, scriem legea a II-a lui Newton.

Pentru balonul cu hidrogen avem:

$$F_A - (m_0 + m_1)g - T = 0, \qquad (1.26)$$

iar pentru balonul cu heliu:

$$F_A - (m_0 + m_2)g + T = 0, \qquad (1.27)$$

unde m_0 este masa învelișului balonului; m_1 – masa hidrogenului; m_2 – masa heliului. Forța Arhimede este:

$$F_A = \rho V g, \qquad (1.28)$$

unde ρ este densitatea aerului.

Scădem din (1.26) ecuația (1.27) și determinăm forța de tensiune în fir:

$$T = \frac{(m_2 - m_1)g}{2}. \tag{1.29}$$

Pentru a determina masele gazelor, folosim ecuația de stare a gazului ideal (1.5), luând în considerație că, în stare de echilibru, presiunea gazelor în baloane este una și aceeași, egală cu P_0.

Pentru balonul cu hidrogen și heliu, respectiv avem:

$$\frac{P_0 V}{T_0} = \frac{m_1}{M_1} R, \tag{1.30}$$

$$\frac{P_0 V}{T_0} = \frac{m_2}{M_2} R. \tag{1.31}$$

Din (1.30) și (1.31) obținem masele gazelor:

$$m_1 = \frac{P_0 V M_1}{R T_0} \tag{1.32}$$

și

$$m_2 = \frac{P_0 V M_2}{R T_0}. \tag{1.33}$$

Atunci expresia pentru forța de tensiune în fir (1.29) are următoarea formă:

$$T = \frac{P_0 V (M_2 - M_1) g}{2 R T_0}. \tag{1.34}$$

Masa învelișului unuia din baloane o determinăm din ecuația (1.27) și obținem:

$$\rho V g - m_1 g - T = m_0 g,$$

unde

$$m_0 = \rho V - m_1 - \frac{P_0 V (M_2 - M_1)}{2 R T_0}.$$

1.3. Probleme propuse pentru rezolvare

1.1. Să se determine masa oxigenului ce se află într-un balon cu volumul de $1\ l$ sub presiunea de $8 \cdot 10^4\ Pa$ la temperatura $17°C$.

1.2. Să se calculeze densitatea unui amestec de gaz, care constă din 4 g de hidrogen și $32\ g$ de oxigen la temperatura de $7°C$ și presiunea de $700\ mm\ Hg$.

1.3. Să se afle numărul N al moleculelor de aer dintr-o cameră cu volumul de $240\ m^3$ la temperatura de $15°C$ și presiunea $750\ mm\ Hg$.

1.4. Să se determine numărul de atomi într-un kilogram de hidrogen și masa unui atom de hidrogen.

1.5. Într-un vas închis cu capacitatea de $20\ l$ la temperatura de $300\ K$ se află 6 g de hidrogen și $12\ g$ de heliu. Să se afle: a) presiunea în vas; b) masa molară a acestui amestec de gaz.

1.6. Să se afle densitatea unui amestec de oxigen cu masa de $16\ g$ și azot cu masa de 28 g, care se află la temperatura de $290\ K$ sub presiunea de 0,1 MPa. Să se considere că gazele sunt ideale.

1.7. Care poate fi volumul minim al balonului, în care încap $6{,}4\ kg$ de oxigen, dacă pereții lui la temperatura de $20°C$ rezistă la o presiune de $5 \cdot 10^7\ Pa$?

1.8. Într-un balon se află $10\ kg$ de gaz la presiunea de $10^7\ Pa$. Să se afle ce cantitate de gaz a fost luată din balon, dacă presiunea definitivă a devenit egală cu $10^6\ Pa$. Temperatura gazului se consideră constantă.

1.9. Aerul, dintr-un vas deschis, a fost încălzit lent până la temperatura $T_1 = 400\ K$, după care închis ermetic, vasul a fost răcit până la $T_2 = 280\ K$. De câte ori s-a schimbat presiunea gazului în vas?

1.10. Volumul unei oarecare mase de gaz la încălzirea cu $\Delta T = 10\ K$, la presiune constantă, s-a mărit cu $n = 0{,}030$ față de cel inițial. Determinați temperatura inițială a gazului.

1.11. Ce masă de aer va ieși din cameră, dacă temperatura aerului a crescut de la $t_1 = 10^0C$ până la $t_2 = 20^0C$? Volumul camerei este $V = 60\ m^3$. Presiunea se consideră normală.

1.12. Într-un balon de oțel cu capacitatea $V = 10\ l$ se introduce hidrogen la temperatura $T = 290\ K$. Cât hidrogen poate încăpea în balon, dacă presiunea asupra pereților balonului constituie $p = 50\ MPa$?

1.13. Într-un vas cu volumul $V = 1{,}0\ l$ este introdus oxigen cu masa $m_1 = 2{,}0\ g$ și azot cu masa $m_2 = 4{,}0\ g$. Care este presiunea amestecului la temperatura $T = 273\ K$?

1.14. Într-un vas cu volumul $V = 1{,}5\ l$ se găsește un amestec de oxigen cu dioxid de carbon. Masa amestecului este egală cu $m = 40\ g$, temperatura $T = 300\ K$, presiunea $p = 2{,}0\ MPa$. Determinați masa fiecărui gaz.

1.15. $5g$ de azot, care se află într-un vas închis cu volumul de $4\ l$ la temperatura de $20°C$, se încălzesc până la temperatura de $40°C$. Să se afle presiunea gazului până și după încălzire.

1.16. Densitatea unui gaz la temperatura de $10°C$ și presiunea de $2 \cdot 10^5\ Pa$ este egală cu $0{,}34\ kg/m^3$. Cu ce este egală masa unui kilomol de gaz?

1.17. Azotul cu masa de $7\ g$ se află la presiunea de $0{,}1\ Mpa$ și temperatura de $290\ K$. La încălzirea izobară volumul azotului a devenit egal cu $10\ l$. Să se afle: a) volumul inițial al gazului; b) temperatura gazului după dilatare; c) densitatea inițială și finală a gazului.

1.18. Într-un vas cu capacitatea de 1 l se află oxigen cu masa de 1 g. Să se afle concentrația moleculelor de oxigen în vas.

1.19. Într-un vas cu capacitatea de $5\,l$ în condiții normale ($10^5 Pa$, $273K$) se află azot. Să se determine: a) cantitatea de substanță; b) masa azotului; c) concentrația moleculelor de azot în vas.

1.20. Un vas cu volumul de $2 \cdot 10^{-3}\ m^3$ este umplut cu 6 g de CO_2 ($\mu = 0{,}044\ kg/mol$) şi 5 g de N_2O ($\mu = 0{,}042\ kg/mol$). Care va fi presiunea totală în vas la temperatura de $127^0 C$?

1.21. Într-un vas se află $14\,g$ de azot şi $9\,g$ de hidrogen la temperatura de $10^0 C$ şi presiunea de $10^6\,Pa$. Să se determine: 1) masa unui kilomol de amestec; 2) volumul vasului.

1.22. Într-un cilindru orizontal, închis în interior din ambele părți, se află un piston îngust, care poate aluneca fără frecare. Dintr-o parte a pistonului se află hidrogen cu masa $m_1 = 3\ g$, iar în cealaltă parte – azot cu masa $m_2 = 23\ g$. Ce parte din volumul cilindrului ocupă hidrogenul?

1.23. Un balon, ce conține azot cu masa $m = 1{,}0\ kg$, în timpul experimentului a explodat la temperatura $T_1 = 630\ K$. Ce cantitate de hidrogen poate fi păstrată în așa balon la temperatura $T_2 = 270\ K$, având o presiune de 10 ori mai mică decât cea critică?

1.24. Într-un vas închis se găsește aer și o picătură de apă cu masa $m = 1{,}0\ g$. Volumul vasului este $V = 75\ l$, presiunea $p_0 = 12\ kPa$ și temperatura $T = 290\ K$. Care va fi presiunea în vas, dacă picătura de apă se va evapora?

1.25. Două butelii identice conţin oxigen ($M = 0{,}032\ kg/mol$) și dioxid de carbon ($M = 0{,}044\ kg/mol$) în aceleaşi condiţii de temperatură şi presiune. Aflaţi raportul maselor de gaz din cele două butelii.

