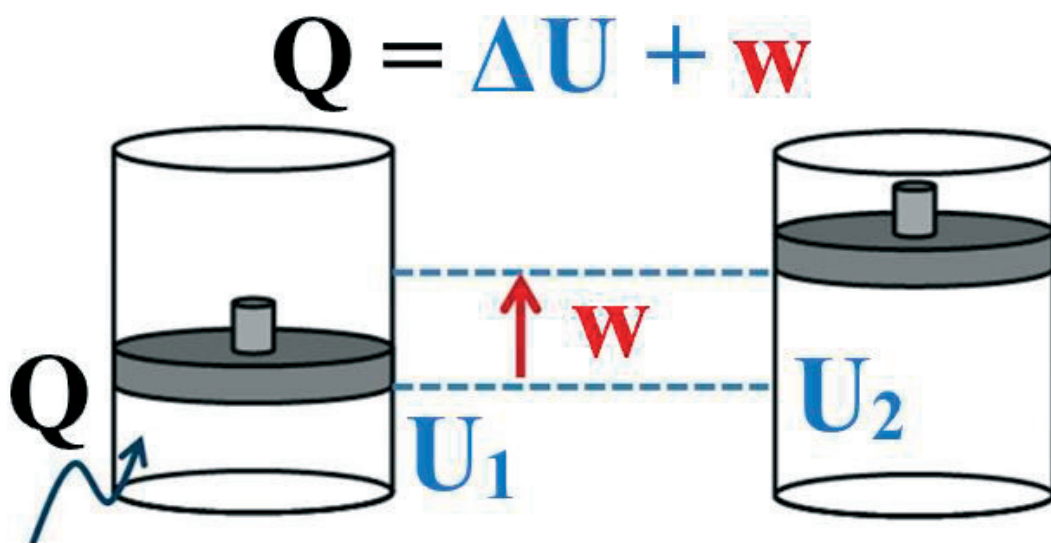


CATEDRA CHIMIE

Ion ARSENE

COMPENDIU
TERMODINAMICA CHIMICĂ
APLICAȚII PRACTICE



CZU: 544.3(075.8)(076.5)

A 83

Aprobat la ședința Senatului Universității Pedagogice de Stat „Ion Creangă”
din Chișinău, proces verbal nr. 7 din 26 ianuarie 2023

Recenzenți:

Bălan Iolanta - Dr. în chimie, cercetător științific superior,

Laboratorul *Chimia cuantică*, Institutul de Chimie.

Coropceanu Eduard – Dr. în chimie, prof. univ., Catedra chimie ,

Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă”.

DESCRIEREA CIP A CAMEREI NAȚIONALE A CĂRȚII DIN REPUBLICA MOLDOVA

Arsene, Ion.

Termodinamica chimică: Aplicații practice: Compendiu/Ion Arsene; Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova, Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă”, Catedra Chimie. – Chișinău : S. n., 2023 (CEP UPSC). – 63 p. : fig., tab.

Bibliogr.: p. 63 (5 tit.). – [100] ex.

ISBN 978-9975-46-718-6.

544.3(075.8)(076.5)

A 83

ISBN 978-9975-46-718-6.

PREFAȚĂ

Lucrarea este alcătuită în baza curriculumului la disciplina Termodinamica chimică și destinată pentru studenții Facultății Biologie și chimie, specialitățile Chimie, Chimie și biologie, Biologie și chimie și oferă descrierea concisă a lucrărilor de laborator și a unor probleme cu modele de rezolvări din domeniul termodinamicii.

Scopul elaborării practicumului a fost de a forma la studenți imaginea corectă despre proprietățile principale ale gazelor, principiul I și II al termodinamicii, conținând 5 lucrări de laborator, o serie de probleme cu modele de rezolvări și o secțiune de date care sunt folosite pentru realizarea aplicațiilor practice la Termodinamica chimică.

Sucesiunea lucrărilor de laborator corespunde ordinii materialului teoretic de la cursul de prelegeri. Fiecare lucrare conține o mică introducere teoretică, partea experimentală, prelucrarea rezultatelor și finisată cu întrebări de totalizare, ce necesită o analiză a celor efectuate, argumentate și explicate. Exercițiile și problemele cuprind unele modele de rezolvări. Pentru lucrul de sine stătător ele sunt diferite după gradul de complexitate, ce oferă profesorului posibilitatea de a evalua studenții diferențiat după acel minim care corespunde curriculumului disciplinei studiate.

Realizând lucrările de laborator, studenții trebuie să aibă posibilitatea de a lucra de sine stătător pentru a putea efectua partea experimentală, ulterior de a-și dezvolta capacitatea de gândire și asupra întrebărilor de autocontrol, pentru verificarea cunoștințelor teoretice dobândite la curs și deprinderilor practice.

Autorul își manifestă speranța că tipărind această lucrare va ajuta la corelarea cunoștințelor predate la cursul teoretic cu aplicațiile practice, determinând în acest fel o asimilare inteligentă și creatoare a unui compartiment valoros din Chimia Fizică.

Autorul

CUPRINS

1. LUCRĂRI DE LABORATOR	5
1.1. Lucrare de laborator nr. 1: Teoria cinetico-moleculară și vitezele moleculare.	5
1.2. Lucrare de laborator nr. 2: Efectul presiunii asupra volumului unui gaz (Legea Boyle-Mariotte)	9
1.3. Lucrare de laborator nr. 3: Determinarea masei moleculare a substanțelor gazoase.....	12
1.4. Lucrare de laborator nr. 4: Determinarea capacității calorice a calorimetrului	17
1.5. Lucrare de laborator nr. 5: Determinarea căldurii de hidratare și a căldurii de neutralizare	20
2. PROBLEME CU MODELE DE REZOLVĂRI	24
2.1. Proprietăți ale gazelor	24
2.2. Principiul I al termodinamicii	37
2.3. Principiul II al termodinamicii.....	45
3. SECȚIUNE DE DATE	50
Tabelul 3.1. Proprietăți fizice ale unor elemente chimice	50
Tabelul 3.2. Proprietăți fizice ale unor substanțe compuse	50
Tabelul 3.3. Constante critice	50
Tabelul 3.4. Constante Van der Waals.....	51
Tabelul 3.5. Energii de ionizare, E_i /(kJ mol ⁻¹).....	51
Tabelul 3.6. Entalpii de disociere a legăturilor, $\Delta H^\ominus(A-B)$ /(kJ mol ⁻¹) (la 298K).....	52
Tabelul 3.7. Date termodinamice pentru compuși organici (la 298K)	52
Tabelul 3.8. Date termodinamice (la 298K)	53
Tabelul 3.9. Căldura integrală de dizolvare (ΔH_m) a unor săruri în apă (la 25°C)	59
Tabelul 3.10. Căldura integrală de dizolvare ($-\Delta H_m$) a unor acizi și baze în apă (la 25°C)	61
Tabelul 3.11. Căldura integrală de dizolvare a substanțelor care formează cristalohidrați (la 18°C).....	62
BIBLIOGRAFIE	63

1. LUCRĂRI DE LABORATOR

1.1. Lucrare de laborator nr. 1: Teoria cinetico-moleculară și vitezele moleculare.

Reactive și utilaje: Pahare, amoniac, acid clorhidric concentrat, pensetă, termometru, barometru, vată.

NOȚIUNI DE BAZĂ

Proprietățile unui gaz ideal pot fi exprimate calitativ printr-un model în care moleculele de gaz se află într-o continuă mișcare haotică. Teoria cinetică a gazelor pune bazele cantitative ale exprimării proprietăților gazelor.

Ipotezele teoriei cinetice a gazului ideal se pot rezuma la următoarele afirmații:

1. Gazul este alcătuit din molecule sferice de masă m_0 , diametru d , în continuă mișcare haotică;
2. Dimensiunea moleculelor este neglijabilă (diametrele moleculelor sunt mult mai mici decât distanța medie parcursă între ciocniri);
3. Moleculele nu interacționează, cu excepția ciocnirilor perfect elastice, când distanța între centrele lor este egală cu d .

O ciocnire elastică se produce atunci când energia cinetică totală a sistemului din două molecule este aceeași înainte și după ciocnire (conservarea energiei cinetice). Tot în ciocnirile elastice se conservă și impulsul.

Aplicând afirmațiile 1-3 la ciocnirea unei molecule cu un perete și ținând seama de ipotezele statistice de mișcare haotică, se obține expresia:

$$PV = \frac{1}{i} nM\bar{v}^2, \text{ unde } \bar{v} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} \quad (1)$$

unde \bar{v}^2 se numește viteza pătratică medie.

Pentru gazele ideale ($PV = nRT$), obținem:

$$PV = \frac{1}{i} nM\bar{v}^2 = nRT \Rightarrow \bar{v}^2 = \frac{iRT}{M} \Rightarrow iRT = \bar{v}^2 M \quad (2)$$

De obicei, gazele monoatomice au trei grade de libertate (mișcare pe cele trei axe de coordonate). Moleculele gazelor biatomice, cum sunt H_2 , O_2 , N_2 , HCl etc., au o formă liniară, numărul de grade de libertate fiind 5 (datorită mișcărilor de translație și rotație).

Pentru mai multe gaze de mase molare diferite aflate la aceeași temperatură, vor exista viteze pătratice medii diferite astfel încât produsul RT să fie același:

$$RT = \frac{\bar{v}_1^2 M_1}{i_1} = \frac{\bar{v}_2^2 M_2}{i_2} = \frac{\bar{v}_j^2 M_j}{i_j} \quad (3)$$

Vitezele de difuzie în același mediu se corelează direct cu vitezele moleculare:

$$\bar{v}_j = K_{\text{mediu}} \cdot v_{D,j} \quad (4)$$

asa încât putem scrie:

$$\frac{\bar{v}_{D,1}^2 M_1}{i_1} = \frac{\bar{v}_{D,2}^2 M_2}{i_2} = \frac{\bar{v}_{D,j}^2 M_j}{i_j} \quad (5)$$

Relația (5) se va verifica direct cu ajutorul unui experiment.

PARTEA EXPERIMENTALĂ

Pentru verificarea relației (5) se va folosi un montaj ca cel reprezentat în Figura 1.1, în care mediul de difuzie este aerul, iar ca și gaze difuzante se vor folosi vaporii de HCl și de NH₃. Se utilizează un tub de sticlă, două dopuri de vată, un cronometru, o riglă gradată și un stativ cu clemă.

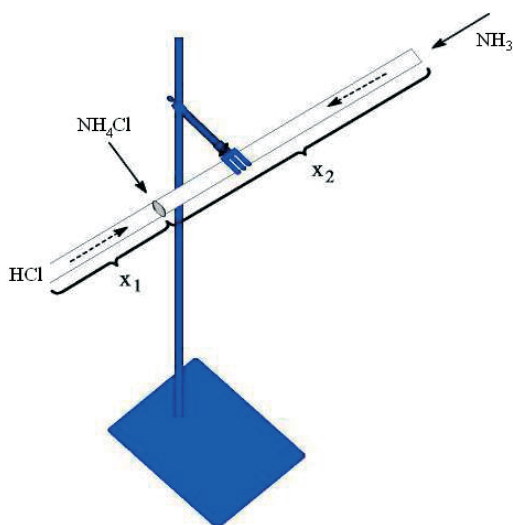


Fig. 1.1. Instalația de difuzie a gazelor NH₃ și HCl cu formarea inelului NH₄Cl

PRELUCRAREA REZULTATELOR

Se efectuează următoarea succesiune de etape a lucrării:

1. Se curăță tubul cu ajutorul unei tije cu o bucată de vată uscată;
2. Se îmbibă două bucăți de vată, una în soluție de acid clorhidric ($\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$), iar cealaltă în soluție de amoniac ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$);
3. Se introduc, în același timp, cele două bucăți de vată în capetele tubului, așa cum este arătat în desenul din Figura 1.1 și se pornește cronometrul;
4. Se urmărește experimentul până când apare inelul datorat formării clorurii de amoniu NH_4Cl , moment în care se oprește cronometrul și se notează timpul t ;
5. Se măsoară distanțele parcurse de gaze, x_1 și x_2 de la capetele tubului până la inel;
6. Se calculează vitezele medii de difuzie:

$$v_{\text{HCl}} = \frac{x_1}{t}, v_{\text{NH}_3} = \frac{x_2}{t} \quad (6)$$

7. Folosind masele molare $M(\text{HCl})$ și $M(\text{NH}_3)$ se calculează expresiile:

$$E_{\text{HCl}} = \frac{v_{\text{HCl}}^2 \cdot M(\text{HCl})}{i_{\text{HCl}}} \quad (7)$$
$$E_{\text{NH}_3} = \frac{v_{\text{NH}_3}^2 \cdot M(\text{NH}_3)}{i_{\text{NH}_3}}$$

ținând seama că HCl este o moleculă diatomică, deci $i_{\text{HCl}} = 5$, iar NH_3 este o moleculă poliatomică, deci $i_{\text{NH}_3} = 6$;

8. Se compară cele două rezultate, calculând valoarea medie și abaterea medie:

$$\bar{E} = \frac{E_{\text{HCl}} + E_{\text{NH}_3}}{2} \quad (8)$$
$$\text{abatere}(E) = \frac{|\bar{E} - E_{\text{HCl}}| + |\bar{E} - E_{\text{NH}_3}|}{2}$$

9. Se exprimă rezultatul măsurătorii ca fiind:

$$E = \bar{E} \pm \text{abatere}(E) \quad (9)$$

10. Din formulele (3), (4), (7) și (8) rezultă:

$$RT = K_{\text{mediu}}^2 E \quad (10)$$

11. Se calculează produsul RT , se împarte la valoarea lui E și se obține K_{mediu} :

$$K_{mediu} = \sqrt{\frac{RT}{E}} \quad (11)$$

12. Se prezintă rezultatele obținute.

Întrebări de verificare

1. Care este diferența între viteza pătratică medie și viteza medie de difuzie?
2. Toate gazele au aceeași viteză pătratică medie? Explicați!
3. Cum afectează gradele de libertate mobilitatea moleculelor?

1.2. Lucrare de laborator nr. 2: Efectul presiunii asupra volumului unui gaz (Legea Boyle-Mariotte)

Reactive și utilaje: Seringi de diferite volume, termometru, barometru, riglă, greutateți.

Scopul lucrării: Efectul presiunii asupra volumului unui gaz cu determinarea numărului de moli de gaz supuși experimentului.

NOȚIUNI DE BAZĂ

Robert Boyle a arătat cu bună aproximație, în 1661, că pentru o cantitate de gaz aflată la o temperatură constantă, între P și V există relația $PV = \text{const}$ (Legea Boyle- Mariotte).

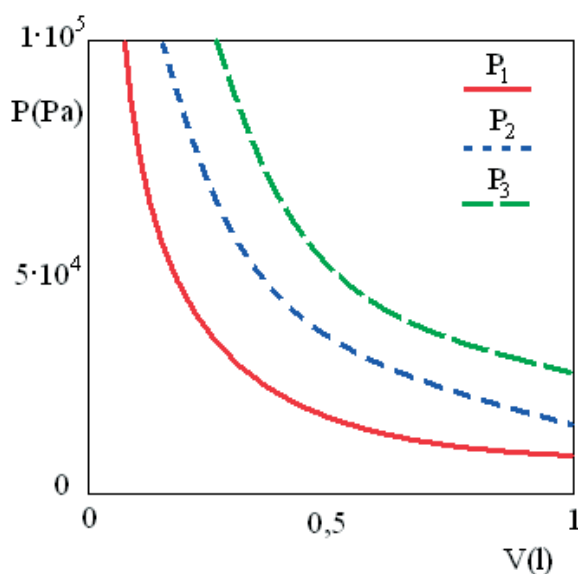


Fig. 1.2. Izotermele gazului perfect $P_1V = 10^4$; $P_2V = 2 \times 10^4$; $P_3V = 3 \times 10^4$.

În Figura 1.2 se prezintă dependența presiune (volum) pentru o cantitate de gaz aflată la diferite temperaturi; fiecare curbă e o hiperbolă și se numește *izotermă*.

Dependența $P_1 = P_1(V)$ este corespunzătoare unei temperaturi T_1 mai mică decât T_2 a dependenței $P_2 = P_2(V)$ și aceasta la rândul ei mai mică decât T_3 a dependenței $P_3 = P_3(V)$.

Practic se va studia dependența presiunii de volum la temperatură constantă pentru o probă de aer.

PARTEA EXPERIMENTALĂ

1. Se umple o seringă cu aer, după care i se astupă vârful (Figura 1.3);
2. Se notează diviziunea inițială de pe indicația seringii, fie aceasta d_1 ;
3. Se cântărește un corp cu fund plat, fie masa acestuia m ;
4. Se așază corpul de masă m pe pistonul seringii lăsând lent pistonul să coboare astfel încât să se obțină o transformare la temperatură constantă, se notează noua indicație a seringii, fie aceasta d_2 ;
5. Se înlătură corpul de masă m și se eliberează sistemul;
6. Cu o riglă se măsoară distanța între diviziunile d_1 și d_2 , fie aceasta x (cm).

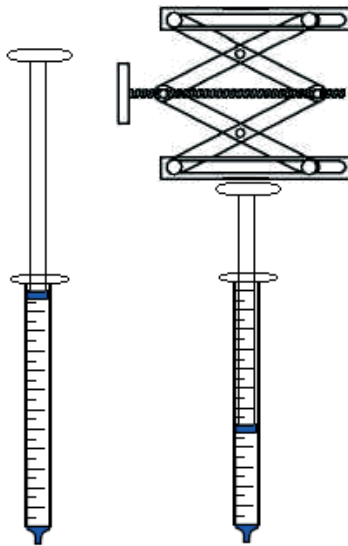


Fig. 1.3. Variația volumului gazului.

PRELUCRAREA REZULTATELOR

Se calculează suprafața bazei cilindrului din interiorul seringii, ținând seama de volumul între două diviziuni (d_1 și d_2), citit de pe seringă, v (cm³):

$$S = \frac{v}{x} \quad (1)$$

Se calculează presiunea suplimentară datorată masei m :

$$P_m = \frac{mg}{S} \quad (2)$$

unde accelerația gravitațională $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Se calculează expresiile:

$$\begin{aligned} E_1 &= P(V - d_1 \cdot v) \\ E_2 &= (P + P_m)(V - d_2 \cdot v) \end{aligned} \quad (3)$$

unde, V volumul total al seringii.

Se compară valorile, calculând valoarea medie și abaterea medie:

$$\bar{E} = \frac{E_1 + E_2}{2}; \text{ abatere}(E) = \frac{|\bar{E} - E_1| + |\bar{E} - E_2|}{2} \quad (4)$$

Se măsoară temperatura cu ajutorul unui termometru, fie aceasta T , se calculează produsul RT și apoi numărul de moli de gaz supuși experimentului din relația:

$$n = \frac{\bar{E}}{RT} \quad (5)$$

unde, R este constanta universală a gazelor perfecte, $R = 0,082 \text{ L atm/K mol}$.

Se prezintă rezultatele, respectiv $E = \bar{E} \pm \text{abatere}(E)$ și n .

1.3. Lucrare de laborator nr. 3: Determinarea masei moleculare a substanțelor gazoase

Reactive și utilaje: Eter, apă distilată, reșou, suport, pahar, pipetă, balanță, vase comunicante, fiolă, pâlnie, pensetă, termometru, barometru, baie de apă.

Scopul lucrării: determinarea masei moleculare a unui lichid volatil.

NOȚIUNI DE BAZĂ

Ecuția caracteristică pentru gazele ideale este:

$$PV = \frac{mRT}{M} \quad (1)$$

Ecuția (1) dă posibilitatea de a determina masa moleculară a substanțelor gazoase și a lichidelor volatile. În această ecuație:

m - masa substanței;

V - volumul gazului sau vaporilor;

P - presiunea;

T - temperatura absolută;

R - constanta universală a gazelor ideale;

M - masa moleculară a substanței.

Pentru a determina masa moleculară trebuie să măsurăm masa substanței, volumul masei date de gaz sau vapori, presiunea și temperatura.

