Costin-Ionuț DOBROTĂ

PROBLEME
DE
TERMODINAMICĂ

pentru CLASA a X-a

Probleme de termodinamică

Lucrarea se adresează elevilor de clasa a X-a, dar este utilă și elevilor care se pregătesc pentru examenul de bacalaureat sau pentru examenul de admitere în învățământul superior. Problemele propuse pot fi rezolvate în clasă împreună cu profesorul sau pot constitui teme pentru acasă, fiind grupate în capitole și subcapitole, conform programei de fizică actuale. Totodată, problemele propuse în această lucrare sunt grupate pe grade de dificultate și „marcate” astfel:

/0/ *probleme – exerciții care se rezolvă utilizând relații prin care se definesc mărimi fizice sau relații care descriu fenomene fizice elementare,*
/1/ *probleme – aplicații de nivel mediu,*
/2/ *probleme complexe care implică fenomene și analize complexe,*
/3/ *probleme de nivel avansat care implică evaluări de situații și fenomene, discuții, sau probleme de limită și extrem.*

Pentru problemele de tip **/0/** și **/1/** sunt oferite doar răspunsuri sub formă literală și numerică, în timp ce problemele de tip **/2/** și **/3/** au indicații de rezolvare sau rezolvări complete. Culegerea conține și un număr de probleme în care se cer reprezentări grafice în aplicația ***Excel***, pe care le considerăm utile pentru înțelegerea, descrierea, modelarea și interpretarea matematică a fenomenelor termice.

Pentru rezolvarea numerică a problemelor se consideră constanta gazelor ideale $R = 8,31\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol}\cdot\mathrm{K}}$ și accelerația gravitațională $g = 10\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 10\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$.

Succes!

Prof. dr. Costin-Ionuț DOBROTĂ

Cuprins

NOȚIUNI TEORETICE

SISTEMUL INTERNAȚIONAL DE MĂRIMI ȘI UNITĂȚI

Mărimi fizice și unități de măsură fundamentale în SI

Nr. crt.	Mărime fizică fundamentală	Unitate de măsură	Simbol
1	Lungime: l, L, h, x, …	metru	m
2	Timp: t, T, τ	secundă	s
3	Masă: m, M	kilogram	kg
4	Cantitatea de substanță: ν	mol	mol
5	Temperatura termodinamică: T	Kelvin	K
6	Intensitatea curentului electric: I	Amper	A
7	Intensitatea luminoasă: I_v	candela	cd

Observație: Prin excepție, masa se măsoară în kg și nu în g, așadar gramul este submultiplu al kilogramului, și nu invers $\left(1\,\text{g} = 10^{-3}\,\text{kg}\right)$. În termodinamică, pentru a corela unitățile de măsură ale masei și cantității de substanță, se exprimă masa în **kg**, iar cantitatea de substanță ***se poate*** exprima în **kmol**.

Mărimi fizice și unități de măsură derivate din unități fundamentale ale SI (exemple)

Mărime fizică: simbol	Unitatea de măsură în SI	Unitatea de măsură exprimată în unități fundamentale ale SI
Unghiul: α	rad – radian	$\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$ (adimensional)
Arie: A, S		m^2
Volum: V		m^3
Viteză: v		m/s
Accelerație: a		m/s^2
Densitate: ρ		kg/m^3
Forță: F	Newton: N	$\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
Presiune: p	Pascal: $\text{Pa} = \text{N}\cdot\text{m}^{-2}$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$
Lucrul mecanic, energia, căldura: L, E, W, Q	Joule: $\text{J} = \text{N}\cdot\text{m}$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$
Puterea: P	Watt: $\text{W} = \text{J}\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-3}$

Unități de măsură tolerate (non-SI)