1.26. Care este presiunea exercitată asupra pereţilor unui vas, în care se află oxigen cu presiunea $P_1 = 0{,}22\ atm$ şi azot cu presiunea $P_2 = \ 0{,}78\ atm$?

1.27. Sunt date două vase de acelaşi volum. În unul se află heliu, iar în altul – hidrogen cu aceeaşi masă. Temperaturile sunt egale. Să se afle raportul dintre presiunea din primul vas şi presiunea din vasul al doilea.

1.28. Să se afle variația masei de aer, care umple o încăpere cu volumul $50\ m^3$ iarna și vara, dacă se știe că vara temperatura în încăpere ajunge la $40°C$, iar iarna ea scade până la $0°C$. Presiunea se consideră normală.

1.29. Într-un balon cu capacitatea de $15\ l$ se află azot la presiunea de $100\ kPa$ și temperatura de $27°C$. Din balon au ieșit $14\ g$ de azot și temperatura a devenit egală cu $17°C$. Să se afle presiunea azotului rămas în balon.

1.30. Un vas închis cu capacitatea de $20\ l$ conține amestec de hidrogen și azot la temperatura $290\ K$ şi presiunea de $1Mpa$. Să se afle masa de hidrogen, dacă masa amestecului este de $150\ g$.

1.31. Într-un vas cu volumul de $0{,}3\ l$ la temperatura de $290\ K$ se află un gaz. Cu cât se va schimba presiunea în vas, dacă 10^{19} molecule au ieșit din acest vas?

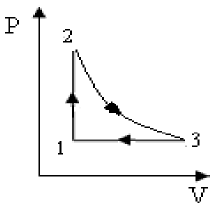
1.32. $12\ g$ de gaz ocupă un volum de $2 \cdot 10^{-3}\ m^3$ la temperatura de 7^0C. După încălzirea gazului la presiune constantă, densitatea acestuia devine egală cu $6 \cdot 10^{-4}\ g/cm^3$. Până la ce temperatură a fost încălzit gazul?

1.33. $10\ g$ de oxigen se află la presiunea de $3\ atm$ şi temperatura de $10^0 C$. După dilatare, ca rezultat al încălzirii la presiune constantă, oxigenul ocupă un volum de $10\ l$. Să se afle: a) densitatea iniţială a gazului; b) volumul iniţial; c) temperatura după dilatare.

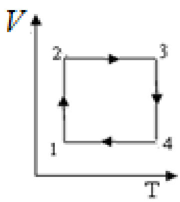
1.34. Într-un vas închis se află apă, aceasta ocupă jumătate din volum. Să se afle presiunea și densitatea vaporilor de apă la temperatura de $450°C$, considerând că la această temperatură toată apa s-a transformat în vapori.

1.35. În vasul A cu capacitatea $V_1 = 3l$ se află un gaz la presiunea $P_1 = 2\ atm$. În vasul B cu capacitatea $V_2 = 4l$ se află acelaşi gaz la presiunea $P_2 = 1\ atm$. Temperatura în ambele vase este aceeaşi. La ce presiune se va afla gazul, dacă vom uni vasele A şi B printr-un tub?

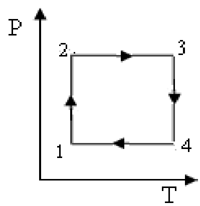
1.36. Procesele ce au loc într-un gaz ideal sunt prezentate în următoarele coordonate: $P-V$, $V-T$, $P-T$ (Fig. 1.36). Potrivit condițiilor problemei, este necesar: a) să denumiți izoprocesele; b) să analizați variația parametrilor de bază (P, V, T) pentru fiecare porțiune a ciclului;



1.36.1

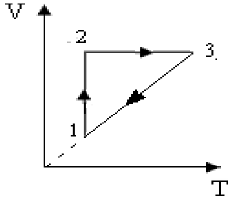


1.36.2

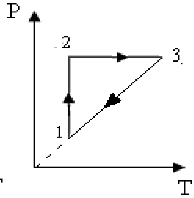


1.36.3

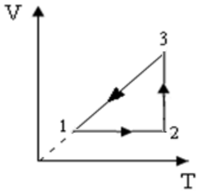
c) să prezentați ciclul de transformare a gazului ideal în alte coordonate, decât cele menționate.



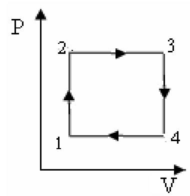
1.36.4



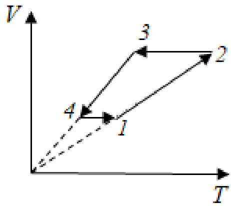
1.36.5



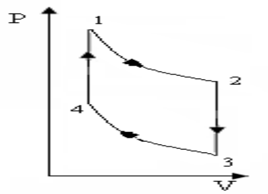
1.36.6



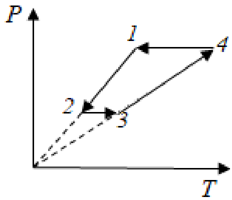
1.36.7



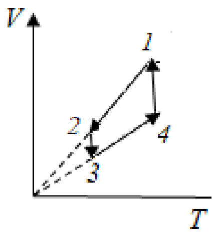
1.36.8



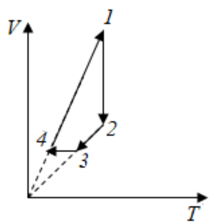
1.36.9



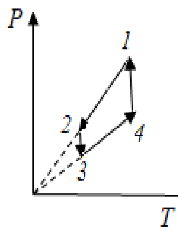
1.36.10



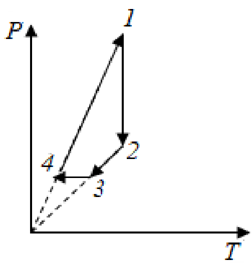
1.36.11



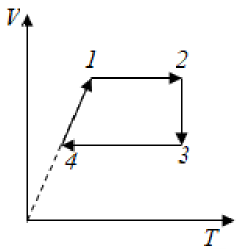
1.36.12



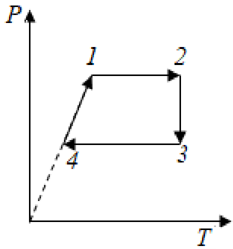
1.36.13



1.36.14



1.36.15



1.36.16

1.37. Într-un vas închis cu capacitatea de 1 m^3 se află 0,9 kg de apă şi 1,6 kg de oxigen. Să se afle presiunea în vas la temperatura de $500^0 C$, ştiind că la această temperatură toată apa se transformă în vapori.

1.38. Diagrama $P - T$ reprezintă procesul ciclic efectuat de o masă constantă de gaz. Se ştie că volumul maxim al gazului este de $1{,}68\, dm^3$. Care este masa gazului, dacă masa molară este egală cu $0{,}004\, kg/mol$?

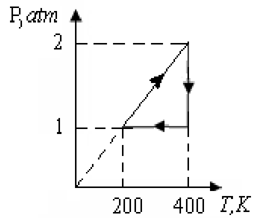


Fig. 1.5

1.39. Într-un vas închis, împlut cu aer, se introduce eter dietilic $C_2H_5OC_2H_5$ ($M = 0{,}074\, kg/mol$). Aerul se află în condiţii normale ($p = 10^5 Pa,\ T = 273K$). După ce eterul s-a evaporat, presiunea în vas a devenit egală cu $1055\, mm\, Hg$. Ce cantitate de eter a fost introdusă în vas? Volumul vasului constituie 2 l.

1.40. Într-un vas închis cu capacitatea de *2 l*, împlut cu aer, se introduce eter dietilic ($C_2H_5OC_2H_5$). Aerul se află în condiții normale. După ce tot eterul s-a evaporat, presiunea în vas a devenit egală cu *1050 mm Hg*. Ce cantitate de eter a fost introdusă în vas?

1.41. Într-un vas se află bioxid de carbon. La o temperatură anumită, gradul de disociere a moleculelor de CO_2 în oxigen și oxid de carbon (CO) este de 25%. De câte ori presiunea în vas în aceste condiții va fi mai mare decât presiunea, care ar fi fost, dacă moleculele de CO_2 n-ar fi fost disociate?

1.42. Într-un balon se află un gaz la temperatura T. La încălzire temperatura a crescut de două ori. Ca rezultat al scurgerii de gaz, presiunea din balon a scăzut de 1,5 ori. De câte ori s-a schimbat numărul de molecule în balon?