PARTEA EXPERIMENTALĂ

Pentru a determina masa moleculară a unui lichid volatil se va lua o cantitate mică de acest lichid, transformându-l în vapori și se va măsura volumul, presiunea și temperatura vaporilor. Măsurările necesare pot fi efectuate cu ajutorul unui aparat simplu, schema căruia este redată în Figura 1.4. Aparatul reprezintă un sistem de vase comunicante. Tubul (1) este prevăzut cu un suport (2), pe care se instalează fiola cu lichid (3). Tubul (1) este unit cu biureta (4) cu ajutorul unui dop de cauciuc, iar biureta (4) la rândul ei este unită cu o pâlnie (5).

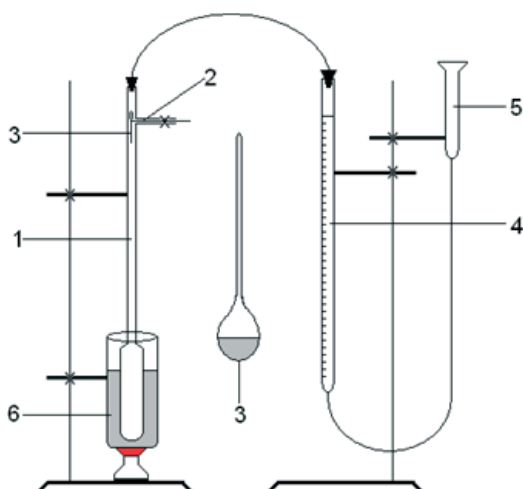


Fig. 1.4. Schema instalației

Pentru a transforma lichidul în vapori, tubul (1) este introdus într-un tub mai mare (6) în care se toarnă apă. O cantitate mică de lichid se ia într-o fiolă de sticlă, pe care apoi o sudăm. Pentru a determina cât mai exact masa lichidului, fiola goală este la început cântărită la balanța analitică, apoi introducem în ea o cantitate mică de lichid (nu mai mult de $0,5\text{ ml}$) o sudăm și o cântărim la balanța analitică împreună cu capătul de sticlă care s-a separat în timpul sudării.

Diferența dintre masa fiolei goale (m_1) și a fiolei cu lichid (m_2) este masa lichidului din fiolă (m), adică:

$$m = m_2 - m_1$$

Înainte de a începe experimentul se pregătește aparatul pentru lucru. Se toarnă în balonul (6) apă și se introduce în balon tubul (1), astfel în cât el să nu vină în contact cu pereții balonului și se fixează tubul (1) pe un stativ. Apoi se toarnă apă în biureta (4) aproximativ până la zero, iar pâlnia (5) se fixează în așa fel, în cât în ea să fie puțină apă. Se unește tubul (1) și biureta cu un tub de cauciuc, apoi se verifică dacă sistemul este închis ermetic. Controlul se efectuează coborând pâlnia (5) cu $25\text{--}30\text{ cm}$ mai jos și se fixează. Nivelul apei în biuretă coboară ceva mai jos, dar este mai sus decât în pâlnie. Dacă sistemul este închis ermetic această diferență de niveluri se menține, dar dacă nu este închis ermetic nivelul apei în biuretă treptat coboară până când se nivelează cu apa din pâlnie. În caz că nu este închis ermetic se controlează pe unde pătrunde aerul și se repetă până când instalația este închisă

ermetic. Se scoate dopul din tubul (1) aranjând fiola pe suportul (2) și se încălzește apa în balonul (6) până la fierbere. Când apa fierbe, tubul (1) se închide, se controlează încă o dată sistemul dacă este închis ermetic și dacă este închis ermetic, lăsați fiola (3) să cadă de pe suport. Căzând, ea se sparge, lichidul din ea se transformă în vapori. Vaporii fiind mai grei ca aerul rămân în tubul (1) și ocupă partea de jos a acestui tub. Însă ei dezlocuiesc aerul din tubul (1), care prin tubul de cauciuc trece în biureta (4), apasă asupra apei și apa din biuretă trece în pâlnia (5). Volumul vaporilor este egal cu volumul aerului, pe care l-a dezlocuit și care a trecut în biuretă.

Deoarece sistemul este închis ermetic, nu se poate introduce în el un aparat cu ajutorul căruia putem măsura presiunea în sistem. De aceea presiunea se măsoară astfel. Pâlnia (5) se apropie de biureta (4) și se aranjează în așa fel, ca nivelul apei în biuretă și în pâlnie să fie la fel. În acest caz presiunea în sistem este egală cu presiunea atmosferică din cameră. Deci măsurând presiunea în laborator, asta va fi și presiunea vaporilor din vas. Volumul vaporilor este egal cu volumul apei dezlocuite din biuretă. Temperatura se măsoară cu un termometru timp de 1-2 min, alături de biuretă. Datele măsurate în timpul experienței se introduc în tabel.

m_1	m_2	$m = m_2 - m_1$	P	V	t	T

Înlocuind în formula (1) datele primite determinăm masa molară a lichidului.

PREGĂTIREA FIOLEI

Pentru a determina masa moleculară a unui lichid volatil se ia un volum mic de acest lichid, se cântărește cât mai exact, se transformă în vapori, măsurând volumul vaporilor formați, presiunea și temperatura lor. După aceea mărimile măsurate se introduc în ecuația (1) și se calculează masa moleculară a lichidului cercetat.

Volumul de lichid se introduce în fiolă astfel: se ia o fiolă mică din sticlă foarte subțire, forma ei este arătată pe desen și se cântărește cât mai exact la balanța analitică. Masa fiolei goale (m) o înscrinem în caiet. După aceea tubul fiolei se introduce într-un vas cu lichid cercetat și se încălzește ușor fiola apropiind de ea flacăra unui chibrit. Aerul din fiolă la încălzire se dilată și o parte din el iese din fiolă (se observă, că prin lichid trec bule de aer). Înlăturând flacăra, aerul din fiolă se răcește, se contractă și o parte din lichid pătrunde în fiolă prin tubul care este cufundat în lichid. Însă trebuie să fim foarte atenți! Pentru a încălzi fiola putem folosi flacăra unui chibrit s-au a unei lumânări numai în acel caz, când lichidul concentrat nu este inflamabil. Dacă se lucrează cu eter, sau alt lichid care se aprinde ușor nu se poate folosi flacăra, pentru că va lua foc eterul din vas. În asemenea cazuri fiola poate fi umplută cu lichid astfel: se cufundă tubul fiolei în lichid, iar cu cealaltă mână se ia într-o pipetă puțin eter și picurăm de două-trei ori pe fiolă. Eterul picurat se evaporă foarte repede, la evaporarea lui aerul din fiolă se contractă și o parte din lichid pătrunde în fiolă. Când $1/3$ sau $1/2$ de fiolă s-a umplut cu lichid, se scoate tubul din vasul cu lichid și se întoarce fiola cu tubul în sus astfel, aerul din fiolă se va încălzi și lichidul va ieși din fiolă. Fiola trebuie umplută cu lichid nu mai puțin de $1/4$ dar nu mai mult de $1/3$ din volumul ei. După aceea se sudează. Sudarea se face astfel – se apucă cu două degete tubul fiolei aproximativ la mijloc. Cu cealaltă mână se ia cu penseta și se apucă cu ea vârful tubului fiolei. La flacăra unui chibrit sau unei lumânări se încălzește tubul în locul cuprins între degete și pensetă. Când sticla a devenit moale se trage încet cu penseta capătul tubului și în același timp se înlătură flacăra. Vârful tubului se desprinde și fiola rămâne sudată. După ce sa sudat fiola se cântărește din nou la balanța analitică punând pe taler și vârful tubului, care s-a desprins în timpul sudării. Masa fiolei cu lichid (m_2) se înscrie de asemenea în caiet. Masa lichidului din fiolă (m) este egală cu:

$$m = m_2 - m_1$$

PRELUCRAREA REZULTATELOR

1. Desenați schema instalației.
2. Calculați masa lichidului din fiolă.
3. Determinați masa molară a lichidului.
4. Comparați masa molară practică cu cea teoretică și calculați eroarea relativă (2) și absolută (3) după formula:

$$\varepsilon\% = |M_t - M_{exp}| \quad (2)$$

$$\varepsilon\% = \left| \frac{M_t - M_{exp}}{M_t} \right| \quad (3)$$

5. Calcule și concluzii.

1.4. Lucrare de laborator nr. 4: Determinarea capacității calorice a calorimetrului

Reactive și utilaje: KNO_3 (cristalin), apă distilată, calorimetru, balanța tehnică, balanța analitică, eprubete, hârtie milimetrică.

Scopul lucrării: determinarea capacității calorice a calorimetrului, bazându-se pe căldura de dizolvare a sării KNO_3 .

NOȚIUNI DE BAZĂ

Calcululele la măsurările calorimetrice sunt bazate pe formulele:

$$Q = \frac{K \cdot \Delta t}{n} \quad (1)$$

unde:

Q - efectul caloric al procesului dat;

Δt - variația temperaturii;

n - numărul de moli de substanță, care participă la procesul calorimetric;

K - constanta calorimetrului.

Dacă lucrarea are ca scop să determinăm efectul caloric al procesului dat, trebuie să cunoaștem capacitatea calorică a calorimetrului (K), temperatura (t) și masa (m), care se măsoară experimental.

Capacitatea calorică a calorimetrului k , depinde de mărimea vasului, în care se petrece procesul, de cantitățile de substanță, care iau parte la proces etc. Deci pentru fiecare calorimetru, capacitatea calorică este o anumită mărime, pe care trebuie să o stabilim. Pentru a determina capacitatea calorică a unui calorimetru folosim formula (2), pentru care efectul caloric al calorimetrului este cunoscut.

$$K = \frac{Q \cdot n}{\Delta t} \quad (2)$$

PARTEA EXPERIMENTALĂ

Măsurările calorimetrice se efectuează într-un vas special (calorimetru), care este izolat, cât mai mult posibil de mediul înconjurător. El este format dintr-un vas

de sticlă cu pereți dubli și argințați (vasul Dewar) (1) închis cu un dop (2), prin care trece termometrul (3), agitatorul (4) și eprubeta cu substanță (5) (Figura 1.5).

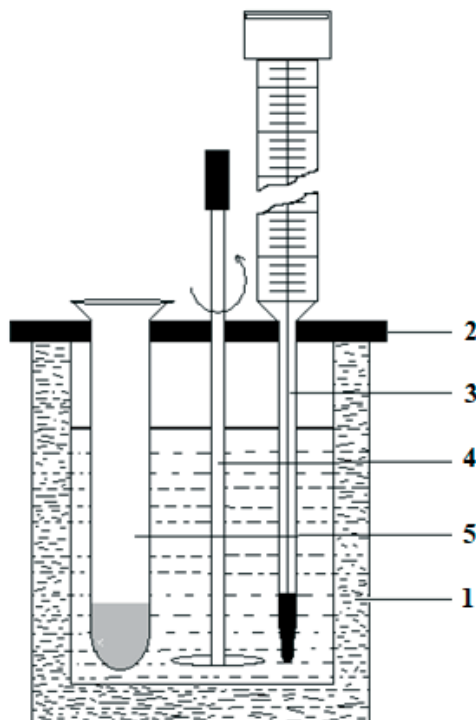


Fig. 1.5. Calorimetru

Lucrarea trebuie să fie efectuată într-o anumită ordine:

- cântărim la balanța tehnică, apoi analitică eprubeta (5) goală și uscată, m_1 ;
- turnăm în ea aproximativ 5g de KNO_3 și o cântărim din nou, m_2 .

Masa sării m este egală cu

$$m = m_2 - m_1$$

Turnăm în calorimetru 300 ml apă distilată, introducem eprubeta în dopul de la calorimetru și închidem calorimetru.

Oricât de bine n-ar fi închis calorimetru, totuși între el și mediu înconjurător are loc schimb de căldură, pe care trebuie să le luăm în considerație. De aceea măsurările se împart în 3 etape:

1. Etapa preliminară;
2. Etapa principală;
3. Etapa finală.

La etapa preliminară se amestecă lent și uniform apa din calorimetru și timp de 10 min, cu interval de 0,5 min se înseamnă temperatura apei. Apoi se toarnă sare din eprubetă în vas (eprubeta se pune la loc), se continuă amestecarea cu aceeași viteză și se înseamnă temperatura tot peste fiecare 0,5 min. Deoarece dizolvarea sării KNO_3 este un proces endotermic în etapa principală temperatura scade, apoi în etapa finală din nou se schimbă foarte puțin. După ce temperatura a scăzut brusc, se continuă măsurarea temperaturii timp de 10 min cu interval de 0,5 min, și cu aceasta măsurările sau terminat.

Datele primite se exprimă grafic pe hârtie milimetrică, depunând pe axa absciselor, timpul și pe axa ordonatelor, temperatura. Pentru etapele finale și primare se primesc două drepte (AB și CD), iar etapa principală este o curbă, care unește aceste drepte. Prin mijlocul acestei curbe ducem o perpendiculară până la întretăierea cu dreptele. Mărimea acestei perpendiculare este variația temperaturii t . Se determină t , și cunoscând numărul de moli calculat după relația:

$$n = \frac{m}{M_{KNO_3}} \quad (4)$$

$$Q_{KNO_3} = 35,62 \times 10^{-3} \frac{J}{mol}$$

PRELUCRAREA REZULTATELOR

1. Desenați schema instalației;
2. Calculați masa sării;
3. Determinați capacitatea calorică după formula (2);
4. Calcule și concluzii.

1.5. Lucrare de laborator nr. 5: Determinarea căldurii de hidratare și a căldurii de neutralizare

Reactive și utilaje: apă distilată, CuSO_4 (anhidru), sol. NaOH de 0,1 N, sol. HCl de 3 N, calorimetru, balanță tehnică și analitică, eprubete, termometru, mojar cu pistil, dop de cauciuc, capsulă de porțelan.

Scopul lucrării: determinarea efectului termic de hidratare a unei sări și a efectului termic de neutralizare, utilizarea legii lui Hess pentru determinarea entalpiei de hidratare.

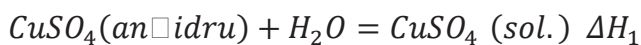
NOȚIUNI DE BAZĂ

Dizolvarea sării în apă la fel ca și alte schimbări ale stării de agregare a substanței, este însoțită de absorbție sau degajare de căldură. Știința care studiază efectele termice ale reacțiilor chimice se numește termochimie. La baza termochimiei stă legea lui Hess (1840), conform căreia efectul termic al unei reacții chimice depinde doar de stările inițială și finală a substanțelor reactante, și nu de modul de trecere de la o stare la alta. Cu ajutorul acestei legi pot fi calculate efectele termice ale unor transformări ale substanțelor în care este imposibil de realizat măsurări experimentale exacte. Spre exemplu, este dificil de determinat experimental mărimea exactă a entalpiei de formare a cristalohidraților, fiindcă formarea lor din sarea cristalină anhidră și apă parcurge repede numai la început, când reacționează cu apa straturile superficiale ale cristalelor substanței anhidre, iar apoi reacția se încetinește și durează mult timp. În afară de aceasta, procesul se complică la dizolvarea substanței în apă.

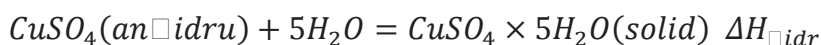
Entalpia de formare a cristalohidratului sau căldura de hidratare – numit efectul termic al formării a unui mol de cristalohidrat solid din sare anhidră și cantitatea corespunzătoare de apă de cristalizare.

Entalpia de formare a cristalohidratului (ΔH_{hid}) poate fi ușor determinată cu ajutorul legii lui Hess, determinând experimental entalpia de dizolvare a sării anhidre (ΔH_1) și entalpia de dizolvare a cristalohidratului (ΔH_2).

Fie că în starea inițială se află un mol de sare cristalină anhidră CuSO_4 și n moli de H_2O , iar în cea finală – soluția acestei sări în apă. Prima cale de trecere de la starea inițială la cea finală poate fi:



iar a doua cale poate fi prezentată ca două procese consecutive:

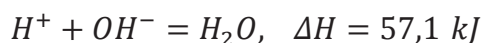


Conform legii lui Hess,

$$\Delta H_1 = \Delta H_{\text{idr}} + \Delta H_2 \quad \text{și} \quad \Delta H_{\text{idr}} = \Delta H_1 - \Delta H_2 \quad (1)$$

Numim entalpie (căldură) de neutralizare efectul termic al interacțiunii unui mol/echivalent de acid cu un mol echivalent de bază.

La neutralizarea soluțiilor diluate ale acizilor tari cu baze tari întotdeauna se elimină o cantitate de căldură egală cu 57,1 kJ la un mol/echivalent de acid sau bază. Aceasta se explică conform teoriei disociației electrolitice, prin ecuația următoarei reacții:



La neutralizarea unui acid slab cu o bază tare sau a unei baze slabe cu un acid tare, precum și a soluțiilor concentrate de acizi tari cu baze tari, efectul termic al neutralizării poate fi mai mare sau mai mic de 57,1 kJ. Gradul de disociere a acizilor slabi și bazelor slabe e mai mic și titrarea acidului (bazei) slabe este însoțită de disocierea acidului slab (bazei slabe) în ioni. Iar disocierea diferitor electroliți poate avea diferit efect termic, atât ca valoare, cât și ca semn, de exemplu efectul termic al neutralizării acidului fluorhidric cu hidroxid de potasiu este 66,9 kJ/mol, iar a acidului cianhidric cu hidroxid de sodiu este 53,9 kJ/mol.

PARTEA EXPERIMENTALĂ

1. Determinarea entalpiei de formare a cristalohidratului $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Experiențele se efectuează în calorimetru (vezi lucrarea precedentă). Se cântărește la balanța tehnică, iar apoi la cea analitică 8 g sulfat de cupru pentahidrat și se plasează în eprubetă. Se calculează, câtă sare anhidră a (g) și apă b (g) conține proba cântărită.

Se toarnă în calorimetru 300 g de apă. Așa cum dizolvarea petrei vinete are loc cu absorbție de căldură, termometrul Beckmann se instalează astfel, încât meniscul mercurului să fie în partea superioară a scării. Se determină variația temperaturii (Δt) în etapele preliminare, principală și finală și se construiește graficul dependenței (Δt) de timp. Din grafic se află (Δt) (vezi lucrarea precedentă).

Aproximativ 9-10 g de piatră vânăată se cântăresc la balanța tehnică se omogenizează în mojarul cu pistil și se călesc într-o capsulă de porțelan, agitând până la obținerea prafului alb al sării anhidre. Sarea obținută se plasează în eprubetă, care se astupă cu un dop de cauciuc. După răcire se cântărește la balanța tehnică, apoi la cea analitică o probă de sare anhidră egală cu a (g) și se determină (Δt) după modul descris mai sus, la dizolvarea ei în 300 g de apă.

Cunoscând valoarea constantei calorimetrului (K) și datele experimentale obținute Δt și v , se calculează entalpia de dizolvare a sării anhidre și a cristalohidratului ei după formula:

$$\Delta H_{diz} = K \times \frac{\Delta t}{v}$$

Entalpia de formare a cristalohidratului (ΔH_{hidr}) din sarea anhidră se calculează după formula (1). Pentru a compara valorile obținute experimental ale mărimilor (ΔH_1) și (ΔH_2) cu cele literare, trebuie de calculat cantitatea de apă (moli), ce revine la 1 mol de sare.

2. Determinarea entalpiei de neutralizare

În calorimetru se toarnă 300 ml soluție 0,1 N NaOH, iar în eprubeta specială se introduc 12,5 ml soluție 3 N HCl. Se instalează eprubeta cu soluția acidului în

calorimetru și se lasă pentru 5-10 min ca temperatura soluțiilor să se egaleze. Se măsoară temperatura inițială a soluțiilor (t_1). Se toarnă soluția acidului în soluția de NaOH și se agită puțin. Se observă și se notează temperatura maximă după reacție (t_2). Se calculează efectul termic al neutralizării

$$Q = K \times (t_2 - t_1)$$

unde: K - constanta calorimetrului.

PRELUCRAREA REZULTATELOR

1. Calculați cantitatea de substanță a acidului și bazei folosite;
2. Determinați entalpia de neutralizare pentru masa dată de bază;
3. Calculați entalpia de neutralizare pentru un mol/echivalent de bază ΔH_{neutr} ;
4. Construiți diagrama dependenței Δt de timp;
5. Calcule și concluzii.