Nr. crt.	Mărime fizică	Unitatea de măsură tolerată	Unitatea de măsură exprimată în unități ale SI
1	Distanță	Ångstrom	$1Å = 10^{-10}$ m
		an – lumină	1an–lumină $= 3\cdot10^{8}$ (m/s)$\cdot365{,}25\cdot24\cdot3600$ s $= 9{,}4607304725808\cdot10^{15}$ m
2	Timp, durată	minutul	1min. = 60 s
		ora	1h = 60 min. = 3600 s
3	Masă	unitatea atomică de masă	**$1u = 1{,}66053904\cdot10^{-27}$ kg**
		tona	$1t = 10^{3}$ kg
4	Arie	hectarul	$1ha = 10^{4}$ m^{2}
5	Volum	litrul	**$1L = 10^{-3}$ m^{3}**
6	Energie, căldură	kilowatt-ora	1kWh = 3 600 000 J
		calorie	**1cal = 4,185 J**
7	Putere	cal putere	1CP = 735,49 W ≈ 736 W
8	Presiune	Atmosfera, barul	**1atm = 101.325 Pa ≈ 10^{5} Pa** **1 bar = 10^{5} Pa**
		milimetru coloană de mercur	**1mmHg ≈ 1torr = 1/760 atm ≈ 133,3 Pa**
10	Temperatură	grad Celsius	**T (K) = t (°C) +273,15**
		grad Fahrenheit	**t (°F) = (9/5)·t (°C) +32**

Submultiplii și multiplii unităților de măsură în SI

Denumire	Simbol	Factor de multiplicare
pico	**p–**	**10^{-12}**
nano	**n–**	**10^{-9}**
micro	**μ–**	**10^{-6}**
mili	**m–**	**10^{-3}**
centi	**c–**	**10^{-2}**
deci	**d–**	**10^{-1}**
deca	**da–**	**10^{1}**
hecto	**h–**	**10^{2}**
kilo	**k–**	**10^{3}**
mega	**M–**	**10^{6}**
giga	**G–**	**10^{9}**
tera	**T–**	**10^{12}**

NOȚIUNI ELEMENTARE DE CALCUL MATEMATIC

Exponenți

x^n semnifică *x* înmulțit cu el însuși de *n* ori, unde *x* se numește *baza* iar *n* este *exponentul* (de exemplu: $5^3 = 5 \cdot 5 \cdot 5 = 125$). Dacă *n* = 2, x^2 se citește „*x* pătrat”, iar dacă *n* = 3, x^3 se citește „*x* cub” (exemple: m^2 se citește „metru pătrat”, iar m^3 se citește „metru cub”). Dacă *n* = 1/2, $x^{1/2} = \sqrt{x}$ se citește „rădăcina pătrată a lui *x*”, iar dacă *n* = 1/3, $x^{1/3} = \sqrt[3]{x}$ se citește „rădăcina cubică a lui *x*”.

Reguli de calcul cu puteri

- $x^1 = x, \quad x^0 = 1, \quad x^{-1} = \dfrac{1}{x}, \quad x^{-n} = \dfrac{1}{x^n},$
- $\sqrt{x} = x^{\frac{1}{2}}, \quad \sqrt[n]{x} = x^{\frac{1}{n}},$
- Produsul a două puteri: $x^m \cdot x^n = x^{m+n}, \quad (x \cdot y)^n = x^n \cdot y^n$,
- Raportul a două puteri: $\dfrac{x^m}{x^n} = x^{m-n}, \quad \dfrac{x^n}{y^n} = \left(\dfrac{x}{y}\right)^n,$
- Puterea unei puteri: $\left(x^m\right)^n = x^{m \cdot n}$.

Notația științifică și puterile lui 10

În fizică, se întâlnesc frecvent valori numerice exprimate prin numere foarte mari sau foarte mici care se scriu folosind ***notația științifică*** sub forma unui număr zecimal cu o cifră în stânga separatorului zecimal (virgula), multiplicat cu o putere a lui 10: $a \cdot 10^b$.