1.43. Într-un cilindru cu aria bazei $S = 100\ cm^2$ se află aer. Pistonul este situat la înălțimea $h_1 = 50\ cm$ de la fundul cilindrului. Presiunea atmosferică este $p_1 = 10^5\ Pa$, temperatura aerului $T_1 = 285\ K$. Pe piston se pune o greutate cu masa de $20\ kg$ și el se lasă în jos cu 5 cm. Să se determine temperatura T_2 a aerului după ce pistonul s-a lăsat în jos.

1.44. Un vas cilindric închis de înălțimea h este împărțit în două părți egale printr-un piston imponderabil, care alunecă fără frecare. Pistonul se blochează și ambele jumătăți se umplu cu gaz, în așa fel că într-o jumătate presiunea gazului să fie de n ori mai mare decât în alta. La ce distanță Δh se va deplasa pistonul la deblocare? Temperatura se consideră constantă.

1.45. Două vase ce conțin același gaz sunt unite printr-un tub cu robinet. Vasele au volumele V_1 și V_2 și presiunile în ele sunt respectiv P_1 și P_2. Care va fi presiunea gazului după ce se va deschide robinetul? Temperatura gazului este constantă. Volumul tubului se neglijează.

1.46. La mijlocul unui tub capilar orizontal, din care este evacuat aerul și ale cărui capete sunt sudate, se află o coloană de mercur având lungimea de $20\ cm$. Dacă așezăm tubul capilar vertical, coloana de mercur se deplasează la distanța de 10 cm. Până la ce presiune a fost evacuat aerul din tubul capilar? Lungimea capilarului este de 1 m.

1.47. Care trebuie să fie greutatea membranei unui balonaș pentru copii cu diametrul de $25\ cm$, umplut cu hidrogen, pentru ca forța rezultantă de ridicare a balonașului să fie nulă? Aerul și hidrogenul se află în condiții normale. Presiunea din interiorul balonașului este egală cu presiunea exterioară.

1.48. Un aerostat cu masa $500\ g$ și volumul $600\ m^3$ se ridică vertical în sus. Considerând mișcarea lui în primele $10\ s$ uniform accelerată, să se determine la ce înălțime h se ridică aerostatul în aceste $10\ s$ și ce lucru L efectuează în acest timp forța ascensională.

2. TERMODINAMICA

2.1. Noțiuni teoretice

Obiective și conținuturi:

Obiective de referință ***Studentul va fi capabil:***	**Unități de conținut**
- sa definească noțiunile: grad de libertate și energia cinetică medie a moleculelor; - să determine parametrii, ce caracterizează sistemul termo-dinamic: lucrul mecanic, cantitatea de căldură, variația energiei interne; - să enunțe și să explice principiile I și II ale termodinamicii; - să aplice principiul I al termodinamicii la rezolvarea problemelor aplicative; - să formuleze procesul adiabatic şi ecuaţia adiabatei, procesele ciclice, procesele reversibile şi ireversibile; - să analizeze și să estimeze procesele politropice în diverse condiții.	Energia cinetică medie *E* a mişcării de translație a moleculelor. Energia internă, lucrul. Căldura şi capacitatea termică. Capacitatea termică specifică la volum constant și la presiunea constantă. Primul principiu al termodinamicii. Principiul al doilea al termodinamicii şi limitele lui de aplicare. Procesul adiabatic şi ecuaţia adiabatei. Procesul politropic. Entropia. Procesele ciclice. Randamentul motorului termic.

I. Viteza medie pătratică a moleculelor. Ecuația generală a teoriei cinetico-moleculare (1.12) a unui gaz ideal pentru presiune poate fi prezentată într-o altă formă:

$$P = \frac{2}{3}\, n\, \overline{E_0} = \frac{1}{3} n\, m_0\, \overline{v^2}, \qquad (2.1)$$

unde m_0 – masa unei molecule; $\overline{v^2}$ – viteza medie pătratică a moleculelor; $\overline{E_0}$ – este energia cinetică medie a mișcării de translație a unei molecule egală cu

$$\overline{E_0} = \frac{i}{2} kT\,, \qquad (2.2)$$

unde i este numărul gradelor de libertate.

Pentru un corp, numărul gradelor de libertate reprezintă numărul coordonatelor independente, care trebuie introduse pentru a determina poziţia unui corp în spaţiu. Fiecare moleculă de gaz are un anumit număr de grade de libertate, dintre care trei corespund mişcării ei de translaţie în spaţiu (pentru substanța monoatomică $i = 3$, pentru cea biatomică $i = 5$ și pentru un gaz poliatomic $i = 6$).

Ecuația (2.1) poate fi transformată în

$$PV = \frac{2}{3} N \left(\frac{m_0 \overline{v^2}}{2}\right) = \frac{2}{3}\, N\overline{E_o}. \qquad (2.3)$$

Pornind de la (1.5) și (2.3), determinăm viteza medie pătratică de translație a moleculelor

$$v = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \qquad (2.4)$$

II. Energia internă. Energia totală a sistemului termodinamic (TD) se compune din energia cinetică a mișcării mecanice a sistemului ca un tot întreg, din energia potențială a sistemului în câmpul exterior și din energia internă *U*, care depinde numai de starea interioară a sistemului.

Energia internă include energia tuturor formelor posibile de mișcare și de interacțiune a tuturor particulelor (molecule, atomi, ioni) ce fac parte din componența sistemului considerat. Energia internă a unui mol de gaz ideal poate fi reprezentată ca suma energiilor fiecărei molecule în parte, prin urmare, energia internă a unui kilomol este

$$U_M = \bar{E} \cdot N_A = \frac{i}{2} kT \cdot N_A = \frac{i}{2} RT, \tag{2.5}$$

iar pentru o masă *m* de gaz obținem

$$U = \nu \cdot U_M = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT. \tag{2.6}$$

Schimbul de energie dintre sistemul termodinamic închis și corpurile exterioare se poate realiza prin două modalități calitativ diferite: prin efectuarea *lucrului* și prin *schimbul de căldură.*

III. Lucrul. Pentru a efectua lucrul asupra sistemului macroscopic nemișcat, este necesară deplasarea corpurilor exterioare ce acționează cu sistemul, adică variația parametrilor externi de stare a sistemului.

Vom determina lucrul efectuat de un sistem la variația volumului său. De exemplu, lucrul efectuat de către un gaz (Fig. 2.1) asupra pistonului într-un vas cilindric la dilatarea gazului este

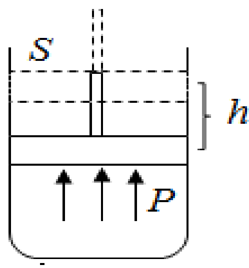


Fig. 2.1. Lucrul efectuat de gaz la dilatare

$$\Delta L = F \cdot \Delta h, \tag{2.7}$$

unde Δh este deplasarea pistonului. Substituim forța din (2.7) cu produsul dintre presiunea gazului și aria suprafeței și obținem

$$\Delta L = p \cdot \Delta S \cdot \Delta h, \qquad (2.8)$$

unde

$$\Delta S \cdot \Delta h = \Delta V. \qquad (2.9)$$

Atunci, dacă $P=const$, obținem:

$$L = P\Delta V. \qquad (2.10)$$

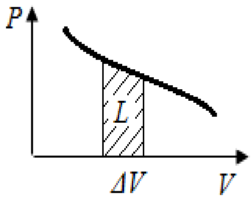


Fig.2.2. Regiunea hașurată reprezintă lucrul efectuat de gaz

Evident, lucrului L efectuat de acest sistem asupra corpurilor exterioare este egal numeric și opus ca semn cu lucrul L' efectuat de către corpurile exterioare asupra sistemului, deci

$$L' = -L. \qquad (2.11)$$

Dacă în timpul procesului presiunea variază (Fig. 2.2), atunci

$$L = \int_{V_1}^{V_2} P\, dV, \qquad (2.12)$$

în Figura 2.2 acest lucru reprezintă suprafața hașurată.

IV. Căldura. Procesul de trecere a energiei de la un corp la altul, fără efectuarea lucrului mecanic, se numește *schimb de căldură.* Schimbul de căldură are loc între sisteme sau părțile unuia și aceluiași sistem, încălzite până la temperaturi diferite. Energia, transmisă corpului în urma schimbului de căldură, se numește *cantitate de căldură*.