2. PROBLEME CU MODELE DE REZOLVĂRI

2.1. Proprietăți ale gazelor

Modele de rezolvări

1. a) O cantitate de 131 g de xenon gazos aflat într-un vas cu volumul de 1,0 L ar putea exercita o presiune de 20 atm la 25°C, dacă s-ar comporta ca un gaz perfect? Dacă nu, care ar fi presiunea exercitată? b) Ce presiune ar exercita dacă s-ar comporta ca un gaz van der Waals?

Se dă:

$$\begin{aligned} m(\text{Xe}) &= 131 \text{ g} \\ V &= 1,0 \text{ L} \\ P &= 20 \text{ atm} \\ t &= 25^\circ\text{C} \end{aligned}$$

a) $P(\text{perfect}) = ?$

b) $P(\text{real}) = ?$

Rezolvare:

a) Ecuația gazelor perfecte este:

$$PV = nRT$$

Se explicitează presiunea:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Cantitatea de xenon este:

$$n = \frac{131 \text{ g}}{131 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$\begin{aligned} P &= \frac{(1,00 \text{ mol}) \times (0,0821 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (298,15 \text{ K})}{1,0 \text{ L}} \\ &= 24 \text{ atm} \end{aligned}$$

Deci proba ar exercita o presiune de 24 atm, dacă ar fi un gaz perfect și nu 20 atm.

b) Ecuația Van der Waals pentru presiunea unui gaz este:

$$P = \frac{nRT}{V - nb} - \frac{an^2}{V^2}$$

Conform datelor tabelare pentru xenon:

$$a = 4,194 \text{ L}^2 \text{ atm mol}^{-2}$$

$$b = 5,105 \times 10^{-2} \text{ L mol}^{-1}$$

Introducând aceste constante, termenii din ecuația lui P devin:

$$\begin{aligned} &\frac{nRT}{V - nb} \\ &= \frac{(1,00 \text{ mol}) \times (0,0821 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (298,15 \text{ K})}{1,0 \text{ L} - [(1,00 \text{ mol}) \times (5,1 \times 10^{-2} \text{ L mol}^{-1})]} \\ &= 25,8 \text{ atm.} \end{aligned}$$

$$\frac{an^2}{V^2} = \frac{(4,194 \text{ L}^2 \text{ atm mol}^{-2}) \times (1,00 \text{ mol})^2}{(1,0 \text{ L})^2} = 4,2 \text{ atm.}$$

Prin urmare $P = 25,8 \text{ atm} - 4,2 \text{ atm} = 21,6 \text{ atm}$.

R/s: $P(\text{perfect}) = 24 \text{ atm}$

$P(\text{real}) = 21,6 \text{ atm}$

2. O probă de aer ocupă 1,0 L la 25°C și 1,00 atm. Ce presiune este necesară pentru a-l comprima la 100 cm³ la această temperatură?

Se dă:

$$\begin{aligned} V_i &= 1,0 \text{ L} \\ t &= 25^\circ\text{C} \\ P_i &= 1,00 \text{ atm} \\ V_f &= 100 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$P_f = ?$$

Rezolvare:

Folosim legea lui Boyle, unde $PV = \text{const.}$:

$$P_f V_f = P_i V_i$$

Pentru presiunea finală (P_f) vom avea relația:

$$P_f = \frac{V_i}{V_f} \times P_i$$

Facem transformările:

$$V_i = 1,0 \text{ L} = 1000 \text{ cm}^3, V_f = 100 \text{ cm}^3, P_i = 1,00 \text{ atm};$$

$$P_f = \frac{1000 \text{ cm}^3}{100 \text{ cm}^3} \times 1,00 \text{ atm} = 10 \text{ atm.}$$

R/s: $P_f = 10 \text{ atm}$

3. Un gaz perfect suferă o comprimare izotermă care îi reduce volumul cu 2,20 L. Presiunea și volumul finale sunt, respectiv, $3,78 \times 10^3$ Torr și 4,65 L. Să se calculeze presiunea inițială a gazului în (a) Torr, (b) atm.

Se dă:

$$\begin{aligned} V_f - V_i &= 2,20 \text{ L} \\ P_f &= 3,78 \times 10^3 \text{ Torr} \\ V_f &= 4,65 \text{ L} \\ t &= \text{const.} \end{aligned}$$

$$\text{a) } P_i \text{ (Torr)} = ?$$

$$\text{b) } P_i \text{ (atm)} = ?$$

Rezolvare:

Legea lui Boyle în forma:

$$P_f V_f = P_i V_i,$$

poate fi rezolvată fie pentru presiunile inițiale, fie pentru cele finale, deci:

$$P_i = \frac{V_f}{V_i} \times P_f$$

$$V_f = 4,65 \text{ L}, V_i = 4,65 \text{ L} + 2,20 \text{ L} = 6,85 \text{ L},$$

$$P_f = 3,78 \times 10^3 \text{ Torr}$$

Prin urmare:

$$\text{a) } P_i = \left(\frac{4,65 \text{ L}}{6,85 \text{ L}} \right) \times (3,78 \times 10^3 \text{ Torr}) = 2,57 \times 10^3 \text{ Torr}$$

$$\text{b) } \hat{\text{Întrucât}} 1 \text{ atm} = 760 \text{ Torr},$$

$$P_i = (2,57 \times 10^3 \text{ Torr}) \times \left(\frac{1 \text{ atm.}}{760 \text{ Torr}} \right) = 3,38 \text{ atm.}$$

R/s: $P_i \text{ (Torr)} = 2,57 \times 10^3 \text{ Torr}$

$P_i \text{ (atm)} = 3,38 \text{ atm}$

4. La ce temperatură trebuie răcită o probă de 1,0 L dintr-un gaz perfect aflat la temperatura camerei pentru a-i reduce volumul la 100 cm³?

Se dă:

$$\begin{aligned} V_i &= 1,0 \text{ L} \\ V_f &= 100 \text{ cm}^3 \\ t_i &= 25^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$T_f = ?$$

Rezolvare:

Legea lui Charles în formă $V = \text{const} \times T$ poate fi rescrisă ca:

$$\frac{V}{T} = \text{const sau } \frac{V_f}{T_f} = \frac{V_i}{T_i}$$

Rezultă:

$$T_f = \frac{V_f}{V_i} \times T_i \quad V_i = 1,0 \text{ L}, \quad V_f = 100 \text{ cm}^3, \quad T_i = 298\text{K}$$

$$T_f = \left(\frac{100 \text{ cm}^3}{1000 \text{ cm}^3} \right) \times 298\text{K} = 30\text{K}$$

R/s: $T_f = 30 \text{ K}$

5. O anvelopă de automobil a fost umflată la presiunea de 24 lb in^{-2} ($1 \text{ atm} = 14,7 \text{ lb in}^{-2}$) într-o zi de iarnă, când temperatura era de -5°C . Ce presiune se va găsi, presupunând că nu au loc pierderi și că volumul este constant, într-o zi de vara cu temperatura de 35°C ? De ce alți factori mai trebuie să se țină seama în practică?

Se dă:

$$P_i = 24 \text{ lb in}^{-2}$$

$$t_i = -5^\circ\text{C}$$

$$t_f = 25^\circ\text{C}$$

$$P_f = ?$$

Rezolvare:

Legea generală a gazelor perfecte $PV=nRT$, poate fi rearanjată în:

$$\frac{P}{T} = \frac{nR}{V} = \text{const.}$$

dacă n și V sunt constante. Deci:

$$\frac{P_f}{T_f} = \frac{P_i}{T_i}$$

Rezultă:

$$P_f = \frac{T_f}{T_i} \times pP_i$$

$P(\text{internă}) = P(\text{pompei}) + P(\text{atmosferică})$, deci:

$$P_i = 24 \text{ lb in}^{-2} + 14,7 \text{ lb in}^{-2} = 38,7 \text{ lb in}^{-2}$$

$$T_i = 268 \text{ K } (-5^\circ\text{C}), \quad T_f = 308\text{K } (35^\circ\text{C})$$

$$P_f = \frac{308 \text{ K}}{268 \text{ K}} \times 38,7 \text{ lb in}^{-2} = 44,5 \text{ lb in}^{-2}$$

Prin urmare,

$$P_f(\text{pompa}) = 44,5 \text{ lb in}^{-2} - 14,7 \text{ lb in}^{-2} = 29,8 \text{ lb in}^{-2}$$

Complicații introduc factorii care modifică valorile constante pentru V și n , cum sunt: variația de volum a cauciucului, variația rigidității materialului din care este confecționat și pierderile de presiune prin scăpări sau difuzie.

R/s: $P_f = 29,8 \text{ lb in}^{-2}$

6. O probă de 255 mg de neon ocupă $3,00 \text{ L}$ la 122 K . Să se folosească legea generală a gazelor perfecte pentru a calcula presiunea gazului.

Se dă:

$$m(\text{Ne}) = 255 \text{ mg}$$

$$V = 3,00 \text{ L}$$

$$T = 122 \text{ K}$$

$$P = ?$$

Rezolvare:

Se folosește legea generală a gazelor perfecte în forma:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

T și V fiind date se calculează n :

$$n = \frac{0,255 \text{ g}}{20,18 \text{ g mol}^{-1}} = 1,26 \times 10^{-2} \text{ mol,}$$

$$T = 122 \text{ K}, \quad V = 3,00 \text{ L}$$

Substituind se obține:

$$P = \frac{(0,0126 \text{ mol}) \times (0,0821 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (122\text{K})}{3,00\text{L}}$$

$$= 4,22 \times 10^{-2} \text{ atm}$$

R/s: P = 4,22×10⁻² atm

7. Un proprietar folosește 4,00×10³ m³ de gaze naturale pe an pentru încălzirea locuinței. Presupunând că gazul natural este alcătuit numai din metan, CH₄ și că metanul este un gaz perfect în condițiile acestei probleme și anume la 1,00 atm și 20°C, care este masa de gaz folosită?

Se dă:

$$V = 4,00 \times 10^3 \text{ m}^3$$

$$P = 1,00 \text{ atm}$$

$$t = 20^\circ\text{C}$$

$$m = ?$$

Rezolvare:

Cantitatea de metan n se calculează din legea generală a gazelor perfecte $pV = nRT$, în care masa m se calculează cu relația

$$m = nM$$

$$1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T = (20^\circ\text{C} + 273) \text{ K} = 293 \text{ K}$$

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{(1,013 \times 10^5 \text{ Pa}) \times (4,00 \times 10^3 \text{ m}^3)}{(8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (293\text{K})}$$

$$= 1,664 \times 10^5 \text{ mol}$$

$$m = (1,664 \times 10^5 \text{ mol}) \times (16,04 \text{ g mol}^{-1})$$

$$= 2,67 \times 10^6 \text{ g} = 2,67 \times 10^3 \text{ kg}$$

Comentariu: volumul de metan necesar este de circa 10 ori mai mare ca volumul casei care trebuie încălzit.

R/s: m = 2,67×10³ kg

8. Într-o încercare de a determina o valoare exactă a constantei generale a gazelor R, un student a încălzit un recipient de 20,0 L umplut cu 0,25132 g de heliu la 500°C și a măsurat o presiune de 206,402 cm de apă într-un manometru la 25°C. Să se calculeze valoarea lui R din aceste date. (Densitatea apei la 25°C este de 0,99707 g cm⁻³)

Se dă:

$$V = 20,0 \text{ L}$$

$$m = 0,25132 \text{ g}$$

$$t = 500^\circ\text{C}$$

$$h = 206,402 \text{ cm}$$

$$\rho(\text{H}_2\text{O}) = 0,99 \text{ g cm}^{-3}$$

$$m = ?$$

Rezolvare:

Presiunea gazului se calculează ca forța pe unitatea de suprafață pe care o coloană de apă cu înălțimea de 206,402 cm o exercită asupra gazului, datorită greutatei sale. Se presupune ca manometru are o secțiune uniformă de arie A. Atunci forța, $F = mg$, unde m este masa coloanei de apă și g este accelerația gravitației. Rezultă:

$$m = \rho \times V = \rho \times h \times A$$

unde $h=206,402 \text{ cm}$ și A este aria secțiunii.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\rho h A g}{A} = \rho h g$$

$$P = (0,99707 \text{ g cm}^{-3}) \left(\frac{1\text{kg}}{10^3\text{g}} \right) \times \left(\frac{10^6\text{cm}^3}{1\text{m}^3} \right) \times (206,402 \text{ cm}) \times$$

$$\left(\frac{1\text{m}}{10^2\text{cm}} \right) \times (9,8067 \text{ m s}^{-2}) = 2,0182 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$V = (20,0 \text{ L}) \times \left(\frac{1 \text{ m}^3}{10^3 \text{ L}} \right) = 2,0 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{0,25132 \text{ g}}{4,00260 \text{ g mol}^{-1}} = 0,062789 \text{ mol}$$

Ecuția gazelor perfecte se poate rearanja în $R = \frac{PV}{nT}$

$$R = \frac{(2,0182 \times 10^4 \text{ Pa}) \times (2,0 \times 10^{-2} \text{ m}^3)}{(0,062789 \text{ mol}) \times (773,15 \text{ K})} = 8,3147 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

Valoarea acceptată este $R = 8,3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.

Deși datele referitoare la volumul de gaz ar trebui să fie extrapolate la $P=0$ pentru cea mai bună valoare a lui R , în condițiile problemei heliu se aproprie de un gaz perfect și de aceea se obține o valoare pentru R apropiată de valoarea acceptată.

R/s: $R = 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

9. La 740 Torr și 27°C, densitatea aerului este de 1,146 g L⁻¹. Să se calculeze fracțiile molare și presiunile parțiale ale azotului și oxigenului, presupunând că: (a) aerul este format numai din aceste 2 gaze; (b) aerul conține și 1,00 procent molar de Ar.

Se dă:

$$P = 740 \text{ Torr}$$

$$t = 27^\circ\text{C}$$

$$\rho = 1,146 \text{ g L}^{-1}$$

$$\text{a) } \chi(\text{N}_2, \text{O}_2) = ?$$

$$P(\text{N}_2, \text{O}_2) = ?$$

$$\text{b) } \chi(\text{N}_2, \text{O}_2, \text{Ar}) = ?$$

$$P(\text{N}_2, \text{O}_2, \text{Ar}) = ?$$

Rezolvare:

a) pentru simplitate propunem un container cu volumul de 1 L. Atunci masa totală este:

$$m_T = n(\text{N}_2)M(\text{N}_2) + n(\text{O}_2)M(\text{O}_2) = 1,146 \text{ g} \quad (1)$$

Presupunând că aerul este gaz perfect:

$$P_T V = n_T R T,$$

unde n_T este cantitatea totală de gaz:

$$n_T = \frac{P_T V}{R T} = \frac{(740 \text{ Torr}) \times \left(\frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ Torr}} \right) \times (1 \text{ L})}{(0,08206 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (300 \text{ K})} = 0,03955 \text{ mol}$$

$$n_T = n_{\text{N}_2} + n_{\text{O}_2} = 0,03955 \text{ mol} \quad (2)$$

Ecuțiile (1) și (2) formează un sistem din care se pot calcula cantitățile de gaz. Introducând n_{O_2} din (2) și (1) se obține:

$$(n_{\text{N}_2}) \times (28,0136 \text{ g mol}^{-1}) + (0,03955 \text{ mol} - n_{\text{N}_2}) \times (31,9988 \text{ g mol}^{-1}) = 1,146 \text{ g}$$

$$(1,2655 - 1,1460) \text{ g} = (3,9852 \text{ g mol}^{-1}) \times (n_{\text{N}_2})$$

$$n_{\text{N}_2} = 0,02999 \text{ mol}$$

$$n_{\text{O}_2} = n_T - n_{\text{N}_2} = (0,03955 - 0,02999) \text{ mol} = 9,56 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Fracțiile molare sunt:

$$\chi_{\text{N}_2} = \frac{0,02999 \text{ mol}}{0,03955 \text{ mol}} = 0,7583$$

$$x_{O_2} = \frac{9,65 \times 10^{-3} \text{ mol}}{0,03955 \text{ mol}} = 0,2417$$

Presiunile parțiale sunt:

$$P_{N_2} = (0,7583) \times (740 \text{ Torr}) = 561 \text{ Torr}$$

$$P_{O_2} = (0,2417) \times (740 \text{ Torr}) = 179 \text{ Torr}$$

Se verifică suma:

$$(561+179) \text{ Torr} = 740 \text{ Torr}$$

b) Cea mai simplă cale de rezolvare a acestui punct este să se considere că n_T , P_T și m_T rămân aceleași ca la punctul (a) pentru că sunt mărimi determinate experimental. Astfel, fracțiile molare și presiunile parțiale ale N_2 și O_2 se reduc cu 1% față de valorile de la punctul (a).

$$x_{N_2} = (0,9900) \times (0,7583) = 0,7507$$

$$x_{N_2} = (0,9900) \times (0,2417) = 0,2393$$

$$x_{Ar} = 0,0100$$

$$P_{N_2} = x_{N_2} P_T = (0,7507) \times (740 \text{ Torr}) = 555,5 \text{ Torr}$$

$$P_{O_2} = x_{O_2} P_T = (0,2393) \times (740 \text{ Torr}) = 177,1 \text{ Torr}$$

$$P_{Ar} = x_{Ar} P_T = (0,0100) \times (740 \text{ Torr}) = 7,4 \text{ Torr}$$

$$P_T = 740 \text{ Torr (se verifică)}.$$

Rezultatul se poate verifica și văzând dacă n_T , cantitatea totală de gaz, rămâne sau nu aceeași.

$$n_{N_2} = x_{N_2} \times n_T = (0,7507) \times (0,03955 \text{ mol}) = 0,02969 \text{ mol}$$

$$n_{O_2} = x_{O_2} \times n_T = (0,2393) \times (0,03955 \text{ mol}) = 0,00946 \text{ mol}$$

$$n_{Ar} = x_{Ar} \times n_T = (0,0100) \times (0,03955 \text{ mol}) = 0,00040 \text{ mol}$$

$$n_T = 0,03955 \text{ (se verifică)}.$$

R/s:

10. Să se calculeze masa vaporilor de apă dintr-o încăpere cu volumul de 400 m^3 , care conține aer la 27°C , într-o zi de vară, cu umiditate relativă de 60%. Presiunea de vapori a apei la 27°C este de 26,74 Torr.

Se dă:

$$V = 400 \text{ m}^3$$

$$P = 1,00 \text{ atm}$$

$$t = 27^\circ\text{C}$$

$$\varphi(\text{H}_2\text{O}) = 60\%$$

$$P(\text{H}_2\text{O}) = 26,74 \text{ Torr}$$

$$m = ?$$

Rezolvare:

Presiunea parțială a vaporilor de apă în cameră este :

$$P(\text{H}_2\text{O}) = \varphi(\text{H}_2\text{O}) \times P(\text{H}_2\text{O}) = (0,60) \times (26,74 \text{ Torr}) = 16 \text{ Torr}$$

Presupunând că este valabilă ecuația gazelor perfecte cu

$$n = \frac{m}{M}, \quad pV = \frac{m}{M} RT$$

sau

$$m = \frac{pVM}{RT}$$

$$\begin{aligned}
&= (16 \text{ Torr}) \times \left(\frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ Torr}} \right) \\
&\quad (400 \text{ m}^3) \times \left(\frac{10^3 \text{ L}}{\text{m}^3} \right) \times (18,02 \text{ g mol}^{-1}) \\
&\quad \times \frac{1}{(0,0821 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (300 \text{ K})} \\
&= 6,2 \times 10^3 \text{ g} = 6,2 \text{ kg}
\end{aligned}$$

R/s: m = 6,2 kg

11. Un amestec din gaze constă din 320 mg de metan, 175 mg de Argon și 225 mg de neon. Presiunea parțială a neonului la 300 K este 66,5 Torr. Să se calculeze (a) volumul și (b) presiunea totală a amestecului.