Exemple:

- Unitatea atomică de masă: $1\text{u} = 1{,}66053904 \cdot 10^{-37}\,\text{kg} \simeq 1{,}66 \cdot 10^{-27}\,\text{kg}$;
- Masa electronului: $m_e = 9{,}10938291 \cdot 10^{-31}\text{kg} \simeq 9{,}1 \cdot 10^{-31}\text{kg}$;
- Numărul lui Avogadro: $N_A = 6{,}02214129 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1} \simeq 6{,}022 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}$;
- Sarcina electrică elementară: $e = 1{,}602176565 \cdot 10^{-19}\,\text{C} \simeq 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C}$.

Operații matematice cu puterile lui 10

Considerăm următoarele numere în notație științifică: $a\cdot 10^m$, $b\cdot 10^n$ și $c\cdot 10^n$.

- $\left(a\cdot 10^m\right)\cdot\left(b\cdot 10^n\right)=a\cdot b\cdot 10^{m+n}$,

  Exemplu: $\left(2,31\cdot 10^5\right)\cdot\left(3,12\cdot 10^{-16}\right)=7,21\cdot 10^{-11}$,

- $\dfrac{a\cdot 10^m}{b\cdot 10^n}=\dfrac{a}{b}\cdot 10^{m-n}$,

  Exemplu: $\dfrac{3,6\cdot 10^{12}}{7,2\cdot 10^{-2}}=0,5\cdot 10^{14}=5\cdot 10^{13}$,

- $b\cdot 10^n+c\cdot 10^n=\left(b+c\right)\cdot 10^n$,

  Exemplu: $2,4\cdot 10^5+3,1\cdot 10^6=\left(0,24+3,1\right)\cdot 10^6=3,34\cdot 10^6$,

- $b\cdot 10^n-c\cdot 10^n=\left(b-c\right)\cdot 10^n$,

  Exemplu: $2,4\cdot 10^5-3,8\cdot 10^5=\left(2,4-3,8\right)\cdot 10^5=-1,4\cdot 10^5$.

Observație: În limbaje de programare (C++, Fortran, etc.) și în aplicații (Excel, Access, etc.) notația științifică $a\cdot 10^b$ se scrie în forma „*a*E*b*” sau „*a*e*b*”. De exemplu, $6,02\cdot 10^{23}$ se scrie în forma 6,02e23, iar $1,38\cdot 10^{-23}$ se scrie în forma 1,38e–23.

Variații, variații relative, rapoarte exprimate în procente

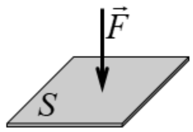
Fenomenele fizice sunt procese care se desfășoară în timp și implică variații (continue sau discrete) ale unor mărimilor fizice denumite uneori parametri sau variabile. Faptul că o mărime fizică variază înseamnă că valoarea acesteia se modifică: crește sau scade (de regulă odată cu trecerea timpului). În rezolvarea problemelor este important să punem în relații matematice informațiile referitoare la variații ale mărimilor fizice. Astfel, în cazul unei mărimi fizice notate x, dacă notăm cu x_i – valoarea inițială a mărimii fizice și cu x_f – valoarea finală a acesteia, putem întâlni următoarele exprimări:

Textul	Relația matematică	Observații	Exemple
Variația mărimii fizice *x*	$\Delta x = x_f - x_i$		„variația temperaturii este 20 K”: $\Delta T = 20\,\mathrm{K}$
***x* crește de *n* ori**	$x_f = n \cdot x_i$		„viteza crește de 3 ori”: $v = 3v_0$
***x* scade de *n* ori**	$x_f = \frac{x_i}{n}$		„înălțimea scade de 5 ori”: $h = \frac{h_0}{5}$
***x* crește cu o cantitate x_0**	$x_f = x_i + x_0$	$x_0 = \Delta x$	„presiunea crește cu 0,2 atm”: $p_2 = p_1 + \Delta p,\ \Delta p = 0,2\,\mathrm{atm}.$
***x* scade cu o cantitate x_0**	$x_f = x_i - x_0$	$x_0 = -\Delta x$	„presiunea scade cu 0,4 atm”: $p_2 = p_1 + \Delta p,\ \Delta p = -0,4\,\mathrm{atm}.$
***x* crește cu *n*% (creștere procentuală)**	$x_f = x_i + \frac{n}{100} x_i$	$n\% = \frac{n}{100}$	„volumul crește cu 25%”: $V_2 = V_1 + \frac{25}{100} V_1$
***x* scade cu *n*% (descreștere procentuală)**	$x_f = x_i - \frac{n}{100} x_i$	$n\% = \frac{n}{100}$	„energia cinetică scade cu 60%”: $E_{c2} = E_{c1} - \frac{60}{100} E_{c1}$
Variația relativă a lui *x* este variația lui *x* raportată la valoarea inițială	$\frac{\Delta x}{x_i} = \frac{x_f - x_i}{x_i}$	Se exprimă în procente	„variația relativă a lungimii (alungirea relativă) este 20%”: $\frac{\Delta l}{l_0} = 20\% \Leftrightarrow \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{20}{100}$
Viteza de variație (în timp) a lui *x*	$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$	Rata de creștere sau de scădere	„viteza de variație a temperaturii este 8 K/s”: $\frac{\Delta T}{\Delta t} = 8\frac{\mathrm{K}}{\mathrm{s}}$

PRESIUNEA

Definiția presiunii

Presiunea este mărime fizică scalară egală cu raportul dintre mărimea forței care apasă normal și uniform o suprafață și aria acestei suprafețe.

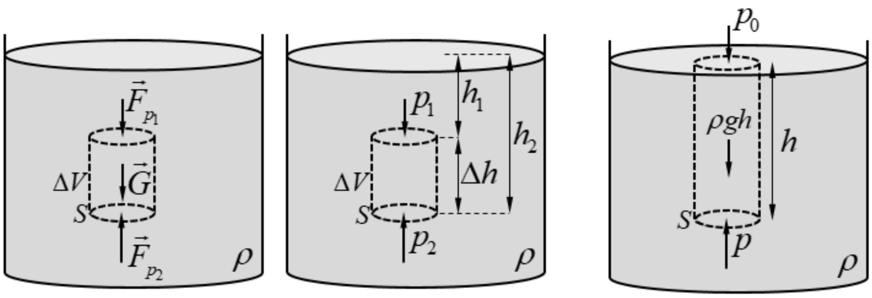


Presiunea: $p = \dfrac{F}{S}$, $[p]_{SI} = \dfrac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} = \mathrm{Pa}$ (Pascal).

Presiunea hidrostatică. Principiul fundamental al hidrostaticii

Presiunea hidrostatică este presiunea exercitată la un nivel (adâncime) într-un lichid aflat în echilibru, datorându-se greutății pe care o exercită lichidul aflat deasupra nivelului respectiv. Presiunea hidrostatică este direct proporțională cu adâncimea la care este măsurată.

În figura alăturată **(a,b)** delimităm un volum cilindric ΔV într-un lichid aflat în echilibru, volum cu aria bazei S și cu înălțimea Δh. Asupra volumului de lichid acționează forțele de presiune $F_{p1} = p_1 S$, $F_{p2} = p_2 S$ și greutatea $G = mg = \rho \Delta V g = \rho S \Delta h g$.