Capacitatea termică a unui corp se numește mărimea egală cu cantitatea de căldură, care trebuie comunicată corpului pentru a-i ridica temperatura cu un grad

$$C_{corp} = \frac{dQ}{dT}. \qquad (2.13)$$

Capacitatea termică specifică se numește mărimea egală cu cantitatea de căldură, care trebuie comunicată unei unități de masă (*1 kg*) pentru a-i ridica temperatura cu un grad

$$c = \frac{dQ}{dT}. \qquad (2.14)$$

Între capacitatea termică a unui mol de gaz C_M (numită capacitate termică molară) și capacitatea termică specifică *c* există relația

$$c = \frac{C_M}{M}. \qquad (2.15)$$

Un deosebit interes reprezintă capacitatea termică în cazurile când încălzirea are loc la volum constant sau la presiune constantă. Capacitatea termică molară la volum constant este

$$C_V = \frac{i}{2}R, \qquad (2.16)$$

la presiune constantă (ecuația Meyer)

$$C_P = C_V + R. \qquad (2.17)$$

Procesul termodinamic în care lipsește schimbul de căldură dintre sistem și mediul înconjurător se numește *proces adiabatic.*

V. Ecuația bilanțului termic. Pentru a varia temperatura masei *m* de substanță de la temperatura T_1 până la T_2, este necesară cantitatea de căldură

$$Q = cm(T_2 - T_1), \qquad (2.18)$$

Dacă substanța se încălzește – $Q > 0$, iar dacă $Q < 0$ – substanța se răcește. La schimbul de căldură într-un sistem izolat, fără efectuarea lucrului, se scrie ecuația bilanțului termic:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots = 0, \qquad (2.19)$$

unde $Q_1, Q_{2,}$ Q_3 sunt cantitățile de căldură, primite sau cedate de corpuri.

De exemplu, vom analiza un schimb de căldură între două corpuri cu capacitățile termice specifice c_1, c_2, masele m_1, m_2 și temperaturile T_1, $T_{2,}$ respectiv. Ecuația bilanțului termic pentru aceste corpuri este

$$c_1 m_1 \Delta T_1 + c_2 m_2 \Delta T_2 = 0. \qquad (2.20)$$

Dacă procesul schimbului de căldură are loc odată cu transformarea stării de agregare a corpurilor, atunci căldura transferată (sau cedată) a corpului, este proporțională cu masa lui și procesul are loc *la temperatura constantă*.

La transformarea lichidului în vapori, căldura absorbită este

$$Q_{L-V} = rm, \qquad (2.21)$$

în care r – este căldura specifică de vaporizare. La procesul reversibil (de condensare) are loc degajarea aceleiași cantități de căldură

$$Q_{V-L} = -rm. \qquad (2.22)$$

În procesul de topire (sau cristalizare) cantitatea de căldură, care se consumă la transformarea de agregare, este

$$Q_{S-L} = \lambda m, \qquad (2.23)$$

în care λ – este căldura specifică de cristalizare.

VI. Prima lege a termodinamicii. Căldura comunicată sistemului se consumă la variația energiei interne a sistemului și la efectuarea de către sistem a lucrului asupra forțelor exterioare. Expresiile matematice ale *primei legi a termodinamicii* sunt:

$$Q = U_2 - U_1 + L = \Delta U + L, \qquad (2.24)$$

unde

$$\Delta U = \frac{i}{2}\frac{m}{M} R\,\Delta T \qquad (2.25)$$

și

$$L = P\Delta V. \qquad (2.26)$$

Vom analiza prima lege a termodinamicii pentru diferite procese:

a) Procesul izocor V = const.

În cazul procesului izocor $\Delta V = 0$ și prima lege a termodinamicii, conform (2.24) și (2.26) este

$$Q = \Delta U. \qquad (2.27)$$

Prin urmare, cantitatea de căldură primită de sistem într-un proces izocor se consumă numai pentru variația energiei interne. Deci, dacă gazului i se transferă o cantitate de energie $Q > 0$, atunci energia internă a gazului tot crește și $\Delta U > 0$, și invers.

b) Procesul izotermic T = const.

În acest proces, variația energiei interne (2.25) este egală cu zero $\Delta U = 0$ și prima lege a TD este

$$Q = L. \qquad (2.28)$$

Lucrul la dilatarea izotermică a gazului se determină conform expresiei

$$L = \frac{m}{M} RT\, ln\frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT\, ln\frac{P_1}{P_2}. \qquad (2.29)$$

În procesul izotermic toată căldura, comunicată din exterior, se consumă pentru efectuarea lucrului mecanic.

c) Procesul izobar P=const.

Prima lege a TD

$$Q = \Delta U + L = \frac{m}{M} C_V \, \Delta T + \frac{m}{M} R \, \Delta T = \frac{m}{M} C_P \, \Delta T. \quad (2.30)$$

Prin urmare, cantitatea de căldură primită de sistem este folosită atât pentru variația energiei interne, cât și pentru efectuarea unui lucru mecanic, prin variația volumului sistemului. Deci, dacă gazul se încălzește $Q > 0$ și $\Delta U > 0$, atunci el se dilată și efectuează un lucru.

d) Procesul adiabatic $\Delta Q = 0$**.**

Primul principiu al termodinamicii (2.24) pentru acest proces se scrie sub aspectul

$$0 = C_V \Delta T + P \Delta V. \quad (2.31)$$

Evident că $\Delta T < 0$, când $\Delta V > 0$, și invers $\Delta T > 0$, când $\Delta V < 0$. Prin urmare, lucrul efectuat de un gaz la variația volumului se execută pe contul variației energiei interne. La dilatare gazul se răcește, efectuând un lucru asupra forțelor exterioare, la comprimare se încălzește pe contul lucrului mecanic efectuat de către forțele exterioare. Pentru a calcula acest lucru, trebuie mai întâi să stabilim *ecuația adiabatei* – egalitatea care reprezintă următoarea corelație dintre presiune și volum

$$PV^{\gamma} = const, \quad (2.32)$$

unde indicele adiabatei este

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}. \quad (2.33)$$

e) Procesul politropic este un proces în care capacitatea termică a sistemului este o mărime constantă *C=const*. Procesele izobar, izocor, izotermic și adiabatic sunt cazuri particulare ale procesului politropic, ecuația căruia poate fi reprezentată sau în variabile *P*,*T*

$$PV^n = const, \tag{2.34}$$

sau în variabile *T*, *V*

$$TV^{n-1} = const, \tag{2.35}$$

unde indicele politropiei este

$$n = \frac{C - C_P}{C - C_V}. \tag{2.36}$$

VII. Lucrul efectuat de către un gaz ideal în diferite procese. Luând în considerație (2.12), vom determina lucrul efectuat în fiecare proces.

a) În procesul politropic este valabilă expresia

$$PV^n = PV_1^n,$$

din care determinăm

$$P = \frac{P_1 V_1^n}{V^n} \tag{2.37}$$

și introducem în (2.12). Obținem

$$L = \frac{p_1 V_1}{n-1}\left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1}\right]. \tag{2.38}$$

b) În procesul izocor $\Delta V = 0$, atunci $L = 0$.

c) În procesul izobar: $n = 0$. Atunci

$$L = p_1(V_2 - V_1), \tag{2.39}$$

sau în alte variabile

$$L = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1). \tag{2.40}$$

d) În procesul izotermic: $n = 1$.

Expresia pentru lucrul efectuat, în diferite variabile, este

$$L = RT\ ln\frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M}RT\ ln\frac{p_2}{p_1}. \qquad (2.41)$$

e) *În procesul adiabatic*, când $n = \gamma$, obținem

$$L = \frac{mRT_1}{M(\gamma-1)}\left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right]. \qquad (2.42)$$

VIII. Entropia este mărime termodinamică de stare, care reflectă ireversibilitatea proceselor fizice macroscopice. Entropia sistemului crește în cursul unei transformări ireversibile și rămâne constantă în cursul unei transformări reversibile.

Entropia este o funcție de stare caracterizată prin relația:

$$S_A = \int_{A_0}^{A} \frac{dQ_{rev}}{T}, \qquad (2.43)$$

unde dQ_{rev} este cantitatea de căldură schimbată cu exteriorul într-o transformare reversibilă, între starea A la care se referă entropia S_A și starea de referință A_0, iar T este temperatura absolută la care are loc transformarea.