Se dă:

$$\begin{aligned}
m(\text{CH}_4) &= 320 \text{ mg} \\
m(\text{Ar}) &= 320 \text{ mg} \\
m(\text{Ne}) &= 320 \text{ mg} \\
T &= 300 \text{ K} \\
P(\text{Ne}) &= 66,5 \text{ Torr}
\end{aligned}$$

- a) $V_T = ?$
b) $P_T = ?$

Rezolvare:

a) Volumul ocupat de fiecare gaz este același, întrucât fiecare din ele ocupă complet containerul. Presupunând o comportare de gaz perfect V va fi:

$$V = \frac{n_j RT}{P_j}$$

$$n_{\text{Ne}} = \frac{0,225 \text{ g}}{20,18 \text{ g mol}^{-1}} = 1,115 \times 10^{-2} \text{ mol},$$

$$P_{\text{Ne}} = 66,5 \text{ Torr}, \quad T = 300 \text{ K}$$

$$\begin{aligned}
V &= \frac{(1,115 \times 10^{-2} \text{ mol}) \times (62,36 \text{ L Torr K}^{-1} \text{ mol}^{-1})}{66,5 \text{ Torr}} \\
&\quad \times (300 \text{ K}) = 3,137 \text{ L} = 3,14 \text{ L}
\end{aligned}$$

b) Presiunea totală se determină din cantitatea totală de gaz:

$$n = n_{\text{CH}_4} + n_{\text{Ar}} + n_{\text{Ne}}$$

$$n_{\text{CH}_4} = \frac{0,320 \text{ g}}{16,04 \text{ g mol}^{-1}} = 1,995 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$n_{\text{Ar}} = \frac{0,175 \text{ g}}{39,95 \text{ g mol}^{-1}} = 4,38 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n = (1,995 + 0,438 + 1,115) \times 10^{-2} \text{ mol} = 3,548 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$P = \frac{nRT}{V}$$

$$= \frac{(3,548 \times 10^{-2} \text{ mol}) \times (62,36 \text{ L Torr K}^{-1} \text{ mol}^{-1})}{3,137 \text{ L}}$$

$$\times (300 \text{ K}) = 212 \text{ Torr}$$

R/s: a) $V_T = 3,14 \text{ L}$

b) $P_T = 212 \text{ Torr}$

12. Densitatea unui compus gazos s-a găsit a fi de $1,23 \text{ g L}^{-1}$ la 330 K și 150 Torr . Care este masa molară a compusului?

Se dă:

$$\rho = 1,23 \text{ g L}^{-1}$$

$$T = 330 \text{ K}$$

$$P = 150 \text{ Torr}$$

$$M = ?$$

Rezolvare:

Pentru acest exercițiu se folosește relația:

$$M = \rho \frac{RT}{P}$$

Substituind datele se obține:

$$M = \frac{(1,23 \text{ g L}^{-1}) \times (62,36 \text{ L Torr K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (330 \text{ K})}{150 \text{ Torr}} \\ = 169 \text{ g mol}^{-1}$$

R/s: $M = 169 \text{ g mol}^{-1}$

13. Într-o experiență pentru măsurarea masei molare a unui gaz, 250 cm^3 de gaz s-au introdus într-un vas de sticlă. Presiunea a fost 152 Torr la 298 K , iar masa gazului a fost de $33,5 \text{ mg}$. Care este masa molară a gazului?

Se dă:

$$V = 250 \text{ cm}^3$$

$$T = 298 \text{ K}$$

$$P = 152 \text{ Torr}$$

$$m = 33,5 \text{ mg}$$

$$M = ?$$

Rezolvare:

Se folosește aceeași relația ca și în problema 12:

$$M = \rho \frac{RT}{P}$$

$$\rho = \frac{33,5 \text{ mg}}{250 \text{ mL}} = 0,1340 \text{ g L}^{-1}, \quad p = 152 \text{ Torr}, \quad T = 298 \text{ K}$$

$$M = \frac{(0,1340 \text{ g L}^{-1}) \times (62,36 \text{ L Torr K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (298 \text{ K})}{152 \text{ Torr}} \\ = 16,4 \text{ g mol}^{-1}$$

R/s: $M = 16,4 \text{ g mol}^{-1}$

14. Densitatea apei la 25°C este $0,99707 \text{ g cm}^{-3}$, iar masa ei molară este $18,016 \text{ g mol}^{-1}$. Care este presiunea necesară pentru a susține o coloană de apă de $10,0 \text{ m}$ înălțime, într-un tub vertical cu diametru de $1,00 \text{ cm}$?

Se dă:

$$\rho = 0,99707 \text{ g cm}^{-3}$$

$$t = 25^\circ\text{C}$$

$$M = 18,016 \text{ g mol}^{-1}$$

$$h = 10,0 \text{ m}$$

$$d = 1,00 \text{ cm}$$

$$P = ?$$

Rezolvare:

Pentru acest exercițiu folosim formula:

$$P = \rho gh$$

$$P = (0,99707 \text{ g cm}^{-3}) \times \left(\frac{1 \text{ Kg}}{10^3 \text{ g}}\right) \times (9,8067 \text{ m s}^{-2}) \times$$

$$(10,0 \text{ m}) = 9,78 \times 10^4 \text{ Pa}$$

Notăm că diametru tubului și masa molară a apei sunt informații inutile.

R/s: $P = 9,78 \times 10^4 \text{ Pa}$

15. Un balon de sticlă de 1,0 L conține $1,0 \times 10^{23}$ moleculele de H_2 . Dacă presiunea exercitată de gaz este de 100 kPa, care este (a) temperatura gazului, (b) viteza practică medie a moleculelor? (c) Temperatura ar fi diferită dacă ele ar fi molecule de O_2 ?

Se dă:

$$\begin{aligned} V &= 1,0 \text{ L} \\ N(H_2) &= 1,0 \times 10^{23} \\ P &= 100 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- a) $T = ?$
b) $\bar{c} = ?$

Rezolvare:

a) În ipoteza că gazul este perfect, temperatura se calculează ușor din ecuația:

$$T = \frac{pV}{nR}$$

$$n = \frac{1,0 \times 10^{23} \text{ molecule}}{6,02 \times 10^{23} \text{ molecule mol}^{-1}} = 0,166 \text{ mol}$$

$$T = \frac{(1,00 \times 10^5 \text{ Pa}) \times (1,0 \text{ L}) \times \left(\frac{1 \text{ m}^3}{10^3 \text{ L}}\right)}{(0,166 \text{ mol}) \times (8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1})} = 72,46 \text{ K}$$

$$b) \bar{c} = \left(\frac{3RT}{M}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{3 \times (8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (72,46 \text{ K})}{2,016 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}}\right)^{\frac{1}{2}} = 9,5 \times 10^2 \text{ ms}^{-1}$$

c) Temperatura n-ar fi diferită dacă moleculele ar fi de O_2 și ar exercita aceeași presiune în același volum, dar radical din viteza lor pătratică medie ar fi diferit.

R/s: a) $T = 72,46 \text{ K}$

b) $\bar{c} = 9,5 \times 10^2 \text{ ms}^{-1}$

Comentariu: Acest exercițiu ar mai putea fi rezolvat obținând mai întâi radical din viteza pătratică medie din $PV = \frac{1}{3}nMc^2$ și folosind apoi $\bar{c} = \left(\frac{3RT}{M}\right)^{\frac{1}{2}}$ pentru a obține temperatura. Rezultatele ar trebui să fie indentice.

16. Să se calculeze presiunea exercitată de 1,0 mol de C_2H_6 care se comportă ca: a) un gaz perfect; (b) un gaz van der Waals, când este menținut în următoarele condiții: 1) la 273,15 K în 22,414 L, 2) la 1000 K în 100 cm^3 . Se vor folosi datele tabelare.

Se dă:

$$\begin{aligned} n &= 1,0 \text{ mol} \\ a) T &= 273,15 \text{ K} \\ V &= 22,414 \text{ L} \\ b) T &= 1000 \text{ K} \\ V &= 100 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$P = ?$$

Rezolvare:

$$a) P = \frac{nRT}{V}$$

$$n = 1,0 \text{ mol}, T = 273,15 \text{ K (1) sau } 1000 \text{ K (2)}$$

$$V = 22,414 \text{ L (1) sau } 100 \text{ cm}^3 \text{ (2)}$$

$$1) P = \frac{(1,0 \text{ mol}) \times (8,206 \times 10^{-2} \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1})}{22,414 \text{ L}} \times (273,15 \text{ K}) = 1,0 \text{ atm}$$

$$2) P = \frac{(1,0 \text{ mol}) \times (8,206 \times 10^{-2} \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1})}{0,100 \text{ L}} \times (1000 \text{ K}) = 8,2 \times 10^2 \text{ atm}$$

$$b) P = \frac{nRT}{V-nb} - \frac{an^2}{V^2}$$

Se alege $a=5,489 \text{ L}^2 \text{ atm mol}^{-2}$ și $b=6,380 \times 10^{-2} \text{ L mol}^{-2}$.

Prin urmare,

$$1) \frac{nRT}{V-nb} = \frac{(1,0 \text{ mol}) \times (8,206 \times 10^{-2} \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (273,15 \text{ K})}{[22,414 - (1,0) \times (6,380 \times 10^{-2})] \text{ L}}$$

$$= 1,003 \text{ atm}$$

$$\frac{an^2}{V^2} = \frac{(5,489 \text{ L}^2 \text{ atm mol}^{-2}) \times (1,0 \text{ mol})^2}{(22,414 \text{ L})^2} = 1,09 \times 10^{-2} \text{ atm}$$

$$P = 1,003 \text{ atm} - 1,09 \times 10^{-2} \text{ atm} = 0,992 \text{ atm} = 1,0 \text{ atm}$$

$$2) \frac{nRT}{V-nb} = \frac{(1,0 \text{ mol}) \times (8,206 \times 10^{-2} \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (1000 \text{ K})}{(0,100 - 0,06380) \text{ L}}$$

$$= 2,27 \times 10^3 \text{ atm}$$

$$\frac{an^2}{V^2} = \frac{(5,489 \text{ L}^2 \text{ atm mol}^{-2}) \times (1,0 \text{ mol})^2}{(0,100 \text{ L})^2} = 5,49 \times 10^2 \text{ atm}$$

$$P = 2,27 \times 10^3 \text{ atm} - 5,49 \times 10^2 \text{ atm} = 1,7 \times 10^3 \text{ atm}$$

Comentariu: Este instructiv de calculat abaterea procentuală de la comportarea de gaz perfect pentru (1) și (2):

$$1) \frac{0,992 - 1,000}{1,000} \times 100\% = 0,8\%$$

$$2) \frac{(17 \times 10^2) - (8,2 \times 10^2)}{8,2 \times 10^2} \times 100\% = 107\%$$

Abaterile de la comportarea de gaz perfect nu sunt observate la $P=1 \text{ atm}$ decât cu aparate de mare precizie.

$$\begin{aligned} \text{R/s: } P_{a1} &= 1,0 \text{ atm} \\ P_{a2} &= 8,2 \times 10^2 \text{ atm} \\ P_{b1} &= 1,0 \text{ atm} \\ P_{b2} &= 1,7 \times 10^3 \text{ atm} \end{aligned}$$

17. Să se calculeze constantele critice ale unui gaz, cu parametrii van der Waals: $a = 0,751 \text{ atm L}^2 \text{ mol}^{-2}$ și $b = 0,0226 \text{ L mol}^{-1}$.

Se dă:

$$\begin{aligned} a &= 0,751 \text{ atm L}^2 \text{ mol}^{-2} \\ b &= 0,0226 \text{ L mol}^{-1} \end{aligned}$$

Rezolvare:

Se substituie în ecuațiile de mai jos parametrii van der Waals, a și b , precum și constanta R a gazelor perfecte.

$$V_c = ?$$

$$V_c = 3b = 3 \times 0,0226 \text{ L mol}^{-1}$$

$$P_c = ?$$

$$= 6,78 \times 10^{-1} \text{ L mol}^{-1}$$

$$T_c = ?$$

$$P_c = \frac{a}{27b^2} = \frac{0,751 \text{ L}^2 \text{ atm mol}^{-2}}{27 \times (0,0226 \text{ L mol}^{-1})^2} = 54,5 \text{ atm}$$

$$T_c = \frac{8a}{27Rb} = \frac{8 \times (0,75 \text{ L}^2 \text{ atm mol}^{-2})}{27 \times (8,206 \times 10^{-2} \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (0,0226 \text{ L m})} = 120 \text{ K}$$

R/s: $V_C = 0,678 \text{ L/mol}$

$P_C = 54,5 \text{ atm}$

$T_C = 120 \text{ K}$

18. Un clopot pentru scufundat, situat pe puntea unui vas are un volum de aer de $3,0 \text{ m}^3$. Care este volumul ocupat de aer când clopotul este coborât la adâncimea de 50 m ? Densitatea medie a apei de mare este $1,025 \text{ g/cm}^3$ și se presupune că temperatura rămâne aceeași ca la suprafață.

Se dă:

$$V_i = 3,0 \text{ m}^3$$

$$h = 50 \text{ m}$$

$$\rho = 1,025 \text{ g/cm}^3$$

$$V_f = ?$$

Rezolvare:

Din legea lui Boyle în forma $P_f V_f = P_i V_i$ rezultă:

$$V_f = \frac{P_i}{P_f} \times V_i$$

$$P_i = 1,0 \text{ atm}$$

$$P_f = P_{ex} + \rho gh = P_i + \rho gh = 1,0 \text{ atm} + \rho gh$$

$$\rho gh = (1,025 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}) \times (9,81 \text{ m s}^{-2}) \times (50 \text{ m}) = 5,03 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Deci:

$$P_f = (1,01 \times 10^5 \text{ Pa}) + (5,03 \times 10^5 \text{ Pa}) = 6,04 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$V_f = \frac{1,01 \times 10^5 \text{ Pa}}{6,04 \times 10^5 \text{ Pa}} \times 3,0 \text{ m}^3 = 0,50 \text{ m}^3$$

R/s: $V_f = 0,50 \text{ m}^3$

19. Ce diferență de presiune trebuie create în lungul unui pai vertical de 15 cm , pentru a bea apa lichidă, cu densitatea de $1,0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$?

Se dă:

$$h = 15 \text{ cm}$$

$$\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$$

$$P - P_{ex} = ?$$

Rezolvare:

Identificând P_{ex} din ecuația: $P = P_{ex} + \rho gh$ ca presiunea de sus a paiului și P ca presiunea atmosferică deasupra lichidului, diferența de presiune este:

$$P - P_{ex} = \rho gh$$

$$= (1,0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}) \times (9,81 \text{ m s}^{-2}) \times (0,15 \text{ m}) = 1,5 \times 10^3 \text{ Pa} (= 1,5 \times 10^{-2} \text{ atm})$$

R/s: $P - P_{ex} = 1,5 \times 10^3 \text{ Pa}$

20. Un balon meteorologic are o rază de 1,0 m la nivelul mării, la 20°C și se dilată la o rază de 3,0 m când este înălțat la altitudinea maximă, unde temperatura este de -20°C. Care este presiunea din interiorul balonului la această altitudine?

Se dă:

$$\begin{aligned} r_i &= 1,0 \text{ m} \\ t_i &= 20^\circ\text{C} \\ r_f &= 3,0 \text{ m} \\ t_f &= -20^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Rezolvare:

$PV = nRT$, cu n constant, implică:

$$\frac{P_f V_f}{T_f} = \frac{P_i V_i}{T_i}$$

$P - P_{\text{ex}} = ?$ Explicitând P_f , presiunea la altitudinea sa maximă, se obține:

$$P_f = \frac{V_i}{V_f} \times \frac{T_f}{T_i} \times P_i$$

Substituind $V_i = \frac{4}{3}\pi r_i^3$ și $V_f = \frac{4}{3}\pi r_f^3$

$$\begin{aligned} P_f &= \left(\frac{\frac{4}{3}\pi r_i^3}{\frac{4}{3}\pi r_f^3} \right) \times \frac{T_f}{T_i} \times P_i = \left(\frac{r_i}{r_f} \right)^3 \times \frac{T_f}{T_i} \times P_i \\ &= \left(\frac{1,0 \text{ m}}{3,0 \text{ m}} \right)^3 \times \left(\frac{253 \text{ K}}{293 \text{ K}} \right) \times (1,0 \text{ atm}) \\ &= 3,2 \times 10^{-2} \text{ atm} \end{aligned}$$

Răspuns: $P_f = 3,2 \times 10^{-2} \text{ atm}$

R/s: $P - P_{\text{ex}} = 3,2 \times 10^{-2} \text{ atm}$

Probleme de autocontrol

1. La temperatura de 7°C gazul ocupă un volum egal cu 750 cm³. La ce temperatură gazul va ocupa un volum de 1,5 L, dacă presiunea se menține constantă?
2. Oxigenul cu volumul de 5,5 L se află la presiunea de 780 mmHg. La ce presiune se va afla gazul dacă volumul se va mări de două ori? Temperatura se menține constantă.
3. Azotul cu volumul de 20 L se află la temperatura de 18°C și presiunea 102,6 kPa. Gazul se comprimă până la 6 L și se ridică temperatura până la 32°C. La ce presiune se va afla gazul?
4. Calculați masa azotului cu volumul de 3 L la temperatura de 15°C și presiunea de 740 mmHg, dacă la condiții normale, știind că un litru de azot cântărește 1,25 g. Determinați volumul azotului la condiții normale.
5. Ce volum va ocupa un mol de gaz la temperatura de 19°C și presiunea de 105,6 kPa?
6. Cât va cântări 1,5 L de azot în condiții normale?
7. Ce volum va ocupa 1,7 kg de oxid de carbon(IV) în condiții normale?
8. Calculați volumul ocupat de un număr de molecule de clor egal cu $2,5 \cdot 10^{23}$ molecule la temperatura de 30°C și presiunea de 82 kPa.
9. Într-un balon de 21 L la temperatura de 16°C se găsesc 28 g de oxigen și 22 g de amoniac. Se cere să se afle presiunea parțială ale gazelor.

10. De câte ori va crește presiunea unui gaz dacă se încălzește de la 18°C până la 135°C ?
11. Un gaz se află la temperatura de 80°C și are presiunea P_1 . La ce temperatură presiunea gazului va crește cu 25%? Volumul se menține constant.
12. Un balon conține 0,1 moli de oxigen și 0,4 moli de azot. Dacă balonul este la temperatură și presiune standard, care este presiunea parțială a azotului?
13. Presiunea unui amestec de azot, dioxid de carbon și oxigen este de 145 kPa. Care este presiunea parțială a oxigenului, dacă presiunile parțiale ale dioxidului de azot și carbon sunt 98 kPa și 25 kPa, respectiv?
14. Este cunoscut faptul că un amestec de gaz de oxigen și azot se află sub presiunea de 5 atmosfere într-un cilindru. Cunoscând că conține 10 moli de azot și 3 moli de oxigen, este necesar să se determine presiunea parțială a fiecărei substanțe.
15. Au fost amestecați 2 L de SO_3 și 5 L de O_2 . Presiunea inițială a acestor gaze $P_1=700$ mmHg, amestecul obținut ocupă volumul de 8 L. Calculați presiunea parțială a fiecărui gaz și presiunea totală a amestecului gazos.
16. Într-un vas închis cu volumul de $6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ de amestec gazos, compus din CO_2 $8,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$, O_2 $3,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ și CH_4 $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ la temperatura de 10°C . Calculați presiunea totală a amestecului gazos și compoziția procentuală de volum a amestecului.
17. Să se ordoneze următoarele gaze după viteza moleculară pătratică medie: N_2 , O_2 , NO , NO_2 știind că se află la aceeași presiune și temperatură.
18. Să se calculeze numărul de molecule din: 1 mol azot, 1 L oxigen și 1 g amoniac.
19. Masa molară a CO_2 este 44,01 g/mol. Cât este radicalul vitezei pătratice medii la 298 K?
20. O cantitate de gaz suferă o transformare izobară când își micșorează volumul de 2 ori ($V_2=V_1/2$), o transformare izotermă în urma căreia volumul devine egal cu volumul inițial ($V_3=V_1$). Se efectuează apoi o transformare izocoră, care însă nu reușește, apărând o fisură în vasul cu gaz. Se aduce atunci sistemul la presiunea și temperatura inițiale și se constată că volumul este jumătate din volumul inițial. Cât gaz s-a pierdut?
21. Un amestec de metan și etan într-un raport molar de 2:3 reacționează cu oxigenul din aer. Volumul amestecului gazos de metan și etan este 112 L la presiunea de 0,5 atm și 273 K. Se cere volumul de aer (în condițiile date) necesar arderii amestecului gazos.
22. Azotul chimic pur se obține prin trecerea NH_3 peste CuO incandescent. De cât NH_3 măsurat la 20°C și 750 mmHg este nevoie pentru a obține 100 L N_2 , măsurat în aceleași condiții? Câte grame de cupru metalic rezultă la obținerea a 100 L N_2 în condițiile problemei?