(a) **(b)** **(c)**

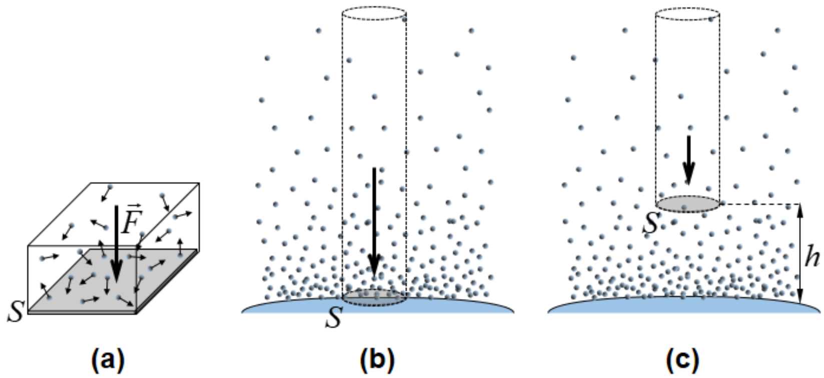
Din condiția de echilibru, $\vec{F}_{p2} + \vec{F}_{p1} + \vec{G} = 0$, obținem $F_{p2} = F_{p1} + G \Rightarrow$ $p_2 - p_1 = \rho g \Delta h$, relație numită *principiul fundamental al hidrostaticii*: *diferența de presiune între două puncte dintr-un lichid în echilibru este egală cu presiunea hidrostatică exercitată de o coloană de lichid având ca înălțime distanța dintre planele care conțin punctele respective*.

Dacă cele două puncte se află la aceeași adâncime, $\Delta h = 0$, obținem $p_2 = p_1$, deci *presiunea este aceeași în toate punctele aflate la aceeași adâncime în lichidul aflat în echilibru în câmp gravitațional*.

Dacă aplicăm principiul fundamental al hidrostaticii în cazul prezentat în figura **(c)**, obținem $p = p_0 + \rho g h$, unde p_0 este presiunea atmosferică.

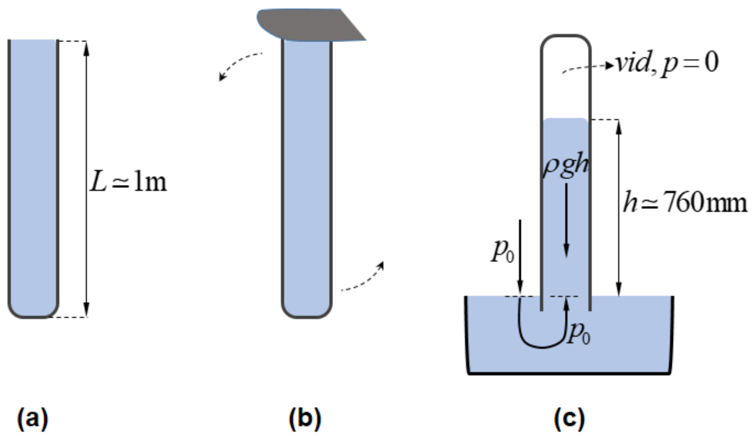
Presiunea atmosferică. Determinarea presiunii atmosferice

Presiunea unui gaz închis într-o incintă este presiunea exercitată asupra pereților incintei, datorată forțelor de impact cauzate de ciocnirile moleculelor cu pereții incintei, așa cum observăm în figura **(a)**.



Presiunea atmosferică, notată p_0, este presiunea exercitată de aerul atmosferic și poate fi aproximată, la un anumit nivel (înălțime), cu presiunea hidrostatică datorată greutății aerului atmosferic aflat deasupra acelui nivel. În figura **(b)** am delimitat o coloană de aer din atmosfera terestră care determină presiunea atmosferică la nivelul suprafeței Pământului, iar în figura **(c)** am delimitat o coloană de aer din atmosfera terestră care determină presiunea atnosferică la înălțimea *h* față de suprafeței Pământului. Presiunea atmosferică scade cu înălțimea deoarece scade numărul de molecule de aer conținute în volumul delimitat.

În figura următoare este prezentat *experimentul lui Torricelli* pentru determinarea presiunii atmosferice. Se folosește un tub cu lungimea de aproximativ un metru, închis la un capăt, numit *tub barometric* sau *tubul lui Torricelli*.



Tubul barometric se umple cu mercur (cu densitatea $\rho = 13600\,\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), apoi se astupă cu degetul, se rotește cu 180° și se introduce într-un vas cu mercur. După eliberarea capătului deschis, o parte din mercurul din tub coboară în vas, iar în tub rămâne o coloană de mercur cu înălțimea de aproximativ $760\,\text{mm}$, măsurată față de suprafața liberă a mercurului din vas. În figura **(c)** observăm că în tub, deasupra coloanei de mercur este vid ($p = 0$), iar această porțiune a tubului se numește cameră barometrică.