Noțiunea de entropie este legată de principiul al doilea al termodinamicii, conform căruia nu este posibil un proces, având drept rezultat unic un transfer de căldură de la un corp mai rece spre unul mai cald. Acest principiu poate fi exprimat cu ajutorul unei funcții de stare – entropia. Într-un sistem izolat, entropia crește în procesele spontane, deci $dS > 0$.

IX. Randamentul motorului termic. Mecanismul ce servește pentru transformarea energiei interne a combustibilului în energie mecanică se numește *motor termic*. Orice motor termic constă din trei părți principale: substanța de lucru (gaz, vapori), încălzitorul, temperatura căruia este T_1, și răcitorul cu temperatura T_2. La dilatare, substanța de lucru efectuează lucrul mecanic, primind de la încălzitor cantitatea de căldură Q_1. La comprimare substanța de lucru cedează răcitorului cantitatea de căldură Q_2.

Se numește *randament al motorului termic* raportul dintre lucrul efectuat de motor și cantitatea de căldură, pe care o primește de la încălzitor

$$\eta = \frac{|Q_1|-|Q_2|}{|Q_1|} = \frac{T_1-T_2}{T_1}. \qquad (2.44)$$

2.2. Probleme rezolvate

Problema 1. Energia cinetică a mișcării de translație a moleculelor de azot, ce se află într-un balon cu volumul de $V = 0{,}02\ m^3$, este egală cu $E_c = 5 \cdot 10^3\ J$, iar viteza medie pătratică a moleculelor acestuia este $\sqrt{\overline{v^2}} = 2 \cdot 10^3\ m/s$. Să se afle: a) masa m a azotului în balon; b) presiunea P la care se află azotul.

Rezolvare: În condiția problemei este menționat că gazul ce se află în balon este azot. Aceasta arată că sunt cunoscute: masa molară $M = 0{,}028\ kg/mol$ și gradul de libertate $i = 5$.

a) Pe de o parte, energia cinetică medie a mișcării de translație a moleculelor este

$$E_c = \frac{m\overline{v^2}}{2}, \qquad (2.45)$$

ce permite a determina masa gazului

$$m = \frac{2E_c}{\overline{v^2}}.$$

b) Pe de altă parte, energia cinetică medie a mișcării de translație a moleculelor este

$$E_c = \frac{5}{2}kT, \tag{2.46}$$

ce permite a determina temperatura gazului

$$T = \frac{2E_c}{5k}\,.$$

Din ecuația Clapeyron-Mendeleev

$$\frac{PV}{T} = \frac{m}{M}R$$

determinăm presiunea gazului

$$p = \frac{m}{M}\frac{RT}{V} = \frac{4\,RE_c^2}{5\,k\,M\,V\overline{v^2}}\,.$$

Problema 2. Într-un vas cu volumul de $2l$ se află $10\ g$ de oxigen la presiunea de $680\ mm\ Hg$. Să se afle: a) viteza medie pătratică $\overline{v^2}$ a moleculelor de gaz; b) numărul de molecule N, aflate în vas; c) densitatea ρ a gazului.

Rezolvare: Din condiția problemei rezultă că sunt cunoscute masa molară a oxigenului $M = 0{,}032\ kg/mol$ și gradul de libertate $i = 5$.

a) La rezolvarea acestei probleme, vom utiliza expresia (2.1)

$$P = \frac{1}{3}n\,m_0\,\overline{v^2}, \tag{2.47}$$

luând în considerație că masa unei molecule este egală

$$m_0 = \frac{M}{N_A}.$$

Presiunea poate fi prezentată ca

$$P = nkT. \tag{2.48}$$

Din ecuația Clapeyron-Mendeleev determinăm temperatura

$$T = \frac{PVM}{mR} \qquad (2.49)$$

o introducem în (2.48) și obținem

$$P = nkT = nk\frac{PVM}{mR}. \qquad (2.50)$$

Egalând expresiile (2.47) și (2.50)

$$\frac{1}{3}n\,m_0\,\overline{v^2} = nk\frac{PVM}{mR},$$

determinăm viteza medie a mișcării de translație a moleculelor

$$\overline{v^2} = \frac{3PV}{m}.$$

b) Numărul de molecule N aflate în vas este

$$N = \frac{m}{m_0} = \frac{mN_A}{M}.$$

c) Densitatea gazului este

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Problema 3. Oxigenul cu $m = 32\ g$ se află într-un vas închis sub presiunea $P_1 = 0{,}1\ MPa$, la temperatura $T_1 = 290K$. După încălzire presiunea a crescut de 4 ori. Să se determine: a) capacitatea vasului V; b) temperatura finală T_2; c) cantitatea de căldură transferată a gazului Q.

Rezolvare: Potrivit condiției problemei: masa molară a oxigenului este $M = 0{,}032\ kg/mol$, $i = 5$, $V = const$ și $P_2 = 4P_1$.

a) Ecuația Clapeyron-Mendeleev pentru starea inițială a gazului este

$$P_1 V = \frac{m}{M} R T_1,$$

de unde determinăm capacitatea vasului

$$V = \frac{m}{M} \frac{R T_1}{P_1}.$$

b) Procesul este izocor, de aceea conform legii lui Charles

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{4P_1}{T_2}$$

și temperatura finală este

$$T_2 = 4T_1.$$

c) Conform primei legi a termodinamicii (2.24)

$$Q = \Delta U + L,$$

de unde $L = P\Delta V = 0.$

Obținem că toată cantitatea de căldură transferată gazului a fost folosită pentru încălzirea gazului, cu alte cuvinte pentru variația energiei interne

$$Q = \Delta U = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) = \frac{15}{2} \frac{m}{M} R T_1.$$

Problema 4. Două vase (Figura 2.3) cu pereții din material termoizolator și volumele respectiv egale cu V_1 și V_2 conțin gaze diferite, corespunzător la presiunile P_1 și P_2 și temperaturile T_1 și T_2. Vasele sunt unite printr-un tub cu robinet. Robinetul se deschide, gazele se amestecă

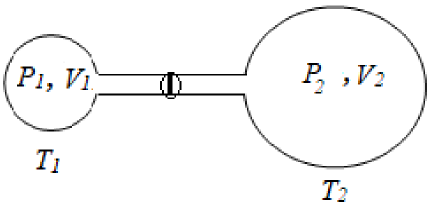


Fig. 2.3. Desenul pentru problema 4

și în sistem se stabilește presiunea P și temperatura T. Să se determine presiunea P și temperatura T ce se stabilește în sistem.

Rezolvare: La deschiderea robinetului procesul de amestecare a gazelor se analizează în două etape: I – schimbul de căldură între gaze și egalarea temperaturii; II – amestecarea gazelor la temperatură constantă. Să consideră că sistemul este izolat și schimbul de căldură cu mediul înconjurător lipsește, volumul vaselor rămâne constant.

I. Mai întâi, vom determina temperatura ce se stabilește în sistem. Ecuația bilanțului termic pentru două vase este

$$Q_1 + Q_2 = 0. \tag{2.50}$$

Având în vedere condiția că volumul vaselor nu se schimbă ($\Delta V = 0,$ deci $L = 0$), prima lege a termodinamicii (2.24) pentru fiecare vas se exprimă în modul următor

$$Q = \Delta U, \tag{2.51}$$

Deci, cantitatea de căldură transmisă și primită de către gazele din vase în acest sistem este determinată de variația energiei interne, care, la rândul său, depinde de variația temperaturii

$$Q_1 = \frac{i_1}{2}\frac{m_1}{M_1}R\,(T - T_1), \tag{2.52}$$

și

$$Q_2 = \frac{i_2}{2}\frac{m_2}{M_2}R\,(T_2 - T). \tag{2.53}$$

Introducem Q_1 și Q_2 în (2.50) și determinăm temperatura după stabilirea echilibrului termodinamic

$$T = \frac{\frac{i_1 m_1 T_1}{M_1} + \frac{i_2 m_2 T_2}{M_2}}{\frac{i_1 m_1}{M_1} + \frac{i_2 m_2}{M_2}}. \tag{2.54}$$

În expresia (2.54) nu sunt cunoscute rapoartele maselor $\frac{m}{M}$. Acestea se pot determina din ecuația Clapeyron-Mendeleev, și anume

$$\frac{m_1}{M_1} = \frac{P_1 V_1}{R\,T_1}$$

și
$$\frac{m_2}{M_2} = \frac{P_2 V_2}{R\,T_2}.$$

II. După deschiderea robinetului, fiecare gaz ocupă volumul sumar $(V_1 + V_2)$ având presiunea parțială P' și P''. Conform legii lui Dalton (1.13), presiunea care se stabilește în volumul întreg este

$$P = P' + P''. \tag{2.55}$$

Ambele gaze satisfac următoarele ecuații Clapeyron-Mendeleev

$$P'(V_1 + V_2) = \frac{m_1}{M_1} RT \tag{2.56}$$

și
$$P''(V_1 + V_2) = \frac{m_2}{M_2} RT \tag{2.57}$$

Din ecuațiile (2.56) și (2.57), luând în considerație (2.55), determinăm presiunea finală în sistem

$$P = \frac{(m_1/M_1) + (m_2/M_2)}{V_1 + V_2}\ RT.$$

Problema 5. Se dă masa molară a unui gaz biatomic M și raportul capacităților termice specifice este $\frac{c_P}{c_V} = \gamma$. Să se determine capacitățile termice specifice c_P și c_V.