2.2. Principiul I al termodinamicii

1. Să se calculeze lucrul efectuat pentru ridicarea unei mase de 1,0 kg la înălțimea de 10 m de la suprafața (a) Pământului ($g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) și (b) Lunii ($g = 1,60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$).

Se dă:

$$\begin{aligned} m &= 1 \text{ kg} \\ h &= 10 \text{ m} \\ g_P &= 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \\ g_L &= 1,60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \end{aligned}$$

$$w_P = ?$$

$$w_L = ?$$

Rezolvare:

Semnificația fizică a lucrului este $dw = -Fdz$

Într-un câmp gravitațional forța este greutatea obiectului:

$$F = mg$$

dacă g este constantă pe distanța pe care se deplasează masa, dw poate fi integrat pentru a obține lucrul total:

$$w = - \int_{z_i}^{z_f} F dx = - \int_{z_i}^{z_f} mg dz = -mg(z_f - z_i) = -mgh,$$

$$\text{unde } h = (z_f - z_i)$$

$$\text{a) } w = (-1,0 \text{ kg}) \times (9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}) \times 10 \text{ m} = -98 \text{ J}$$

$$\text{b) } w = (-1,0 \text{ kg}) \times (1,60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}) \times 10 \text{ m} = -16 \text{ J}$$

$$\text{R/s: a) } w_P = -98 \text{ J}$$

$$\text{b) } w_L = -16 \text{ J}$$

2. Să se calculeze lucrul necesar ca o persoană de 65 kg să urce la 4,0 m de la suprafața Pământului.

Se dă:

$$\begin{aligned} m &= 65 \text{ kg} \\ h &= 4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$w = ?$$

Rezolvare:

$$w = - \int_{z_i}^{z_f} F dx = - \int_{z_i}^{z_f} mg dz = -mg(z_f - z_i) = -mgh,$$

$$\text{unde } h = (z_f - z_i)$$

$$w = (-65 \text{ kg}) \times (9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}) \times 4,0 \text{ m} = -2,26 \text{ kJ}$$

$$\text{R/s: } w = -2,26 \text{ kJ}$$

3. O reacție chimică are loc într-un vas cu aria secțiunii de 100 cm^2 ; vasul are un piston mobil etanșat la un capăt. Ca urmare a reacției, pistonul este împins cu 10 cm împotriva presiunii externe de 1,0 atm. Să se calculeze lucru efectuat de sistem.

Se dă:

$$\begin{aligned} S &= 100 \text{ cm}^2 \\ h &= 10 \text{ cm} \\ P_{\text{ex}} &= 1,0 \text{ atm} \end{aligned}$$

$$w = ?$$

Rezolvare:

Aceasta este o dilatare împotriva unei presiuni externe constante, deci

$$w = -P_{\text{ex}} \Delta V$$

$$P_{\text{ex}} = 1,0 \text{ atm} \times (1,013 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{atm}^{-1}) = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\Delta V = 100 \text{ cm}^2 \times 10 \text{ cm} = 1,0 \times 10^3 \text{ cm}^3 = 1,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$w = (-1,01 \times 10^5 \text{ Pa}) \times (1,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = -1,0 \times 10^2 \text{ J}$$

$$\text{R/s: } w = -100 \text{ J}$$

4. O probă constând din 1,00 mol Ar se dilată izoterm la 0°C de la 22,4 la 44,8 L:
- Reversibil;
 - Împotriva unei presiuni externe constante, egală cu presiunea finală a gazului;
 - Liber împotriva unei presiuni externe zero;

Să se calculeze q , w , ΔU și ΔH pentru cele trei procese.

Se dă:

$$\begin{aligned} n &= 1,00 \text{ moli} \\ t &= 0^\circ\text{C} \\ V_1 &= 22,4 \text{ L} \\ V_2 &= 44,8 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= ? \\ w &= ? \\ \Delta U &= ? \\ \Delta H &= ? \end{aligned}$$

Rezolvare:

Pentru toate cele trei cazuri $\Delta U = 0$, întrucât energia internă a unui gaz perfect depinde numai de temperatură. Din definiția entalpiei:
 $H = U + PV$, $\Delta H = \Delta U + \Delta(PV) = \Delta U + \Delta(nRT)$ (gaz perfect)

Deci și $\Delta H = 0$, la temperatură constantă pentru toate procesele dintr-un gaz perfect.

a) $\Delta U = \Delta H = 0$

$$w = -nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right);$$

$$\begin{aligned} w &= (-1,00 \text{ mol}) \times (8,314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}) \times 273\text{K} \\ &\quad \times \ln\left(\frac{44,8 \text{ L}}{22,4 \text{ L}}\right) = -1,57 \times 10^{-3} \text{ J} = -1,57 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$q = \Delta U - w;$$

$$q = 0 + 1,57 = 1,57 \text{ kJ}$$

b) $\Delta U = \Delta H = 0$

$$w = -P_{ex}\Delta V$$

$$\Delta V = 44,8 \text{ L} - 22,4 \text{ L} = 22,4 \text{ L}$$

$$P_{ex} = P_f \frac{nRT}{V_f}$$

$$= \frac{1,00 \text{ mol} \times (0,08206 \text{ latmK}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}) \times 273\text{K}}{44,8 \text{ L}} = 0,5 \text{ atm}$$

$$w = (-0,500 \text{ atm}) \times \left(\frac{1,013 \times 10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}}\right) \times 22,4 \text{ L} \times \left(\frac{1 \text{ m}^3}{10^3 \text{ L}}\right)$$

$$= -1,13 \times 10^3 \text{ Pa m}^3 = -1,13 \times 10^3 \text{ J}$$

$$= -1,13 \text{ kJ}$$

$$q = \Delta U - w = 0 + 1,13 \text{ kJ} = 1,13 \text{ kJ}$$

c) $\Delta U = \Delta H = 0$

$$W=0; \quad q = \Delta U - w = 0 - 0 = 0$$

R/s: a) $\Delta U = 0$, $q = 1,57 \text{ kJ}$, $w = -1,57 \text{ kJ}$

b) $\Delta U = 0$, $q = 1,13 \text{ kJ}$, $w = -1,13 \text{ kJ}$

c) $\Delta U = 0$, $q = 0 \text{ kJ}$, $w = 0 \text{ kJ}$

Comentariu: o dilatare izotermă liberă a unui gaz perfect este și adiabatică.

5. O probă de 1,00 mol de gaz perfect monoatomic, pentru care $C_{v,m}=3R/2$, aflată inițial la $P_1=1,00$ atm și $T_1= 300$ K, se încălzește reversibil la 400 K la volum constant. Să se calculeze presiunea finală, ΔU , q și w .

Se dă:

$$\begin{aligned} n &= 1,00 \text{ mol} \\ C_{v,m} &= 3R/2 \\ P_1 &= 1,00 \text{ atm} \\ T_1 &= 300 \text{ K} \\ T_2 &= 400 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &=? \\ \Delta U &=? \\ q &=? \\ w &=? \end{aligned}$$

Rezolvare:

Pentru un gaz perfect la volum constant:

$$\frac{P}{T} = \frac{nR}{V} = \text{const, deci } \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$P_2 = \left(\frac{T_2}{T_1}\right) \times P_1 = \left(\frac{400 \text{ K}}{300 \text{ K}}\right) \times 1,00 \text{ atm} = 1,33 \text{ atm}$$

$$\Delta U = nC_{v,m}\Delta T = n \times \left(\frac{3}{2}R\right) \times \Delta T = 1,00 \text{ mol} \times \left(\frac{3}{2}\right) \times (8,314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}) \times 100 \text{ K} = 1,25 \times 10^3 \text{ J} = 1,25 \text{ kJ}$$

$$w = 0 \text{ (volum constant)}$$

$$q = \Delta U - w = 1,25 \text{ kJ} - 0 = 1,25 \text{ kJ}$$

$$\text{R/s: } P_2 = 1,33 \text{ atm}$$

$$\Delta U = 1,25 \text{ kJ}$$

$$q = 1,25 \text{ kJ}$$

$$w = 0$$

6. O probă de 4,50 g metan ocupă 12,7 L la 310 K. Să se calculeze: a) Lucrul efectuat când gazul se dilată izoterm împotriva unei presiuni externe constante de 200 Torr până ce volumul său crește cu 3,3 L; b) Lucrul pe care l-ar efectua dacă aceeași dilatare ar avea loc reversibil.

Se dă:

$$\begin{aligned} m(\text{CH}_4) &= 4,50 \text{ g} \\ V_1 &= 12,7 \text{ L} \\ T &= 310 \text{ K} \\ P_{\text{ex}} &= 200 \text{ Torr} \\ V_2 &= 16 \text{ L} \end{aligned}$$

$$w = ?$$

Rezolvare:

$$\text{a) } w = -P_{\text{ex}}\Delta V$$

$$P_{\text{ex}} = 200 \text{ Torr} \times 133,3 \text{ Pa} \cdot \text{Torr}^{-1} = 2,666 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$\Delta V = 3,3 \text{ L} = 3,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$w = (-2,666 \times 10^4 \text{ Pa}) \times 3,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = -88 \text{ J}$$

$$\text{b) } w = -nRT \cdot \ln \frac{V_f}{V_i}$$

$$n = \frac{4,50 \text{ g}}{16,04 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0,2805 \text{ mol};$$

$$RT = 2,577 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$V_i = 12,7 \text{ L}; V_f = 16,0 \text{ L}$$

$$\begin{aligned} w &= -(0,2805 \text{ mol}) \times (2,577 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) \times \ln \frac{16,0 \text{ L}}{12,7 \text{ L}} \\ &= -167 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\text{R/s: a) } w = -88 \text{ J}$$

$$\text{b) } w = -167 \text{ J}$$

7. La comprimarea izotermă reversibilă a 52,0 mmol de gaz perfect la 260 K, volumul gazului s-a redus la o treime din volumul inițial. Să se calculeze lucrul pentru acest proces.

Se dă:

$$\begin{aligned} n &= 52,0 \text{ mmol} \\ T &= 260 \text{ K} \\ V_2 &= V_1/3 \end{aligned}$$

$$w = ?$$

Rezolvare:

$$w = -nRT \cdot \ln \frac{V_f}{V_i}$$

$$V_f = \frac{1}{3} V_i$$

$$nRT = (52,0 \times 10^{-3} \text{ mol}) \times (8,314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}) \times 260 \text{ K} = 1,124 \times 10^2 \text{ J}$$

$$w = -(1,124 \times 10^2 \text{ J}) \times \ln \frac{1}{3} = 123 \text{ J}$$

R/s: w = + 123 J

8. Dacă o probă de 3,0 moli de Ar(g) primește o cantitate de energie de 229 J sub formă de căldură la presiune constantă, temperatura sa crește cu 2,55 K. Să se calculeze capacitățile calorice ale gazului, la $V = \text{const}$ și la $P = \text{const}$.

Se dă:

$$\begin{aligned} n (\text{Ar}) &= 3,0 \text{ moli} \\ q_P &= 229 \text{ J} \\ \Delta T &= 2,55 \text{ K} \end{aligned}$$

$$C_{P,m} = ?$$

$$C_{V,m} = ?$$

Rezolvare:

$$C_P = \frac{q_P}{\Delta T} = \frac{229 \text{ J}}{2,55 \text{ K}} = 89,8 \text{ JK}^{-1}$$

$$C_{P,m} = \frac{C_P}{n} = \frac{89,8 \text{ JK}^{-1}}{3,0 \text{ mol}} = 30 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$$

Pentru gaz perfect:

$$C_{P,m} - C_{V,m} = R$$

$$C_{V,m} = C_{P,m} - R = (30 - 8,3) \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1} = 21,7 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$$

R/s: $C_{P,m} = 30 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$

$C_{V,m} = 22 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$

9. O probă de 25 g lichid se răcește de la 290 K la 275 K la presiune constantă, prin cedarea unei energii de 1,2 kJ sub formă de căldură. Să se calculeze q și ΔH și să se evalueze capacitatea calorică a probei.

Se dă:

$$\begin{aligned} m &= 25 \text{ g} \\ q_P &= 229 \text{ J} \\ T_1 &= 290 \text{ K} \\ T_2 &= 275 \text{ K} \end{aligned}$$

$$C_P = ?$$

Rezolvare:

$$q_P = -1,2 \text{ kJ}$$

$$\Delta H = q_P = -1,2 \text{ kJ}$$

$$C_P = \frac{q_P}{\Delta T} = \frac{-1,2 \text{ kJ}}{-15 \text{ K}} = 50 \text{ JK}^{-1}$$

R/s: $C_P = 50 \text{ JK}^{-1}$

10. Prin încălzirea a 3,0 moli O_2 la o presiune constantă de 3,25 atm, temperatura va crește de la 260 K la 285 K. Știind că valoarea capacității calorice molare a O_2 la presiune constantă este $29,45 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$, să se calculeze q , ΔH și ΔU .

Se dă:

$$n(O_2) = 3,0 \text{ moli}$$

$$P = 3,25 \text{ atm}$$

$$T_1 = 260 \text{ K}$$

$$T_2 = 285 \text{ K}$$

$$C_P = 29,45 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$q_P = ?$$

$$\Delta H = ?$$

$$\Delta U = ?$$

Rezolvare:

$$q_P = C_P \Delta T = n C_P \Delta T$$

$$q_P = (3,0 \text{ mol}) \times (29,45 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times 25 \text{ K} \\ = 2,2 \text{ kJ}$$

$$\Delta H = q_P = 2,2 \text{ kJ} \quad \Delta U = \Delta H - \Delta(PV)$$

$$\text{Din: } [H \equiv U + pV] = \Delta H - \Delta(nRT) \text{ gaz perfect}$$

$$\Delta U = \Delta H - nR\Delta T$$

$$\Delta U = (2,2 \text{ kJ}) - (3,0 \text{ mol}) \times (8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times 25 \text{ K} \\ = 2,2 \text{ kJ} - 0,62 \text{ kJ} = 1,6 \text{ kJ}$$

$$\text{R/s: } q_P = 2,2 \text{ kJ}$$

$$\Delta H = q_P$$

$$\Delta U = 1,6 \text{ kJ}$$

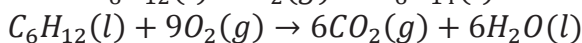
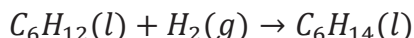
11. Să se calculeze entalpia standard de hidrogenare a 1-hexenei până la hexan, știind că entalpia standard de combustie a 1-hexenei este de -4003 kJ/mol .

Se dă:

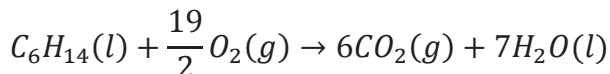
$$\Delta_c H = -4003 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_r H = ?$$

Rezolvare:

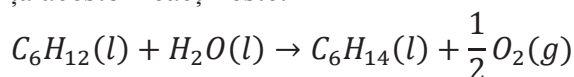


$$\Delta_c H^\theta = -4003 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



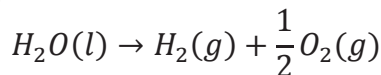
$$\Delta_c H^\theta = -4163 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Diferența acestor reacții este:



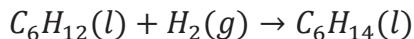
$$\Delta_r H^\theta = +160 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Obținem reacția redusă:



$$\Delta_r H^\theta = -\Delta_f H^\theta(H_2O, l) = 285,83 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Obținem:



$$\Delta_r H^\theta = -125,83 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{R/s: } \Delta_r H^\theta = -125,83 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

12. Să se calculeze energia internă standard de formare a acetatului de metil lichid din entalpia sa de formare, care este de -442 kJ/mol.

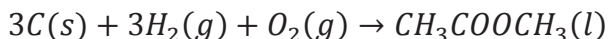
Se dă:

$$\Delta_f H = -442 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_f U = ?$$

Rezolvare:

Reacția de formare a acetatului de metil este:



$$\Delta_f H^\theta = -442 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta U = \Delta H - \Delta n_g RT,$$

$$\Delta n_g = -4 \text{ mol (starea gazoasă)}$$

$$\Delta n_g RT = (-4 \text{ mol}) \times (2,479 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = -9,916 \text{ kJ}$$

$$\Delta_f U^\theta = (-442 \text{ kJmol}^{-1}) + (9,9 \text{ kJmol}^{-1})$$

$$= -432 \text{ kJmol}^{-1}$$

$$\text{R/s: } \Delta_f U = -432 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

13. Temperatura unei bombe calorimetrice a crescut cu 1,1617 K când s-a trecut un curent de 3,20 A de la o sursă de 12,0 V, timp de 27,0 s. Să se calculeze capacitatea calorică a calorimetrului.

Se dă:

$$\Delta T = 1,1617 \text{ K}$$

$$I = 3,20 \text{ A}$$

$$V = 12,0 \text{ V}$$

$$t = 27,0 \text{ s}$$

$$C = ?$$

Rezolvare:

$$C = \frac{q}{\Delta T} \quad q = I V t$$

$$C = \frac{I V t}{\Delta T}$$

$$C = \frac{(3,20 \text{ A}) \times (12,0 \text{ V}) \times (27,0 \text{ s})}{1,1617 \text{ K}} = 641 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\text{R/s: } C = 641 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

14. Să se calculeze entalpia de tranziție grafit \rightarrow diamant, știind că entalpia standard de combustie a grafitului este -393,51 kJ/mol, iar a diamantului este -395,412 kJ/mol.

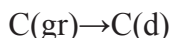
Se dă:

$$\Delta_c H (g) = -393,51 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_c H (d) = -395,412 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_{\text{trans}} H = ?$$

Rezolvare:



$$\Delta_{\text{trans}} H^\theta = \Delta_c H^\theta \text{ grafit} - \Delta_c H^\theta \text{ diamant}$$

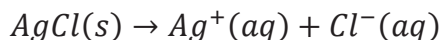
$$\Delta_{\text{trans}} H^\theta = -353,51 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - \left(-395,41 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right)$$

$$= 1,90 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\text{R/s: } \Delta_{\text{trans}} H = 641 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

15. Să se calculeze entalpia molară de dizolvare a $\text{AgCl}(s)$ în apă din entalpia de formare a solidului și a ionilor hidratați.

Rezolvare:



$$\Delta_{\text{sol}}H^\theta = \Delta_f H^\theta(\text{Ag}^+, aq) + \Delta_f H^\theta(\text{Cl}^-, aq) - \Delta_f H^\theta(\text{AgCl}, s)$$

$$\Delta_{\text{sol}}H^\theta = (105,58) + (-167,16) - (-127,07) \text{ kJ mol}^{-1} = 65,49 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\text{R/s: } \Delta_{\text{sol}}H = 65,49 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Probleme de autocontrol

1. Cu ce este egal lucrul efectuat la dilatarea izotermă a 3,5 kg de la volumul 30 m³ până la 60 m³ la temperatura 298 K. Cum se va schimba lucrul pentru aceeași cantitate de azot dacă procesul se va efectua la 400 K. Considerăm că azotul se supune ecuației de stare a gazului perfect.
2. La interacțiunea 2,1 g de fier cu sulf s-au degajat 3,77 kJ. Calculați entalpia (căldura) de formare a FeS.
3. Ce cantitate de căldură s-a degajat în rezultatul exploziei a 8,4 L gaz detonant în c.n.?
4. Să se calculeze entalpia standard de formare a butanului la 25°C din entalpia sa standard de combustie.
5. Să se determine entalpia standard de formare (ΔH) a substanței PH_3 , reieșind din ecuația reacției: $2\text{PH}_3(g) + 4\text{O}_2(g) = \text{P}_2\text{O}_3(c) + 3\text{H}_2\text{O}(l)$; $\Delta H_{r,\text{ch.}} = -2360 \text{ J}$.
6. Reieșind din efectul termic al reacției chimice: $3\text{CaO}(c) + \text{P}_2\text{O}_5(c) = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(c)$; $\Delta H_{r,\text{ch.}} = -739 \text{ kJ}$. Să se determine $\Delta_f H$ de formare a $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(c)$.
7. Reieșind din ecuația reacției: $\text{CH}_3\text{OH}(l) + 3/2 \text{O}_2(g) = \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$ $\Delta H = -726,5 \text{ kJ}$. De calculat $\Delta_f H$ de formare a CH_3OH .
8. La reducerea 12,7 g CuO cu carbonul s-a format CO și totodată s-a absorbit căldură în valoare de 8,24 kJ. Care este căldura de formare ($\Delta_f H$) a CuO?
9. La arderea completă a etilenei (cu formarea apei în stare lichidă) s-au degajat 6226 kJ care este volumul oxigenului ce a participat în reacție (c. n.)?
10. Gazul de apă prezintă un amestec de volume egale a H_2 și CO. Ce cantitate de căldură se va degaja la arderea 112 L de acest gaz (c. n.).
11. Au fost arse în aceleași condiții volume egale de H_2 și C_2H_2 cu formarea $\text{H}_2\text{O}(g)$. În ce caz s-a degajat mai multă căldură și de câte ori?
12. Să se determine $\Delta H_{r,\text{ch.}}$ a reacției: $3\text{C}_2\text{H}_2(g) = \text{C}_6\text{H}_6(l)$, dacă $\Delta_c H$ a reacției de ardere a acetilenei cu formarea $\text{CO}_2(g)$ și $\text{H}_2\text{O}(l)$ este - 1300 kJ/mol, dar $\Delta_f H$ de formare a $\text{C}_6\text{H}_6(l)$ constituie 82,9 kJ/mol.
13. Se dă ecuația termochimică: $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) = \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g) + 802,2 \text{ kJ}$. Ce cantitate de căldură se obține când din reacție rezultă 2 moli de CO_2 ?; Ce cantitate de căldură se obține la arderea 1 m³ CH_4 ?; Câte grame de apă se pot încălzi de la 0°C la 100°C prin arderea unui mol de metan?
14. Care este $\Delta_f H$ de formare a etilenei, folosind următoarele date: $\text{C}_2\text{H}_4(g) +$

$3\text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}); \Delta H_{\text{r.ch.}} = - 1323 \text{ kJ}; \text{C}(\text{grafit}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g});$
 $\Delta H_{\text{r.ch.}} = - 393,5 \text{ kJ}; \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{g}); \Delta H_{\text{r.ch.}} = - 241,8 \text{ kJ}.$

- 15.** De comparat $\Delta H_{\text{r.ch.}}$ al reacției de reducere Fe_2O_3 (c) cu diferiți reducători la 298 K: Fe_2O_3 (c) + 3H_2 (g) = 2Fe (c) + $3\text{H}_2\text{O}$ (g); Fe_2O_3 (c) + 3C (grafit) = 2Fe (c) + 3CO (g); Fe_2O_3 (c) + 3CO (g) = 2Fe (c) + 3CO_2 .
- 16.** Care este masa metanului, la arderea căreia (cu formarea $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$) se degajă căldură ce este suficientă pentru a încălzi 100 g H_2O de la 20 până la 30°C . Capacitatea specifică molară a apei constituie $75,3 \text{ J/mol}\cdot\text{grad}$.

2.3. Principiul II al termodinamicii

1. Să se calculeze variația de entropie la transferarea reversibilă și izotermă a 25 kJ de energie sub formă de căldura unei bucăți de fier la: a) 0°C b) 100°C.

Se dă:

$$q_{rev} = 25 \text{ kJ}$$

$$t_1 = 0^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C}$$

$$\Delta S_1 = ?$$

$$\Delta S_2 = ?$$

Rezolvare:

$$\Delta S = \int_i^f \frac{dq_{rev}}{T} = \frac{1}{T} \int_i^f dq_{rev}$$

$$T = \text{const}$$

$$\text{a) } \Delta S_1 = \frac{q_{rev}}{T} = \frac{25 \times 10^3 \text{ J}}{273,15 \text{ K}} = 92 \text{ JK}^{-1}$$

$$\text{b) } \Delta S_2 = \frac{q_{rev}}{T} = \frac{25 \times 10^3 \text{ J}}{373,15 \text{ K}} = 67 \text{ JK}^{-1}$$

$$\text{R/s: } \Delta S_1 = 92 \text{ JK}^{-1}$$

$$\Delta S_2 = 67 \text{ JK}^{-1}$$

2. Să se calculeze entropia molară a unei probe, la volum constant de neon, la 500 K, cunoscând valoarea sa la 298 K de 146,22 J/K mol.

Se dă:

$$V = \text{const}$$

$$T_i = 298 \text{ K}$$

$$S(T_i) = 146,22 \text{ J/mol K}$$

$$T_f = 500 \text{ K}$$

$$S(T_f) = ?$$

Rezolvare:

$$\Delta S_m(T_f) = S_m(T_i) + \int_{T_i}^{T_f} \frac{C_{V,m}}{T} dT$$

Dacă se presupune că neonul este un gaz perfect, atunci $C_{v,m}$ poate fi considerat constant și exprimat astfel:

$$C_{V,m} = C_{p,m} - R$$

$$C_{p,m} = 20,786 \text{ J/K mol}$$

$$C_{p,m} = (20,786 - 8,314) \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$= 12,472 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

Integrând se obține:

$$S_m(500 \text{ K}) = S_m(298 \text{ K}) + C_{V,m} \ln \frac{T_f}{T_i}$$

$$S_m(500 \text{ K}) = (146,22 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1})$$

$$+ (12,472 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \ln \left(\frac{500 \text{ K}}{298 \text{ K}} \right)$$

$$= (146,22 + 6,45) \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$= 152,67 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$\text{R/s: } S(T_f) = 152,67 \text{ J/K mol}$$

3. O probă de 3,00 moli gaz perfect biatomic aflat la 200 K este comprimată reversibil și adiabatic până la temperatura ce atinge 250 K. Știind că $C_{v,m}=27,5$ J/K·mol, să se calculeze q , w , ΔU , ΔH și ΔS .

Se dă:

$v = 3,00$ moli
 $T_1 = 200$ K
 $T_2 = 250$ K
 $C_{v,m}=27,5$
 J/K·mol

Rezolvare:

$q = q_{rev} = 0$ proces reversibil adiabatic

$$\Delta S = \int_i^f \frac{dq_{rev}}{T} = 0$$

$q = ?$

$$\Delta U = nC_{v,m}\Delta T = 3,00 \text{ mol} \times 27,5 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \times 50 \text{ K} \\ = 4,1 \times 10^3 \text{ J} = 4,1 \text{ kJ}$$

$w = ?$

$w = \Delta U$ Principiul I cu $q=0$

$\Delta U = ?$

$\Delta H = nC_{p,m}\Delta T$, unde $C_{p,m} = C_{v,m} + R$

$\Delta H = ?$

$$C_{p,m} = (27,5 + 8,3) \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1} = 35,8 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$$

$\Delta S = ?$

$$\Delta H = 3,00 \text{ mol} \times 35,8 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \times 50 \text{ K} = 5,4 \times 10^3 \text{ J} \\ = 5,4 \text{ kJ}$$

Comentariu: pentru rezolvarea acestui exercițiu nu sunt necesare presiunile și volumele inițiale sau finale!

R/s: $q = 0$

$w = 4,1$ kJ

$\Delta U = 4,1$ kJ

$\Delta H = 5,4$ kJ

$\Delta S = 0$

4. Un sistem suferă un proces în care variația de entropie este 2,41 J/K. În timpul procesului, se adaugă 1,00 kJ de căldură sistemului la 500 K. Procesul termodinamic este reversibil? Să se explice motivul.

Se dă:

$\Delta S = 2,41$ J/K
 $q = 1,00$ kJ
 $T = 500$ K

Rezolvare:

$$\Delta S = \frac{q_{rev}}{T}, T = \text{const}$$

Dacă este reversibil $q = q_{rev}$

$q = q_{rev} - ?$

$$q_{rev} = T\Delta S = 500 \text{ K} \times 2,41 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} = 1,21 \text{ kJ} \\ 1,21 \text{ kJ} \neq 1,00 \text{ kJ}$$

R/s: procesul nu este reversibil, deoarece $q \neq q_{rev}$

5. O probă de 25 g de metan gazos la 250 K și 18,5 atm se dilată izoterm până ce presiunea sa va fi de 2,5 atm. Să se calculeze variația de entropie a gazului.

Se dă:

$m(\text{CH}_4) = 25$ g
 $T = 250$ K
 $P_1 = 18,5$ atm
 $P_2 = 2,5$ atm
 $\Delta S = ?$

Rezolvare:

$$\Delta S = nR \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right)$$

Legea lui Boyle: $\frac{P_i}{P_f} = \frac{V_f}{V_i}$

$$\Delta S = nR \ln\left(\frac{P_i}{P_f}\right) = \frac{m(\text{CH}_4)}{M(\text{CH}_4)} \times R \times \ln\left(\frac{P_i}{P_f}\right)$$

$$\Delta S = \frac{25\text{g}}{16,4\text{ g mol}^{-1}} \times 3,814\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$$

$$\times \ln\left(\frac{18,5\text{ atm}}{2,5\text{ atm}}\right) = 26\text{ J K}^{-1}$$

R/s: $\Delta S = 26\text{ J/K}$

6. O probă de gaz perfect, care ocupă inițial un volum de 15,0 L la temperatura 250 K și presiunea de 1,0 atm, se comprimă izoterm. Până la ce volum trebuie să scadă gazul pentru a reduce entropia sa cu 5,0 J/K?

Se dă:

$$V_i = 15,0\text{ L}$$

$$T_i = 250\text{ K}$$

$$P_i = 1,0\text{ atm}$$

$$\Delta S = -5,0\text{ J/K}$$

$$\Delta S = ?$$

Rezolvare:

$$\Delta S = nR \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

Numărul de moli sau nR și V_f pot fi determinați din:

$$nR = \frac{p_i V_i}{T_i} = \frac{1,0\text{ atm} \times 15\text{ L}}{250\text{ K}}$$

$$= \frac{(1,013 \times 10^5\text{ Pa}) \times (15,0 \times 10^{-3}\text{ m}^3)}{250\text{ K}}$$

$$= 6,08\text{ J K}^{-1}$$

$$\ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) = \frac{\Delta S}{nR} = \frac{-5,0\text{ J K}^{-1}}{6,08\text{ J K}^{-1}} = -0,823$$

$$\text{Deci, } V_f = V_i e^{-0,823} = 15,0\text{ L} \times 0,439 = 6,6\text{ L}$$

R/s: $V_f = 6,6\text{ L}$

7. Se presupune că 3,0 mmol de N_2 ocupă un volum de 36 cm^3 la temperatura de 300 K și se dilată la un volum de 60 cm^3 . Să se calculeze ΔG pentru acest proces.

Se dă:

$$v(\text{N}_2) = 3,0\text{ mmol}$$

$$V_i = 36\text{ cm}^3$$

$$T = 300\text{ K}$$

$$V_f = 60\text{ cm}^3$$

$$\Delta G = ?$$

Rezolvare:

$$\Delta G = nRT \ln\left(\frac{P_f}{P_i}\right) = nRT \ln\left(\frac{V_i}{V_f}\right)$$

$$\Delta G = (3,0 \times 10^{-3}\text{ mol}) \times (8,314\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}) \times (300\text{ K})$$

$$\times \ln\left(\frac{36\text{ cm}^3}{60\text{ cm}^3}\right) = -3,8\text{ J}$$

R/s: $\Delta G = -3,8\text{ J}$

8. Când presiunea asupra unei probe cu masa de 35 g de lichid a crescut izoterm de la presiunea de 1 atm la 3000 atm, energia Gibbs a crescut cu 12 kJ să se calculeze densitatea lichidului.

Se dă:

$m = 35 \text{ g}$
$P_i = 1 \text{ atm}$
$T = \text{const}$
$P_f = 3000 \text{ atm}$
$\Delta G = 12 \text{ kJ}$
$\rho = ?$

Rezolvare:

$$\Delta G = V \Delta P$$

$$V = \frac{\Delta G}{\Delta P}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m \Delta P}{\Delta G}$$

$$\rho = \frac{35 \text{ g} \times (3000 - 1) \text{ atm} \times (1,013 \times 10^5 \text{ Pa})}{12 \times 10^3 \text{ J}}$$

$$= 8,9 \times 10^5 \text{ g m}^{-3} = 0,89 \text{ g cm}^{-3}$$

$$\mathbf{R/s: \Delta G = 0,89 \text{ g cm}^{-3}}$$

Probleme de autocontrol

- 1,00 mol de gaz perfect monoatomic cu $C_{V,m} = 3R/2$ este încălzit de la 100°C la 300°C, la presiune constantă. Să se calculeze ΔS (pentru sistem).
- Să se calculeze ΔS (pentru sistem), dacă 3,00 moli de gaz perfect monoatomic, pentru care $C_{P,m} = 5R/2$, sunt încălziți și comprimați de la 25°C și 1,00 atm la 125°C și 5,00 atm. Cum se interpretează semnul lui ΔS .
- Determinați variația entropiei la topirea a 54 g de argint, dacă se știe că temperatura de topire a argintului este de 960°C, iar căldura de topire a lui este 104,5 kJ/mol.
- Să se calculeze creșterea entropiei la încălzirea unui mol de gaz perfect monoatomic, cu $C_{P,m} = 5R/2$, de la 300 K la 600 K și dilatarea simultană de la 30,0 L la 50,0 L.
- Entalpia de vaporizare a cloroformului (CHCl_3) este 29,4 kJ mol⁻¹, la punctul de său normal de fierbere, de 334,88 K. Să se calculeze entropia de vaporizare a cloroformului la această temperatură. Care este variația de căldură în mediu?
- Să se estimeze variația energiei Gibbs pentru 1,0 L de benzen, când presiunea care acționează asupra sa crește de la 1,0 atm la 100 atm.
- Să se calculeze variația de energie molară Gibbs a hidrogenului gazos, dacă se comprimă izoterm de la 1,0 atm la 100 atm la 298K.
- La comprimarea izotermă a 2,00 moli de gaz de la 330 K și 3,50 atm, entropia sa scade cu 25,0 J/K. Să se calculeze presiunea finală a gazului și ΔG pentru comprimare.
- Să se calculeze energia Gibbs standard pentru reacția: $4\text{HCl(g)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O(l)}$ la 298 K din entropiile standard și entalpiile de formare standard.
- Să se calculeze lucrul maxim de neexpansiune pe mol, care se poate obține de la o celulă de combustie, în care reacția chimică este arderea metanului.
($|w_e| = |\Delta G|$)
- Calculați ΔH , ΔE , ΔG , ΔS pentru reacția: $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{SO}_3(\text{g})$. Determinați sensul desfășurării reacției la presiunea standard și 298 K.

- 12.** Calculați ΔH , ΔE , ΔG , ΔS pentru reacția: $2\text{NO}_2(\text{g}) = 2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$.
Determinați sensul desfășurării reacției la presiunea standard și 298 K.
- 13.** Calculați ΔH , ΔE , ΔG , ΔS pentru reacția: $2\text{NO}_2(\text{g}) = \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$. Determinați sensul desfășurării reacției la presiunea standard și 298 K.
- 14.** Să se calculeze entropia standard de reacție la 298 K pentru:
- $2\text{CH}_3\text{CHO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH}(\text{l})$
 - $2\text{AgCl}(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{l}) \rightarrow 2\text{AgBr}(\text{s}) + \text{Cl}_2(\text{g})$
 - $\text{Hg}(\text{l}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HgCl}_2(\text{s})$
 - $\text{Zn}(\text{s}) + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s})$
 - $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(\text{s}) + 12\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 12\text{CO}_2(\text{g}) + 11\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- 15.** Să se folosească energiile Gibbs de formare pentru calcularea energiilor Gibbs de reacție standard la 298 K pentru reacțiile:
- $2\text{CH}_3\text{CHO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH}(\text{l})$
 - $2\text{AgCl}(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{l}) \rightarrow 2\text{AgBr}(\text{s}) + \text{Cl}_2(\text{g})$
 - $\text{Hg}(\text{l}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HgCl}_2(\text{s})$
 - $\text{Zn}(\text{s}) + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s})$
 - $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(\text{s}) + 12\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 12\text{CO}_2(\text{g}) + 11\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- 16.** Să se combine entropiile și entalpiile de reacție pentru a calcula energiile de Gibbs de reacție standard la 298 K pentru reacțiile:
- $2\text{CH}_3\text{CHO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH}(\text{l})$
 - $2\text{AgCl}(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{l}) \rightarrow 2\text{AgBr}(\text{s}) + \text{Cl}_2(\text{g})$
 - $\text{Hg}(\text{l}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HgCl}_2(\text{s})$
 - $\text{Zn}(\text{s}) + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s})$
 - $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(\text{s}) + 12\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 12\text{CO}_2(\text{g}) + 11\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

3. SECȚIUNE DE DATE

Tabelul 3.1. Proprietăți fizice ale unor elemente chimice

Elementele	$\rho/(\text{g cm}^{-3})$ la 293 K	T_f/K	T_f/K	Elementele	$\rho/(\text{g cm}^{-3})$ la 293 K	T_f/K	T_f/K
Aluminiu(s)	2,698	933,5	2740	Plumb(s)	11,350	600,6	2013
Argon(g)	1,381	83,8	87,3	Litiu(s)	0,534	453,7	1620
Bor(s)	2,340	2573	3931	Magneziu(s)	1,738	922,0	1363
Brom(l)	3,123	265,9	331,9	Mercur(l)	13,546	234,3	629,7
Carbon(s,gr)	2,260	3700s	-	Neon(g)	1,207	24,5	27,1
Carbon(s,d)	3,513	-	-	Azot(g)	0,880	63,3	77,4
Clor(g)	1,507	172,2	239,2	Oxigen(g)	1,140	54,8	90,2
Cupru(s)	8,960	1357	2840	Fosfor(s,alb)	1,820	317,3	553
Fluor(g)	1,108	53,5	85,0	Potasiu(s)	0,862	336,8	1047
Aur(s)	19,320	1338	3080	Argent(s)	10,500	1235	2485
Helium(g)	0,125	-	4,22	Sodiu(s)	0,971	371,0	1156
Hidrogen(g)	0,071	14,0	20,3	Sulf(s, α)	2,070	386,0	717,8
Iod(s)	4,930	386,7	457,5	Uraniu(s)	18,950	1406	4018
Fier(s)	7,874	1808	3023	Xenon(s)	2,939	161,3	166,1
Kripton(g)	2,413	116,6	120,8	Zinc(s)	7,133	692,7	1180

Tabelul 3.2. Proprietăți fizice ale unor substanțe compuse

Substanțe compuse	$\rho/(\text{g cm}^{-3})$ la 293 K	T_f/K	T_f/K	Substanțe compuse	$\rho/(\text{g cm}^{-3})$ la 293 K	T_f/K	T_f/K
CaCO ₃ (s)	2,71	1612	1171d	Anilină(l)	1,026	267	457
CuSO ₄ ×5H ₂ O	2,284	383	423	Antracen(s)	1,243	490	615
HBr(g)	2,77	184,3	206,4	Benzen (l)	0,879	278,6	353,2
HCl(g)	1,187	159,0	191,1	Cloroform(l)	1,499	209,6	334
HI(g)	2,85	222,4	237,8	Etanol(l)	0,789	156	351,4
H ₂ O(l)	0,997	273,2	373,2	Formaldehidă(g)	-	181	254,0
D ₂ O(l)	1,104	277,0	374,6	Cloroform(l)	1,544	415	-
NH ₃ (g)	0,817	195,4	238,8	Metan(g)	-	90,6	111,6
KBr(s)	2,750	1003	1708	Metanol(l)	0,791	179,2	337,6
KCl(s)	1,984	1049	1773s	Naftalină(s)	1,145	353,4	491
NaCl(s)	2,165	1074	1686	Octan(l)	0,703	216,4	398,8
H ₂ SO ₄ (l)	1,841	283,5	-	Fenol(s)	1,073	314,1	455,0
Acetaldehidă(l,g)	0,788	152	293	Zaharoză(s)	1,588	457d	-
Acid acetic(l)	1,049	289,8	391	Tetraclorură de carbon(l)	1,63	250	349,9
Acetonă(l)	0,787	178	329				

d: se descompune; s: se sublimează;

Tabelul 3.3. Constante critice

	P_c/atm	$V_c/(\text{cm}^3\text{mol}^{-1})$	T_c/K	Z_c	T_B/K
Ar	48,00	75,25	150,72	0,292	411,5
Br ₂	102	135	584	0,287	-
C ₂ H ₄	50,50	124	283,1	0,270	-
C ₂ H ₆	48,20	148	305,4	0,285	-
C ₆ H ₆	48,6	260	562,7	0,274	-
CH ₄	45,6	98,7	190,6	0,288	510,0
Cl ₂	76,1	124	417,2	0,276	
CO ₂	72,85	94,0	304,2	0,274	714,8