Rezolvare: În cazul unui gaz biatomic $i = 5$. Capacitățile termice specifice sunt legate de capacitățile molare prin următoarele expresii

$$c_P = \frac{C_{MP}}{M} \quad \text{și} \quad c_V = \frac{C_{MV}}{M},$$

rezultă că raportul capacităților molare este același ca și raportul capacităților termice specifice

$$\frac{C_{MP}}{C_{MV}} = \gamma. \qquad (2.58)$$

Conform ecuației Meyer (2.17) și expresiei (2.16), obținem

$$C_{MV} = \frac{i}{2}R = \frac{5}{2}R \qquad (2.59)$$

și

$$C_{MP} = C_{MV} + R = \frac{5}{2}R + R = \frac{7}{2}R. \qquad (2.60)$$

Pornind de la (2.58), expresia (2.60) se transformă în

$$\gamma\, C_{MV} = \frac{7}{2}R.$$

Atunci

$$c_V = \frac{C_{MV}}{M} = \frac{5R}{2M} \text{ și } c_P = \gamma c_v = \frac{5R}{2M}\gamma.$$

Problema 6. O mașină frigorifică ideală, ce funcționează conform ciclului Carnot invers, transmite căldura de la frigoriferul cu apă la temperatura $t_2 = 0°C$ unui fierbător cu apă la temperatura $t_1 = 100°C$. Ce cantitate de apă m_2 trebuie de înghețat în frigorifer, pentru a transforma în vapori $m_1 = 1kg$ de apă din fierbător?

Rezolvare: Aplicăm expresia pentru randamentul unei mașini termice ideale (expresia (2.44)) pentru randamentul unei mașini frigorifice

$$\eta = \frac{T_2}{T_1 - T_2}. \qquad (2.61)$$

Cantitatea de căldură, transferată frigoriferului este

$$Q_2 = \lambda\, m_2, \qquad (2.62)$$

unde λ este căldura specifică de topire (cristalizare) a gheții. Cantitatea de căldură primită de fierbător este

$$Q_1 = r\, m_1, \qquad (2.63)$$

unde *r* este căldura specifică de vaporizare a apei.
Pe de altă parte, randamentul exprimat prin cantitățile de căldură cedate și primite este

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}. \qquad (2.64)$$

Luând în considerație (2.61), introducem (2.62) și (2.63) în (2.64) și calculăm masa gheții

$$m_2 = \frac{r m_1 \eta}{\lambda(1+\eta)}.$$

2.3. Probleme propuse pentru rezolvare

2.1. Într-un vas închis se găsesc $20\ g$ de azot la temperatura de $280K$. Ce cantitate de căldură trebuie comunicată gazului pentru a mări viteza medie a moleculelor de două ori? De câte ori se va schimba în acest caz presiunea gazului?

2.2. Într-un vas închis se găsesc $20\ g$ de azot la temperatura de $280K$. Ce cantitate de căldură trebuie comunicată gazului pentru a micșora viteza medie a moleculelor de două ori? De câte ori se va schimba în acest caz temperatura gazului?

2.3. Densitatea unui anumit gaz este egală cu $6 \cdot 10^{-2}\ kg/m^3$, viteza medie pătratică a moleculelor acestui gaz este egală cu $500\ m/s$. Să se afle presiunea gazului asupra pereților vasului.

2.4. Să se afle impulsul a unei molecule de hidrogen la temperatura de $20°C$. Viteza moleculei se consideră egală cu viteza medie pătratică.

2.5. Viteza medie pătratică a moleculelor unui gaz anumit este egală cu $450\ m/s$. Presiunea gazului este de $5 \cdot 10^4\ Pa$. Să se afle densitatea gazului în aceste condiții.

2.6. Densitatea unui gaz la temperatura de $17°C$ și presiunea de $750\ mm\ Hg$ este egală cu $8{,}2 \cdot 10^{-5}\ g/cm^3$. Să se afle viteza medie pătratică a moleculelor și masa unui kilomol de gaz în aceste condiții.

2.7. Viteza medie pătratică a moleculelor unui gaz anumit în condiții normale este egală cu $460\ m/s$. Ce cantitate de molecule se conțin în $1g$ de gaz?

2.8. Cu ce este egală energia internă a $20\ g$ de oxigen la temperatura de $10°C$? Ce parte a acestei energii revine pe contul mișcării de translație și ce parte pe contul mișcării de rotație?

2.9. Să se afle energia cinetică a mișcării termice a moleculelor, aflate în $1g$ de aer la temperatura de $15°C$. Aerul se consideră gaz omogen, la care masa unui kilomol este egală cu $0{,}029\ kg/mol$.

2.10. Cu ce este egală energia mișcării termice a moleculelor unui gaz biatomic, închis într-un vas cu volumul de $2\ l$ și care se află la o presiune de $2 \cdot 10^{\ 5} Pa$.

2.11. 1 kg de gaz biatomic se află la presiunea $8 \cdot 10^4 Pa$ și are densitatea de 4 kg/m^3. Să se afle energia mișcării termice a moleculelor de gaz în aceste condiții.

2.12. Ce număr de molecule de gaz biatomic ocupă un volum de 10 cm^3 la presiunea de 40 $mm\ Hg$ și la temperatura de $27°C$? Ce viteză medie pătratică au aceste molecule?

2.13. Concentrația moleculelor unui gaz ce se află într-un vas la presiunea de 0,1 Pa este egală cu $10^{13}\ cm^{-3}$. Să se afle energia cinetică medie a mișcării de translație a moleculelor.

2.14. Un gaz, densitatea căruia este egală cu 0,01 kg/m^3, se află într-un vas la presiunea de $2 \cdot 10^5\ Pa$. Să se afle viteza medie pătratică a moleculelor de gaz în aceste condiții.

2.15. Într-un vas închis cu volumul de 2 l se află azot, densitatea căruia este de 1,4 kg/m^3. Ce cantitate de căldură trebuie comunicată azotului, încât el să se încălzească cu $\Delta T = 10\ K$?

2.16. Oxigenul se găsește într-un vas închis cu volumul de 2 l la temperatura de $20^\circ C$ și presiunea de $2\ atm$. După încălzire, presiunea s-a ridicat până la $20\ atm$. Să se determine: temperatura gazului după încălzire și cantitatea de căldură comunicată gazului.

2.17. Ce cantitate de căldură trebuie comunicată la 12 g de oxigen pentru a-l încălzi cu $50^o C$ la presiune constantă?

2.18. Pentru a încălzi o cantitate oarecare de gaz cu $50K$ la presiune constantă, e necesar să se consume $850\ J$. Dacă aceeași cantitate de gaz se răcește la volum constant, se degajă $1300\ J$. Câte grade de libertate au moleculele acestui gaz?

2.19. 10 g de azot se află la presiunea $2 \cdot 10^5\ Pa$ şi temperatura de 17^oC. După încălzire la presiune constantă, gazul ocupă un volum de $5\ l$. Să se afle cantitatea de căldură comunicată gazului.

2.20. 12 g de azot se află într-un vas închis cu volumul de $2\ l$ la temperatura de 10^oC. După încălzire, presiunea în vas a devenit egală cu $1{,}3\ MPa$. Ce cantitate de căldură i-a fost comunicată gazului la încălzire?

2.21. Într-un vas închis cu volumul de $2\ l$ se află heliu la temperatura de $293K$ și presiunea de $10^5\ Pa$. Ce cantitate de căldură trebuie comunicată heliului, pentru a-i ridica temperatura cu 100^oC? Care va fi energia mișcării termice a moleculelor sale?

2.22. Într-un vas închis cu volumul de $2\ l$ se află $10\ g$ de azot și $15\ g$ de argon în condiții normale ($p = 10^5\ Pa,\ T = 273K$). Ce cantitate de căldură trebuie comunicată amestecului pentru a-l încălzi până la 100^oC?

2.23. 32 g de oxigen se află într-un vas închis sub presiunea de $0{,}1\ MPa$ și la temperatura $290K$. După încălzire presiunea a crescut de 4 ori. Să se determine: a) capacitatea vasului; b) temperatura finală; c) cantitatea de căldură transferată a gazului.

2.24. Oxigenul se află într-un vas cu capacitatea de $20\ l$. Să se determine cantitatea de căldură transferată acestui gaz, dacă în procesul de încălzire izocoră presiunea a crescut cu $100\ kPa$.

2.25. O cantitate de 2 mol de gaz biatomic se încălzește într-un proces izocor până la $289\ K$. Să se determine cantitatea de căldură necesară pentru a mări presiunea de 3 ori.

2.26. Azotul cu masa de $280\ g$ se dilată ca rezultat al unui proces izobar la presiunea de $1\ MPa$. Să se determine: a) lucrul efectuat la dilatare; b) volumul final al gazului, dacă acestuia i-a fost transferată cantitatea de căldură egală cu $5\ kJ$, iar temperatura inițială a fost $290\ K$.

2.27. Oxigenul cu volumul de $1\ l$ se află sub presiunea de $1\ MPa$. Să se determine cantitatea de căldură necesară pentru: a) mărirea volumului de 2 ori, în urma procesului izobar; b) mărirea presiunii de 2 ori, în urma procesului izocor.

2.28. Azotul cu masa de $14\ g$ este izotermic comprimat la temperatura de $300\ K$ de la presiunea de $100\ kPa$ până la $500\ kPa$. Să se determine: a) variația energiei interne; b) lucrul efectuat la comprimare; c) cantitatea căldurii degajate.

2.29. Determinați variația energiei interne a gazului ideal monoatomic în procesul prezentat în diagrama $P - V$ (Fig. 2.4), dacă $p_0 = 0{,}1\ MPa$, $V_0 = 2l$.

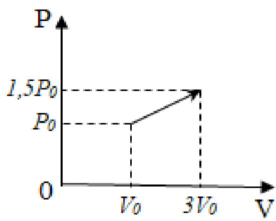


Fig.2.4. Diagrama P(V) pentru problema 2.29

2.30. Un gaz cu masa de $1kg$ se află la temperatura de $300\ K$ și presiunea de $0{,}5MPa$. Ca rezultat al comprimării izotermice, presiunea gazului crește de 2 ori, iar lucrul efectuat la comprimare este egal cu $432kJ$. Să se determine: a) volumul inițial al gazului; b) despre ce gaz este vorba?

2.31. Un gaz monoatomic, cu volumul inițial $2\ m^3$, a fost izocor adus în starea în care presiunea s-a mărit cu $0{,}2\ MPa$. Ce cantitate de căldură i-a fost comunicată gazului?

2.32. Starea unei mase de azot variază conform datelor prezentate în grafic (Fig. 2.5). Presiunea minimală în acest proces este egală cu $3 \cdot 10^5\ Pa$.
Determinați masa gazului și presiunea lui în punctul *1*.

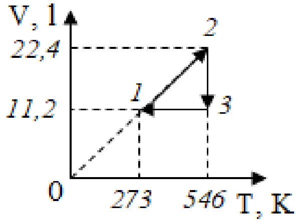


Fig. 2.5. Diagrama pentru problema 2.32

2.33. Un kilomol de gaz, la extindere izobară, efectuează un lucru de $831 J$. Volumul inițial al gazului este $V_1 = 3\ m^3$, iar temperatura $T_1 = 300K$. Ce valori vor avea parametrii V_2, T_2, P_2 după dilatare?

2.34. Doi moli de gaz ideal parcurg un ciclu format din două izobare, ce corespund presiunilor, și două izocore, ce corespund volumelor V și $3V$. Care sunt temperaturile extreme (T_{min}, T_{max}) atinse de gaz în acest ciclu, dacă $P = 200\ kPa, V = 10\ l$?

2.35. Un gaz ideal cu masa egală cu $4\ kg$, aflându-se la temperatura de $300\ K$, este răcit izocor. După răcire, presiunea s-a micșorat de 2 ori. Apoi, gazul a fost supus unei destinderi la presiune constantă. În stare finală, temperatura gazului este egală cu temperatura din starea lui inițială. Calculați lucrul efectuat de gaz. Masa molară a gazului este egală cu $2 \cdot 10^{-3}\ kg/mol$.

2.36. Neonul, aflându-se în condiții normale într-un vas închis cu capacitatea $V = 20\ l$, a fost răcit cu $\Delta T = 91\ K$.

Determinați variația energiei interne a gazului și cantitatea de căldură cedată.

2.37. Într-un vas cu capacitatea $V = 2\ l$ se găsește cripton la presiunea $p_1 = 1\ MPa$. Pereții vasului pot rezista până la presiunea $p_2 = 2\ MPa$. Ce cantitate de căldură maximală poate fi comunicată gazului?

2.38. Un balon cu capacitatea $V = 50\ l$ conține argon la temperatura $T_1 = 290\ K$ și presiunea $p_1 = 500\ kPa$. Care va fi presiunea și temperatura gazului, dacă i se va comunica o cantitate de căldură $Q = 5\ kJ$?

2.39. Un mol de gaz monoatomic se încălzește la volum constant până la temperatura $T = 280\ K$. Ce cantitate de căldură trebuie comunicată gazului, pentru ca presiunea să se mărească de $n = 3$ ori?

2.40. Heliul se încălzea la presiune constantă. Cu toate acestea, lui i-a fost comunicată o cantitate de căldură de $20\ kJ$. Determinați variația energiei interne a gazului și lucrul efectuat de gaz.

2.41. Criptonul cu masa $m = 1{,}0\ g$ a fost încălzit cu $\Delta T = 100\ K$, la presiune constantă. Ce cantitate de căldură a primit gazul?

2.42. În partea de jos a unui cilindru cu aria de $1\ m^2$ sub un piston cu masa de $10\ kg$ se află $1\ m^3$ de aer la temperatura de $0°C$ și presiunea de $10^5\ Pa$. Aerul de sub piston este încălzit cu $1°C$ și ridică pistonul. Calculați lucrul efectuat de gaz la dilatare.

2.43. Într-un cilindru vertical, sub un piston greu se află oxigen cu masa de $2\ kg$. Pentru a ridica temperatura lui cu $5K$, oxigenului i s-a comunicat o cantitate de căldură egală cu

$9160\, J$. Determinați căldura specifică a oxigenului c, lucrul L, efectuat de oxigen la extindere și variația energiei sale interne ΔU. Masa molară a oxigenului este de $0{,}032\, kg/mol$.

2.44. Ce cantitate de căldură trebuie comunicată, pentru a încălzi cu $\Delta T = 20\, K$ heliul cu masa $m = 40\, g$, ce se conține într-un balon? Cu ce este egală căldura specifică a heliului?

2.45. Într-un cilindru, sub pistonul cu suprafața $S = 1{,}0\, dm^2$ se găsește $1\, mol$ de aer. De piston, printr-un bloc, este atârnată o greutate cu masa $M = 55\, kg$. Cilindrul este răcit cu $\Delta T = 100\, K$. La ce înălțime se va ridica greutatea? Masa pistonului este $m = 5{,}0\, kg$, presiunea atmosferică normală.

2.46. Oxigenul cu masa $m = 0{,}30\, kg$ la temperatura $T = 320\, K$ a fost supus răcirii izocore, în urma căreia presiunea sa s-a micșorat de $n = 3$ ori. Apoi gazul a fost supus dilatării izobare, astfel încât temperatura lui a devenit egală cu cea inițială. Ce lucru a efectuat gazul? Cum s-a modificat energia internă a gazului?