F ₂	55	144	-	-	-
H ₂	12,8	64,99	33,23	0,305	110,0
H ₂ O	218,3	55,3	647,4	0,227	-
HBr	84,0	363,0	-	-	-
HCl	81,5	81,0	324,7	0,248	-
He	2,26	57,76	5,21	0,305	22,64
HI	80,8	423,2	-	-	-
Kr	54,27	92,24	209,39	0,291	575,0
N ₂	33,54	90,10	126,3	0,292	327,2
Ne	26,86	41,74	44,44	0,307	122,1
NH ₃	111,3	72,5	405,5	0,242	-
O ₂	50,14	78,0	154,8	0,308	405,9
Xe	58,0	118,8	289,75	0,290	768,0

Tabelul 3.4. Constante Van der Waals

	$a/(L^2atm\ mol^{-1})$	$b/(10^{-2}L\ mol^{-1})$		$a/(L^2atm\ mol^{-1})$	$b/(10^{-2}L\ mol^{-1})$
Ar	1,363	3,219	H ₂ S	4,490	4,287
C ₂ H ₄	4,530	5,714	He	0,03457	2,370
C ₂ H ₆	5,562	6,380	Kr	2,349	3,978
CH ₄	2,283	4,278	N ₂	1,408	3,913
Cl ₂	6,579	5,622	Ne	0,2135	1,709
CO	1,505	3,985	NH ₃	4,225	3,707
CO ₂	3,640	4,267	O ₂	1,378	3,183
H ₂	0,2476	2,661	SO ₂	6,803	5,636
H ₂ O	5,536	3,049	Xe	4,250	5,105

Tabelul 3.5. Energii de ionizare, $E_i/(kJ\ mol^{-1})$

H 1312,0							He 2372,3 5250,4
Li 513,3 7298,0	Be 899,4 1757,1	B 800,6 2427	C 1086,2 2352	N 1402,3 2856,1	O 1313,9 3388,2	F 1681 3374	Ne 2080,6 3952,2
Na 495,8 4562,4	Mg 737,7 1450,7	Al 577,4 1816,6 2744,6	Si 786,5 1577,1	P 1011,7 1903,2 2912	S 999,6 2251	Cl 1251,1 2297	Ar 1520,4 2665,2
K 418,8 3051,4	Ca 589,7 1145	Ga 578,8 1979 2963	Ge 762,1 1537 2735	As 947,0 1798	Se 940,4 2044	Br 1139,9 2104	Kr 1350,7 2350
Rb 403,0 2632	Sr 549,5 1064,2	In 558,3 1820,6 2704	Sn 708,6 1411,8 2943,0	Sb 833,7 1794 2433	Te 869,2 1795	I 1008,4 1845,9	Xe 1170,4 2046
Cs 375,5 2420	Ba 502,8 1971,0 2878	Tl 589,3 1971,0 2878	Pb 715,5 1450,4 3081,5	Bi 703,2 1610 2466	Po 812	At 930	Rn 1037

Tabelul 3.6. Entalpii de disociere a legăturilor, $\Delta H^\ominus(A-B)$ /(kJ mol⁻¹) (la 298K)

Molecule diatomice									
H-H	436	F-F	155	Cl-Cl	242	Br-Br	193	I-I	151
O=O	497	C=O	1076	N≡N	945				
H-O	428	H-F	565	C-Cl	431	H-Br	366	H-I	299
Molecule poliatomică									
H-CH₃	435	H-NH₂	460	H-OH	492	H-C₆H₅	469		
H₃C-CH₃	368	H₂C-CH₂	720	HC≡CH	962				
HO-CH₃	377	Cl-CH₃	352	Br-CH₃	293	I-CH₃	237		
O=CO	531	HO-OH	213	O₂N-NO₂	54				

Tabelul 3.7. Date termodinamice pentru compuși organici (la 298K)

	M (g/mol)	$\Delta_f H^\ominus$ (kJ/mol)	$\Delta_f G^\ominus$ (kJ/mol)	S^\ominus (J/Kmol)	$C_{p,m}$ (J/Kmol)	$\Delta_c H^\ominus$ (kJ/mol)
Hydrocarburii						
CH ₄ (g), metan	16,04	-74,81	-50,72	186,26	35,31	-890
CH ₃ (g), metil	15,04	+145,69	+147,90	194,20	38,70	-
C ₂ H ₂ (g), etină	26,04	+226,73	+209,20	200,94	43,93	-1300
C ₂ H ₄ (g), etenă	28,05	+52,26	+68,15	219,56	43,56	-1411
C ₂ H ₆ (g), etan	30,07	-84,68	-32,82	229,60	52,63	-1560
C ₃ H ₆ (g), propenă	42,08	+20,42	+62,78	267,05	63,89	-2058
C ₃ H ₆ (g), ciclopropan	42,08	+53,30	+104,45	237,55	55,94	-2091
C ₃ H ₈ (g), propan	44,10	-103,85	-23,49	269,91	73,5	-2220
C ₄ H ₈ (g), 1-butenă	56,11	-0,13	+71,39	305,71	85,65	-2717
C ₄ H ₈ (g), cis-2-butenă	56,11	-6,99	+65,95	300,94	78,91	-2710
C ₄ H ₈ (g), trans-2-butenă	56,11	-11,17	+63,06	296,59	87,82	-2707
C ₄ H ₁₀ (g), butan	58,13	-126,15	-17,03	310,23	97,45	-2878
C ₅ H ₁₂ (g), pentan	72,15	-146,44	-8,20	348,40	120,2	-3537
C ₅ H ₁₂ (l)	72,15	-173,1	-	-	-	-
C ₆ H ₆ (g), benzen	78,12	+49,0	+124,3	173,3	136,1	-3268
C ₆ H ₆ (g)	78,12	+82,93	+129,72	269,31	81,67	-3302
C ₆ H ₁₂ (l), ciclohexan	84,16	-156	+26,8	-	156,5	-3902
C ₆ H ₁₄ (l), hexan	86,18	-198,7	-	204,3	-	-4163
C ₆ H ₅ CH ₃ (g), metilbenzen	92,14	+50,0	+122,0	320,7	103,6	-3953
C ₇ H ₁₆ (l), heptan	100,21	-224,4	+1,0	328,6	224,3	-
C ₈ H ₁₈ (l), octan	114,23	-249,9	+6,4	361,1	-	-5471
C ₈ H ₁₈ (l), izo-octan	114,23	-255,1	-	-	-	-5461
C ₁₀ H ₈ (s), naftalină	128,18	+78,53	-	-	-	-5157
Alcooli și fenoli						
CH ₃ OH(l), metanol	32,04	-238,66	-166,27	126,8	81,6	-726
CH ₃ OH(g)	32,04	-200,66	-161,96	239,81	43,89	-764
C ₂ H ₅ OH(l), etanol	46,07	-277,69	-174,78	160,7	111,46	-1368
C ₂ H ₅ OH(g)	46,07	-235,10	-168,49	282,70	65,44	-1409
C ₆ H ₅ OH(s), fenol	94,12	-165,0	-50,9	146,0	-	-3054
Acizii carboxilici, hidroxiacizi și esteri						
HCOOH(l), formic	46,03	-424,72	-361,35	128,95	99,04	-255
CH ₃ COOH(l), acetic	60,05	-484,5	-389,9	159,8	124,3	-875
CH ₃ COOH(aq)	60,05	-485,76	-396,46	178,7	-	-

CH ₃ CO ₂ ⁻ (aq)	59,05	-486,01	-369,31	86,6	-6,3	-
(COOH) ₂ (s), oxalic	90,04	-827,2	-	-	117	-254
C ₆ H ₅ COOH(s), benzoic	122,13	-385,1	-245,3	167,6	146,8	-3227
CH ₃ CH(OH)COOH(s), lactic	90,08	-694,0	-	-	-	-1344
CH ₃ COOC ₂ H ₅ (l), acetat de etil	88,11	-479,0	-332,7	259,4	170,1	-2231
Aldehyde și cetone						
HCHO(g), metanal	30,03	-108,57	-102,53	218,77	35,40	-571
CH ₃ CHO(l), etanal	44,05	-192,30	-128,12	160,2	-	-1166
CH ₃ CHO(g)	44,05	-166,19	-128,86	250,3	57,3	-1192
CH ₃ COCH ₃ (l), propanonă	58,08	-248,1	-155,4	200,4	124,7	-1790
Zaharuri						
C ₆ H ₁₂ O ₆ (s), α-D-glucoză	180,16	-1274	-	-	-	-2808
C ₆ H ₁₂ O ₆ (s), β-D-glucoză	180,16	-1268	-910	212	-	-
C ₆ H ₁₂ O ₆ (s), β-D-fructoză	180,16	-1266	-	-	-	-2810
C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (s), zaharoză	342,30	-2222	-1543	360,2	-	-5645
Compusi cu azot						
CO(NH ₂) ₂ (s), uree	60,06	-333,51	-197,33	104,60	93,14	-632
CH ₃ NH ₂ (g), metilamină	31,06	-22,97	+32,16	243,41	53,1	-1085
C ₆ H ₅ NH ₂ (l), anilină	93,13	+31,1	-	-	-	-3393
CH ₂ (NH ₂)COOH(s), glicină	75,07	-532,9	-373,4	103,5	99,2	-969

Tabelul 3.8. Date termodinamice (la 298K)

	M (g/mol)	Δ _f H ⁰ (kJ/mol)	Δ _f G ⁰ (kJ/mol)	S ⁰ (J/K·mol)	C _{p,m} (J/K·mol)
Aluminiu					
Al(s)	26,98	0	0	28,33	24,35
Al(l)	26,98	+10,56	+7,20	39,55	24,21
Al(g)	26,98	+326,4	+285,7	164,54	21,38
Al ³⁺ (g)	26,98	+5483,17			
Al ³⁺ (aq)	26,98	-531	-485	-321,7	
Al ₂ O ₃ (s,α)	101,96	-1675,7	-1582,3	50,92	79,04
AlCl ₃ (s)	133,24	-704,2	-628,8	110,67	91,84
Argon					
Ar(g)	39,95	0	0	154,84	20,786
Argint					
Ag(s)	107,87	0	0	42,55	25,351
Ag(g)	107,87	+284,55	+245,65	173,00	20,79
Ag ⁺ (aq)	107,87	+105,58	+77,11	72,68	21,8
AgBr(s)	187,78	-100,37	-96,90	107,1	52,38
AgCl(s)	143,32	-127,07	-109,79	96,2	50,79
Ag ₂ O(s)	231,74	-31,05	-11,20	121,3	65,86
AgNO ₃ (s)	169,88	-124,39	-33,41	140,92	93,05

Arsen					
As(s, α)	74,92	0	0	35,1	24,64
As(g)	74,92	+302,5	+261,0	174,21	20,79
As ₄ (g)	299,69	+143,9	+92,4	314	
AsH ₃	77,95	+66,44	+68,93	222,78	38,07
Aur					
Au(s)	196,97	0	0	47,40	25,42
Au(l)	196,97	+366,1	+326,3	180,50	20,79
Azot					
N ₂ (g)	28,013	0	0	191,61	29,125
N(g)	14,007	+472,70	+455,56	153,30	20,786
NO(g)	30,01	+90,25	+86,55	210,76	29,844
N ₂ O(g)	44,01	+82,05	+104,20	219,85	38,45
NO ₂ (g)	46,01	+33,18	+51,31	240,06	37,20
N ₂ O ₄ (g)	92,01	+9,16	+97,89	304,29	77,28
N ₂ O ₅ (s)	108,01	-43,1	+113,9	178,2	143,1
N ₂ O ₅ (g)	108,01	+11,3	+115,1	355,7	84,5
HNO ₃ (l)	63,01	-174,10	-80,71	155,60	109,87
HNO ₃ (aq)	63,01	-207,36	-111,25	146,4	-86,6
NO ₃ ⁻ (aq)	62,01	-205,0	-108,74	146,4	-86,6
NH ₃ (g)	17,03	-46,11	-16,45	192,45	35,06
NH ₃ (aq)	17,03	-80,29	-26,50	111,3	
NH ₄ ⁺ (aq)	18,04	-132,51	-79,31	113,4	79,9
NH ₂ OH(s)	33,03	-114,2			
HN ₃ (l)	43,03	+264,0	+327,3	140,6	43,68
HN ₃ (g)	43,03	+294,1	+328,1	238,97	98,87
N ₂ H ₄ (l)	32,05	50,63	+149,43	121,21	139,3
NH ₄ NO ₃ (s)	80,04	-365,56	-183,87	151,08	84,1
NH ₄ Cl(s)	53,49	-314,43	-202,87	94,6	
Bariu					
Ba(s)	137,34	0	0	62,8	28,07
Ba(g)	137,34	+180	+146	170,24	20,79
Ba ²⁺ (aq)	137,34	-573,64	-560,77	9,6	
BaO(s)	153,34	-553,5	-525,1	70,43	47,78
BaCl ₂ (s)	208,25	-858,6	-810,4	123,68	75,14
Beriliu					
Be(s)	9,01	0	0	9,50	16,44
Be(g)	9,01	+324,3	+286,6	136,27	20,79
Bismut					
Bi(s)	208,98	0	0	56,74	25,52
Bi(g)	208,98	+207,1	+168,2	187,00	20,79
Brom					
Br ₂ (l)	159,82	0	0	152,23	75,689
Br ₂ (g)	159,82	+30,907	+3,110	245,46	36,02
Br(g)	79,91	+111,88	+82,396	175,02	20,786
Br ⁻ (g)	79,91	-219,07			
Br ⁻ (aq)	79,91	-121,55	-103,96	82,4	-141,8
HBr(g)	80,91	-36,40	-53,45	198,70	29,142
Cadmiu					
Cd(s, γ)	112,40	0	0	51,76	25,98

Cd(g)	112,40	+112,01	+77,41	167,75	20,79
Cd ²⁺ (aq)	112,40	-75,90	-77,612	-73,2	
CdO(s)	128,40	-258,2	-228,4	54,8	43,43
CdCO ₃ (s)	172,41	-750,6	-669,4	92,5	
Calciu					
Ca(s)	40,08	0	0	41,42	25,31
Ca(g)	40,08	+178,2	+144,3	154,88	20,786
Ca ²⁺ (aq)	40,08	-542,83	-553,58	-53,1	
CaO(s)	56,08	-635,09	-604,03	39,75	42,80
CaCO ₃ (s)(calcit)	100,09	-1206,9	-1128,8	92,9	81,88
CaCO ₃ (s)(aragonit)	100,09	-1207,1	-1127,8	88,7	81,25
CaF ₂ (s)	78,08	-1219,6	-1167,3	68,87	67,03
CaCl ₂ (s)	110,99	-795,8	-748,1	104,6	72,59
CaBr ₂ (s)	199,90	-682,8	-663,6	130	
Carbon					
C(s)(gafit)	12,011	0	0	5,740	8,527
C(s)(diamant)	12,011	+1,895	+2,900	2,377	6,133
C(g)	12,011	+716,68	+671,26	158,10	20,838
C ₂ (g)	24,022	+831,90	+775,89	199,42	43,21
CO(g)	28,011	-110,53	-137,17	197,67	29,14
CO ₂ (g)	44,010	-393,51	-394,36	213,74	37,11
CO ₂ (aq)	44,010	-413,80	-385,98	117,6	
H ₂ CO ₃ (aq)	62,03	-699,65	-623,08	187,4	
HCO ₃ ⁻ (aq)	61,02	-691,99	-586,77	91,2	
CO ₃ ²⁻ (aq)	60,01	-677,14	-527,81	-56,9	
CCl ₄ (l)	153,82	-135,44	-65,21	216,40	131,75
CS ₂ (l)	76,14	+89,70	+65,27	151,34	75,7
HCN(g)	27,03	+135,1	+124,7	201,78	35,86
HCN(l)	27,03	+108,87	+124,97	112,84	70,63
CN(aq)	26,02	+150,6	+172,4	94,1	
Cesiu					
Cs(s)	132,91	0	0	85,23	32,17
Cs(g)	132,91	+76,06	+49,12	175,60	20,79
Cs ⁺ (aq)	132,91	-258,28	-292,02	133,05	-10,5
Clor					
Cl ₂ (g)	70,91	0	0	223,07	33,91
Cl(g)	35,45	+121,68	+105,68	165,20	21,840
Cl ⁻ (g)	35,45	-233,13			
Cl ⁻ (aq)	35,45	-167,16	-131,23	56,5	-136,4
HCl(g)	36,46	-92,31	-95,30	186,91	29,12
HCl(aq)	36,46	-167,16	-131,23	56,5	-136,4
Crom					
Cr(s)	52,00	0	0	23,77	23,35
Cr(g)	52,00	+396,6	+351,8	174,50	20,79
CrO ₄ ²⁻ (aq)	115,99	-881,15	-727,75	50,21	
Cr ₂ O ₇ ²⁻ (aq)	215,99	-1490,3	-1301,1	261,9	
Cupru					
Cu(s)	63,54	0	0	33,150	24,44
Cu(g)	63,54	+338,32	+298,58	166,38	20,79
Cu ⁺ (aq)	63,54	+71,67	+49,98	40,6	

Cu ²⁺ (aq)	63,54	+64,77	+65,49	-99,6	
Cu ₂ O(s)	143,08	-168,6	-146,0	93,14	63,64
CuO(s)	79,54	-157,3	-129,7	42,63	42,30
CuSO ₄ (s)	159,60	-771,36	-661,8	109	100,0
CuSO ₄ ×H ₂ O(s)	177,62	-1085,8	-918,11	146,0	134
CuSO ₄ ×5H ₂ O(s)	249,68	-2279,7	-1879,7	300,4	280
Deuteriu					
D ₂ (g)	4,028	0	0	144,96	29,20
HD(g)	3,022	+0,318	-1,464	143,80	29,196
D ₂ O(g)	20,028	-249,20	-234,54	198,34	34,27
D ₂ O(l)	20,028	-294,60	-234,44	75,94	84,35
HDO(g)	19,022	-245,30	-233,11	199,51	33,81
HDO(l)	19,022	-289,89	-241,86	79,29	
Fier					
Fe(s)	55,85	0	0	27,28	25,10
Fe(g)	55,85	+419,3	+370,7	180,49	25,68
Fe ²⁺ (aq)	55,85	-89,1	-78,90	-137,7	
Fe ³⁺ (aq)	55,85	-48,5	-4,7	-315,9	
Fe ₃ O ₄ (s)(magnetit)	231,54	-1118,4	-1015,4	146,4	143,43
Fe ₃ O ₄ (s)(hematit)	159,69	-824,2	-742,2	87,40	103,85
FeS(s,α)	87,91	-100,0	-100,4	60,29	50,54
FeS ₂ (s)	119,98	-178,2	-166,9	52,93	62,17
Fluor					
F ₂ (g)	38,00	0	0	202,78	31,30
F(g)	19,00	+78,99	+61,91	158,75	22,74
F ⁻ (aq)	19,00	-332,63	-278,79	-13,8	-106,7
HF(g)	20,01	-271,1	-273,2	173,78	29,13
Fosfor					
P(s,alb)	30,97	0	0	41,09	23,840
P(g)	30,97	+314,64	+278,25	163,19	20,786
P ₂ (g)	61,95	+144,3	+103,7	218,13	32,05
P ₄ (g)	123,90	+58,91	+24,44	279,98	67,15
PH ₃ (g)	34,00	+5,4	+13,4	210,23	37,11
PCl ₃ (g)	137,33	-287,0	-267,8	311,78	71,84
PCl ₃ (l)	137,33	-319,7	-272,3	217,1	
PCl ₅ (g)	208,24	-374,9	-305,0	364,6	112,8
PCl ₅ (s)	208,24	-443,5			
H ₃ PO ₃ (s)	82,00	-964,4			
H ₃ PO ₃ (aq)	82,00	-964,8			
H ₃ PO ₄ (s)	94,97	-1279,0	-1119,1	110,50	106,06
H ₃ PO ₄ (l)	94,97	-1266,9			
H ₃ PO ₄ (aq)	94,97	-1277,4	-1018,7	-222	
PO ₄ ³⁻ (aq)	91,97	-1277,4	-1018,7	-222	
P ₄ O ₁₀ (s)	283,89	-2984,0	-2697,0	228,86	211,71
P ₄ O ₆ (s)	219,89	-1640,1			
Heliu					
He(g)	4,003	0	0	126,15	20,786
Hidrogen					
H ₂ (g)	2,016	0	0	130,684	28,824
H(g)	1,008	+217,97	+203,25	114,71	20,784

H ⁺ (aq)	1,008	0	0	0	0
H ₂ O(l)	18,015	-285,83	-237,13	69,91	75,291
H ₂ O(g)	18,015	-241,82	-228,57	188,83	33,58
H ₂ O ₂ (l)	34,015	-187,78	-120,35	109,60	89,1
Iod					
I ₂ (s)	253,81	0	0	116,135	54,44
I ₂ (g)	253,81	+62,44	+19,33	260,69	36,90
I(g)	126,90	+106,84	+70,25	180,79	20,786
I ⁻ (aq)	126,90	-55,19	-51,57	111,3	-142,3
HI(g)	127,91	+26,48	+1,70	206,59	29,158
Kripton					
Kr(g)	83,80	0	0	164,08	20,786
Litiu					
Li(s)	6,94	0	0	29,12	24,77
Li(g)	6,94	+159,37	+126,66	138,77	20,79
Li ⁺ (aq)	6,94	-278,49	-293,31	13,40	68,6
Magneziu					
Mg(s)	24,31	0	0	32,68	24,89
Mg(g)	24,31	+147,70	+113,10	148,65	20,786
Mg ²⁺ (aq)	24,31	-466,85	-454,80	-138,10	
MgO(s)	40,31	-601,70	-569,43	26,94	37,15
MgCO ₃ (s)	84,32	-1095,8	-1012,1	65,70	75,52
MgCl ₂ (s)	95,22	-641,32	-591,79	89,62	71,38
Mercur					
Hg(l)	200,59	0	0	76,02	27,983
Hg(g)	200,59	+61,32	+31,82	174,96	20,786
Hg ²⁺ (aq)	200,59	+171,10	+164,40	-32,20	
Hg ₂ ²⁺ (aq)	401,18	+172,40	+153,52	84,50	
HgO(s)	216,59	-90,83	-58,54	70,29	44,06
Hg ₂ Cl ₂ (s)	472,09	-265,22	-210,75	192,50	102
HgCl ₂ (s)	271,50	-224,30	-178,60	146,00	
HgS(s,negru)	232,65	-53,60	-47,70	88,3	
Neon					
Ne(g)	20,18	0	0	146,33	20,786
Oxigen					
O ₂ (g)	31,999	0	0	205,138	29,355
O(g)	15,999	+249,17	+231,73	161,06	21,912
O ₃ (g)	47,998	+142,70	+163,20	238,93	39,20
OH ⁻ (aq)	17,007	-229,99	-157,24	-10,75	-148,5
Plumb					
Pb(s)	207,19	0	0	64,81	26,44
Pb(l)	207,19	+195,0	+161,90	175,37	20,79
Pb ²⁺ (aq)	207,19	-1,70	-24,43	10,50	
PbO(s, galben)	223,19	-217,32	-187,89	68,70	45,77
PbO(s, roșu)	223,19	-218,99	-188,93	66,50	45,81
PbO ₂ (s)	239,19	-277,40	-217,33	68,60	64,64
Potasiu					
K(s)	39,10	0	0	46,18	29,58
K(g)	39,10	+89,24	+60,59	160,336	20,786
K ⁺ (g)	39,10	+514,26			

K ⁺ (aq)	39,10	-252,38	-283,27	102,5	21,8
KOH(s)	56,11	-424,76	-379,08	78,9	64,9
KF(s)	58,10	-576,27	-537,75	66,57	49,04
KCl(s)	74,56	-436,75	-409,14	82,59	51,30
KBr(s)	119,01	-393,80	-380,66	95,90	52,30
KI(s)	166,01	-327,90	-324,89	106,32	52,93
Siliciu					
Si(s)	28,09	0	0	18,83	20,00
Si(g)	28,09	+455,6	+411,3	167,97	22,25
SiO ₂ (s, α)	60,09	-910,94	-856,64	41,84	44,43
Sodiu					
Na(s)	22,99	0	0	51,21	28,24
Na(g)	22,99	+107,32	+76,76	153,71	20,79
Na ⁺ (aq)	22,99	-240,12	-261,91	59,00	46,40
NaOH(s)	40,00	-425,61	-379,49	64,46	59,54
NaCl(s)	58,44	-411,15	-384,14	72,13	50,50
NaBr(s)	102,90	-361,06	-348,98	86,82	51,38
NaI(s)	149,89	-278,78	-286,06	98,53	52,09
Staniu					
Sn(s, β)	118,69	0	0	51,55	26,99
Sn(g)	118,69	+302,1	+267,3	168,49	20,26
Sn ²⁺ (aq)	118,69	-8,8	-27,2	-17	
SnO(s)	134,69	-285,8	-256,9	56,5	44,31
SnO ₂ (s)	150,69	-580,7	-519,6	52,3	52,59
Stibliu					
Sb(s)	121,75	0	0	45,69	25,23
SnH ₃ (g)	153,24	+145,11	+147,75	232,78	41,05
Sulf					
S(s, α)(rhomboic)	32,06	0	0	31,80	22,64
S(s, β)(monoclinic)	32,06	+0,33	+0,10	32,60	23,60
S(g)	32,06	+278,81	+238,25	167,82	23,673
S ₂ (g)	64,13	+128,37	+79,30	228,18	32,47
S ²⁻ (aq)	32,06	+33,10	+85,8	-14,6	
SO ₂ (aq)	64,06	-296,83	-300,19	248,22	39,87
SO ₃ (g)	80,06	-395,72	-371,06	256,76	50,67
H ₂ SO ₄ (l)	98,08	-813,99	-690,00	156,90	138,9
H ₂ SO ₄ (aq)	98,08	-909,27	-744,53	20,10	-293
SO ₄ ²⁻ (aq)	96,06	-909,27	-744,53	20,10	-293
HSO ₄ ⁻ (aq)	97,07	-887,34	-755,91	131,80	-84
H ₂ S(g)	34,08	-20,63	-33,56	205,79	34,23
H ₂ S(l)	34,08	-39,70	-27,83	121	
HS ⁻ (aq)	33,072	-17,60	+12,08	62,08	
SF ₆ (g)	146,05	-1209	-1105,30	291,82	97,28
Xenon					
Xe(g)	131,30	0	0	169,68	20,786
Zinc					
Zn(s)	65,37	0	0	41,63	25,40
Zn(g)	65,37	+130,73	+95,14	160,98	20,79
Zn ²⁺ (aq)	65,37	-153,89	-147,06	-112,10	46
ZnO(s)	81,37	-348,28	-318,30	43,64	40,25

Tabelul 3.9. Căldura integrală de dizolvare (ΔH_m) a unor săruri în apă (la 25°C)

Nr	n, moli de substanță la 1 kg de H ₂ O	LiCl		LiBr		NaCl		NaBr		NaI		KCl		KBr	
		kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol
1.	1/∞	-37,13	-8,875	-49,02	-11,717	3,89	0,930	-0,63	-0,150	-7,57	-1,81	17,23	4,119	20,04	4,790
2.	0,01	-36,97	-8,835	-48,91	-11,690	4,06	0,970	-0,50	-0,120	-7,41	-1,77	17,39	4,157	20,17	4,820
3.	0,02	-36,86	-8,810	-48,87	-11,680	4,10	0,980	-0,42	-0,100	-7,36	-1,76	17,44	4,168	20,25	4,840
4.	0,05	-36,71	-8,775	-48,74	-11,650	4,18	1,000	-0,31	-0,075	-7,24	-1,73	17,51	4,185	20,29	4,850
5.	0,1	-36,48	-8,720	-48,62	-11,620	4,25	1,015	-0,29	-0,070	-7,20	-1,72	17,55	4,195	20,33	4,860
6.	0,2	-36,34	-8,685	-48,39	-11,565	4,27	1,020	-0,27	-0,065	-7,15	-1,71	17,57	4,199	20,29	4,850
7.	0,3	-36,19	-8,650	-48,28	-11,540	4,25	1,015	-0,29	-0,070	-7,24	-1,73	17,55	4,194	20,25	4,840
8.	0,4	-36,07	-8,620	-48,20	-11,520	4,16	0,995	-0,40	-0,095	-7,32	-1,75	17,50	4,182	20,15	4,815
9.	0,5	-35,98	-8,600	-48,12	-11,500	4,10	0,980	-0,44	-0,105	-7,41	-1,77	17,43	4,166	20,04	4,790
10.	1,0	-35,65	-8,520	-47,74	-11,410	3,79	0,905	-0,86	-0,205	-7,82	-1,87	17,28	4,130	19,54	4,670
11.	2,0	-35,15	-8,400	-47,11	-11,260	3,18	0,760	-1,65	-0,395	-8,62	-2,06	16,72	3,995	18,68	4,465
12.	3,0	-34,52	-8,250	-46,53	-11,120	2,66	0,635	-2,28	-0,545	-9,37	-2,24	16,17	3,865	17,99	4,300
13.	4,0	-33,89	-8,100	-46,02	-11,000	2,26	0,540	-2,78	-0,665	-10,04	-2,40	15,75	3,765	17,36	4,150
14.	5,0	-33,18	-7,930	-45,50	-10,875	1,99	0,475	-3,20	-0,765	-10,54	-2,52	-	-	16,82	4,021
15.	6,0	-32,43	-7,750	-44,85	-10,720	1,88	0,450	-3,47	-0,830	-10,92	-2,61	-	-	-	-
16.	7,0	-31,63	-7,560	-44,22	-10,570	-	-	-3,66	-0,875	-11,13	-2,66	-	-	-	-
17.	8,0	-30,79	-7,360	-43,51	-10,400	-	-	-3,70	-0,885	-11,25	-2,69	-	-	-	-
18.	9,0	-29,92	-7,150	-42,80	-10,230	-	-	-3,62	-0,865	-11,25	-2,69	-	-	-	-
19.	10,0	-29,00	-6,930	-41,97	-10,030	-	-	-	-	-11,17	-2,67	-	-	-	-
20.	12,0	-27,03	-6,460	-35,82	-8,560	-	-	-	-	-10,71	-2,56	-	-	-	-
21.	15,0	-23,97	-5,730	-36,57	-8,740	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22.	Soluție saturată	-19,35	-4,624	-31,88	-7,62	1,95	0,466	-3,61	-0,863	-10,59	-2,53	15,45	3,692	16,49	3,924
Concentrația soluției saturate, moli/kg H ₂ O		19,9		18,6		6,15		9,15		12,33		4,82		5,70	

Continuare

Nr	n, moli de substanță la 1 kg de H ₂ O	KI		KClO ₄		KNO ₃		K ₂ SO ₄		NH ₄ Cl		NH ₄ NO ₃		CaCl ₂	
		kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol
1.	1/∞	20,50	4,900	50,84	12,150	34,93	8,348	23,71	5,667	14,73	3,520	25,77	6,16	-82,93	-19,82
2.	0,01	20,67	4,940	50,89	12,163	35,03	8,372	24,48	5,850	14,85	3,550	25,77	6,16	-82,68	-19,76
3.	0,02	20,71	4,950	50,84	12,150	35,02	8,371	24,58	5,875	14,94	3,570	25,79	6,165	-82,38	-19,69
4.	0,05	20,73	4,955	50,66	12,109	34,94	8,352	24,75	5,915	15,02	3,590	25,82	6,17	-81,25	-19,42
5.	0,1	20,71	4,950	50,37	12,38	34,77	8,310	24,78	5,923	15,10	3,610	25,75	6,155	-80,88	-19,33
6.	0,2	20,67	4,940	-	-	-	-	24,58	5,875	15,19	3,630	25,56	6,11	-80,50	-19,24
7.	0,3	20,59	4,920	-	-	-	-	24,27	5,800	15,23	3,640	25,38	6,65	-80,25	-19,18
8.	0,4	20,42	4,880	-	-	-	-	23,95	5,725	15,27	3,650	25,21	6,25	-80,02	-19,125
9.	0,5	20,29	4,850	-	-	-	-	23,58	5,635	15,27	3,650	25,06	5,99	-79,83	-19,08
10.	1,0	19,73	4,715	-	-	-	-	-	-	15,31	3,660	24,31	5,81	-79,04	-18,89
11.	2,0	18,62	4,450	-	-	-	-	-	-	15,27	3,650	23,05	5,51	-77,74	-18,58
12.	3,0	16,66	4,220	-	-	-	-	-	-	15,23	3,640	21,97	5,25	-	-
13.	4,0	16,82	4,20	-	-	-	-	-	-	15,19	3,630	21,17	5,06	-	-
14.	5,0	16,09	3,845	-	-	-	-	-	-	15,15	3,620	20,46	4,89	-	-
15.	6,0	15,47	3,697	-	-	-	-	-	-	15,10	3,610	19,92	4,76	-	-
16.	7,0	14,92	3,565	-	-	-	-	-	-	15,02	3,590	19,41	4,62	-	-
17.	8,0	14,46	3,455	-	-	-	-	-	-	-	-	18,95	4,53	-	-
18.	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,54	4,43	-	-
19.	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,16	4,34	-	-
20.	12,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,45	4,17	-	-
21.	15,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,84	4,025	-	-
22.	18,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,61	3,97	-	-
23.	Soluție saturată	14,07	3,362	-	-	-	-	22,68	5,445	15,02	3,590	-	-	-	-
Concentrația soluției saturate, moli/kg H ₂ O		8,98		-	-	-	-	-	-	7,35	-	-	-	-	-

Tabelul 3.10. Căldura integrală de dizolvare (-ΔH_m) a unor acizi și baze în apă (la 25°C)

Nr	Numărul de moli de H ₂ O la 1 mol de acid	n, moli de acid la 1 kg de H ₂ O	HCl		H ₂ SO ₄		HNO ₃		NH ₃ (g)		NaOH		KOH	
			kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol	kJ/mol	kcal/mol
1.	0,5	111,02	-	-	15,73	3,76	-	-	-	-	-	-	-	-
2.	1	55,51	26,23	6,268	28,07	6,71	13,11	3,134	29,54	7,06	-	-	-	-
3.	2	27,75	48,82	11,668	41,92	10,02	20,08	4,800	32,05	7,66	-	-	-	-
4.	3	18,50	56,85	13,588	48,99	11,71	24,30	5,808	32,76	7,83	24,89	6,905	41,80	9,99
5.	4	13,88	61,20	14,628	54,06	12,92	26,98	6,448	33,26	7,95	34,43	8,230	45,77	10,94
6.	5	11,10	64,05	15,308	58,03	13,87	28,73	6,866	33,60	8,03	37,76	9,25	48,24	11,53
7.	6	9,25	65,89	15,748	60,75	18,52	29,84	7,131	-	-	39,87	9,530	49,87	11,920
8.	8	6,94	68,23	16,308	64,60	15,44	31,12	7,439	-	-	41,92	10,20	51,76	12,370
9.	10	5,55	69,49	16,608	67,03	16,02	31,84	7,610	32,27	8,19	42,51	10,160	52,66	12,585
10.	15	3,70	70,99	16,967	70,17	16,77	32,46	7,758	-	-	42,84	10,240	53,62	12,815
11.	20	2,78	71,78	17,155	71,50	17,09	32,67	7,808	34,43	8,23	42,87	10,245	53,95	12,875
12.	30	1,85	72,59	17,350	72,68	17,37	32,76	7,830	34,48	8,24	-	-	-	-
13.	40	1,39	73,02	17,453	73,09	17,47	32,75	7,828	34,48	8,24	-	-	-	-
14.	50	1,11	73,28	17,514	73,35	17,53	32,74	7,826	34,52	8,25	42,53	10,165	54,33	12,985
15.	75	0,740	73,65	17,602	73,68	17,61	32,74	7,825	-	-	-	-	-	-
16.	100	0,555	73,85	17,650	73,97	17,68	32,75	7,287	34,56	8,26	42,34	10,120	54,45	13,15
17.	200	0,278	74,20	17,735	74,94	17,91	32,80	7,840	34,64	8,28	42,30	10,110	54,56	13,40
18.	500	0,111	74,52	17,811	76,73	18,34	32,90	7,863	-	-	42,36	10,125	54,75	13,85
19.	700	0,0793	74,61	17,833	77,57	18,54	32,94	7,873	-	-	-	-	-	-
20.	1000	0,0555	74,68	17,850	78,58	18,78	32,98	7,882	-	-	42,47	10,150	54,87	13,115
21.	2000	0,0278	74,82	17,883	80,88	19,33	33,05	7,899	-	-	42,55	10,170	55,00	13,145
22.	5000	0,0111	74,93	17,909	84,43	20,18	33,13	7,919	-	-	42,66	10,195	55,10	13,170
23.	10000	0,0056	74,99	17,924	87,07	20,81	33,19	7,932	-	-	42,72	10,210	55,17	13,185
24.	20000	0,0028	75,04	17,935	89,62	21,42	-	-	-	-	-	-	-	-
25.	50000	0,0011	75,08	17,944	92,34	22,07	33,27	7,951	-	-	42,80	10,230	55,25	13,204
26.	∞	1/∞	75,14	17,960	96,19	22,99	33,34	7,968	34,64	8,28	42,87	10,245	55,31	13,220

**Tabelul 3.11. Căldura integrală de dizolvare a substanțelor care formează cristalohidrați
(la 18°C)**

Substanța	Numărul de moli H ₂ O la un mol de substanță	ΔH	
		kJ/mol	kcal/mol
BaCl ₂	400	-8,66	-2,07
BaCl ₂ ×H ₂ O	400	-6,49	-1,55
BaCl ₂ ×2H ₂ O	400	+18,49	+4,42
CuSO ₄	800	-66,53	-15,90
CuSO ₄ ×H ₂ O	800	-39,04	-9,33
CuSO ₄ ×3H ₂ O	800	-15,10	-3,61
CuSO ₄ ×5H ₂ O	800	+11,72	+2,80
MgSO ₄	400	-84,94	-20,30
MgSO ₄ ×H ₂ O	400	-55,65	-13,30
MgSO ₄ ×2H ₂ O	400	-46,23	-11,05
MgSO ₄ ×4H ₂ O	400	-17,74	-4,24
MgSO ₄ ×6H ₂ O	400	+0,42	+0,10
MgSO ₄ ×7H ₂ O	400	+16,11	+3,85
Na ₂ SO ₃	800	-11,30	-2,7
Na ₂ SO ₃ ×7H ₂ O	800	+46,86	+11,2
Na ₂ HPO ₄	400	-23,64	-5,65
Na ₂ HPO ₄ ×2H ₂ O	400	+1,59	+0,38
Na ₂ HPO ₄ ×7H ₂ O	400	+48,53	+11,60
Na ₂ HPO ₄ ×12H ₂ O	400	+95,14	+22,74
ZnSO ₄	400	-77,57	-18,54
ZnSO ₄ ×H ₂ O	400	-41,84	-10,00
ZnSO ₄ ×6H ₂ O	400	+3,51	+0,84
ZnSO ₄ ×7H ₂ O	400	+17,70	+4,23

BIBLIOGRAFIE

1. ATKINS P. W. Tratat de chimie fizică. București, Editura Tehnică, 1996, 943 p.
2. JUNGHIETU G. ș.a. Chimie fizică. Chișinău, 1996, 344 p.
3. ISAC V., ONU A., TUDORENU C., NEMȚOI GH. Chimie Fizică. Lucrări Practice, Chișinău, Știința, 1995, 759 p.
4. БАРОН Н.М., КВЯТ Э.И., ПОТГОРНАЯ Е.А., ПОНОМАРЕВА А.М., РАВДЕЛЬ А.А., ТИМОФЕЕВА З.Н. Краткий справочник физико-химических величин, Ленинградское отделение: ХИМИЯ, 1974, 200 p.
5. ATKINS P.W., TRAPP C.A. Exerciții și probleme rezolvate de Chimie Fizică, București, Editura Tehnică, 1997, 717 p.

**Tipar executat la Centrul Editorial-Poligrafic al Universității Pedagogice de Stat „Ion Creangă”
din Chișinău, str. Ion Creangă, nr. 1, MD-2069**