2.47. Ce cantitate de căldură trebuie comunicată, pentru a încălzi cu $\Delta T = 20\, K$ heliul cu masa $m = 40\, g$, ce se conține într-un balon? Cu ce este egală căldura specifică a heliului?

2.48. Într-un cilindru situat orizontal sub piston, se află un gaz cu volumul $V = 2{,}0\, l$ la temperatura $T_1 = 299\, K$. Determinați lucrul de dilatare al gazului la încălzirea lui cu $\Delta T = 100\, K$. Masa pistonului este $m = 10\, kg$, suprafața $S = 50\, cm^2$, presiunea atmosferică normală.

2.49. Ce lucru se efectuează la transformarea unei mase $m = 1{,}0\ kg$ de apă în vapori, la temperatura $T = 373\ K$? Ce cantitate de energie se consumă la ruperea legăturilor dintre molecule?

2.50. Într-un cilindru, sub pistonul cu suprafața $S = 1{,}0\ dm^2$ se găsește $1\ mol$ de aer. De piston, printr-un bloc, este atârnată o greutate cu masa $M = 55\ kg$. Cilindrul este răcit cu $\Delta T = 100\ K$. La ce înălțime se va ridica greutatea? Masa pistonului este $m = 5{,}0\ kg$, presiunea atmosferică normală.

2.51. Într-un vas închis se află 14 g de azot la presiunea de $10^5\ Pa$ și la temperatura de $27°C$. După încălzire, presiunea în vas s-a mărit de 5 ori. Să se afle volumul vasului și ce cantitate de căldură a fost comunicată gazului.

2.52. Într-un cilindru vertical cu aria bazei $10\ cm^2$ se află un gaz cu temperatura de $27°C$. La înălțimea de $0{,}25\ cm$ de la baza cilindrului se află un piston cu masa de $2\ kg$. Ce lucru va efectua gazul la dilatare, dacă va fi încălzit cu $100°C$? Presiunea atmosferică este $10^5\ Pa$. Frecarea se neglijează.

2.53. Ca rezultat al unui proces ciclic, gazul a efectuat lucrul $L = 100\ J$ și a transmis răcitorului o cantitate de căldură $Q = 400\ J$. Determinați randamentul ciclului.

2.54. Un mol de gaz monoatomic efectuează un ciclu, care constă din două izocore și două izobare. Presiunea maximă este de $n_1 = 2{,}0$ ori mare decât cea minimă, iar volumul maximal este de $n_2 = 3{,}0$ ori mai mare decât cel minimal. Determinați randamentul ciclului.

2.55. Determinați randamentul ciclului, care constă din două adiabate și două izocore, efectuat de un gaz ideal, dacă este cunoscut că, în procesul dilatării adiabatice, temperatura absolută a gazului este $T_2 = 0{,}75T_1$, iar în procesul comprimării adiabatice $T_4 = 0{,}75T_3$.

2.56. Gazul efectuează un ciclu Carnot. Temperatura absolută a încălzitorului este de trei ori mai mare decât cea a frigiderului. Determinați cantitatea de căldură transmisă frigiderului.

2.57. Determinați randamentul ciclului prezentat în Figura 2.6, fluidul de lucru al căruia este gazul ideal, dacă $p_2 = 2p_1, V_2 = 4V_1$.

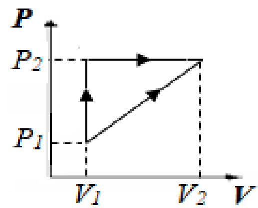


Fig. 2.6. Desen pentru problema 2.57

2.58. Gazul efectuează un ciclu Carnot. Temperatura frigiderului este $T_1 = 280\ K$, iar cea a încălzitorului $T_2 = 380\ K$. De câte ori se va mări randamentul, dacă temperatura încălzitorului va crește cu $\Delta T = 200\ K$?

2.59. Un mol de gaz ideal este trecut din starea 1 în starea 2 (Fig. 2.7). Determinați ce cantitate de căldură primește gazul la încălzire și ce cantitate – la răcire, dacă $p_0 = 760\ hPa, V_0 = 20\ l$?

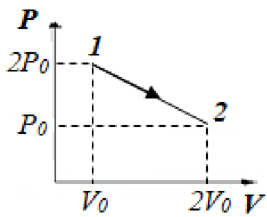


Fig. 2.7. Desen pentru problema 2.59

2.60. Gazul efectuează un ciclu Carnot și cedează frigiderului 70% de căldură, primită de la încălzitor. Temperatura încălzitorului este $T_î = 430\ K$. Determinați temperatura frigiderului.

BIBLIOGRAFIE

1. Detlaf, A.A., Iavorschi, B.M. *Curs de fizică*. Chişinău: Lumina, 1991. 606 p.
2. Савельев, И.В. *Курс де физикэ женералэ*. Вол. 1. *Механика. Физика молекуларэ*. Кишинэу: Штиинца, 1982. 396 п.
3. Кашина, С.И., Сезонов, Ю.И. *Сборник задач по физике*. Москва: Высшая школа, 1984. 208 с.
4. Трофимова, Т.И. *Сборник задач по физике* (Учебное пособие для студентов ВТУЗ). Москва: Высшая школа, 1991. 300 с.
5. Волкенштейн, В.С. *Кулежере де проблеме де физикэ женералэ*. Кишинэу: Лумина, 1971. 320 п.
6. Buhovțev, B.B., Krivcenkov, V.D., Meakișev, C.Ia., Saraeva, I.M. *Culegere de probleme de fizică elementară* (Materiale didactice pentru autoinstruire). Chișinău: Cartea moldovenească, 1990. 462 p.
7. Mantea, C. *Fizica*. *Culegere de probleme la mecanică*. București: Editura MIRA, 1993. 284 p.
8. Новодворская, Е.М., Дмитриев, Э.М. *Сборник задач по физике для ВТУЗОВ*. Москва: Мир и Образование, 2005. 368 с.
9. Иродов, И.Е. *Задачи по общей физике*. Москва: Высшая школа, 1979. 367 с.
10. Сибирский, А.С. *Проблеме де физикэ пентру абитуриенць*. Кишинэу: Лумина, 1976. 135 п.
11. Цуркан, Г.И., Сибирский, А.С., Маклович, С.Т. *Методика резолвэрий проблемелор де физикэ молекуларэ*. Кишинэу, 1987. 57 п.

Anexă

Variantele lucrărilor individuale

Vari-anta	**Numărul problemei**								
1	1.1	1.13	1.25	1.37	2.1	2.13	2.25	2.37	2.49
2	1.2	1.14	1.26	1.38	2.2	2.14	2.26	2.38	2.50
3	1.3	1.15	1.27	1.39	2.3	2.15	2.27	2.39	2.51
4	1.4	1.16	1.28	1.40	2.4	2.16	2.28	2.40	2.52
5	1.5	1.17	1.29	1.41	2.5	2.17	2.29	2.41	2.53
6	1.6	1.18	1.30	1.42	2.6	2.18	2.30	2.42	2.54
7	1.7	1.19	1.31	1.43	2.7	2.19	2.31	2.43	2.55
8	1.8	1.20	1.32	1.44	2.8	2.20	2.32	2.44	2.56
9	1.9	1.21	1.33	1.45	2.9	2.21	2.33	2.45	2.57
10	1.10	1.22	1.34	1.46	2.10	2.22	2.34	2.46	2.58
11	1.11	1.23	1.25	1.47	2.1	2.23	2.35	2.47	2.59
12	1.12	1.24	1.26	1.48	2.2	2.24	2.36	2.48	2.60

Valentina NICORICI, Liliana DMITROGLO

FIZICA MOLECULARĂ

Ghid metodic pentru studenții de la învățământ cu frecvență redusă

Specialitățile: ***Tehnologia informației; Inginerie și managementul calității***

Redactare: *Antonina Dembiţchi*
Machetare computerizată: *Tatiana Capliuc*

Bun de tipar *27.12.2019.* Formatul *60×84 1/16*
Coli de tipar *3,5*. Coli editoriale *1,5*.
Comanda *79.* Tirajul *50 ex.*

Centrul Editorial-Poligrafic al USM
str. Al.Mateevici, 60, Chişinău, MD-2009