Dacă aplicăm principiul fundamental al hidrostaticii pentru coloana de mercur din tubul barometric, $p_0 - p = \rho gh$, unde $p = 0$, obținem presiunea atmosferică $p_0 = \rho gh$, deci presiunea atmosferică este egală cu presiunea hidrostatică a coloanei de mercur din tub. Un calcul aproximativ conduce la:

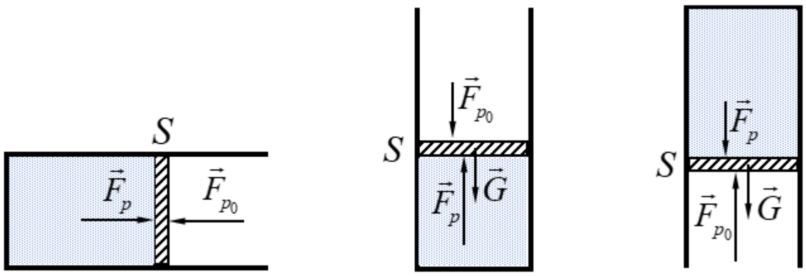
$$p_0 = \rho gh = 13600\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81\frac{\text{N}}{\text{kg}} \times 0,76\,\text{m} \simeq 1,01 \cdot 10^5\,\frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

Presiunea atmosferică normală se consideră, prin convenție, $p_0 = 1,01325 \cdot 10^5\,\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

O unitate de măsură a presiunii este *torrul*. 1 torr reprezintă presiunea datorată greutății unei coloane de mercur cu înălțimea de 1 mm, deci $1\,\text{torr} = 1\,\text{mm}\,\text{Hg} \simeq 133,3\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$, iar presiunea atmosferică normală, exprimată în torri (milimetri coloană de mercur) este $p_0 = 760\,\text{torr}$.

Presiunea gazelor închise în cilindru cu piston

Considerăm un gaz închis într-un cilindru cu piston care se poate deplasa fără frecări. În figura următoare sunt prezentate stări ale gazului în care pistonul este în echilibru mecanic (în repaus), deci forța rezultantă care acționează asupra pistonului este nulă.



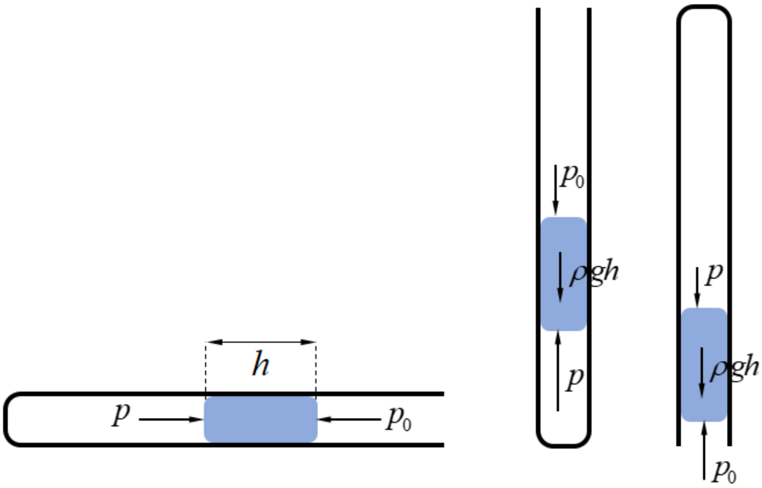
(a) **(b)** **(c)**

- Starea **(a)**: $\vec{F}_p + \vec{F}_{p0} = 0 \Rightarrow F_p = F_{p0} \Rightarrow pS = p_0 S \Rightarrow p = p_0$, presiunea gazului este egală cu presiunea atmosferică.
- Starea **(b)**: $\vec{F}_p + \vec{F}_{p0} + \vec{G} = 0 \Rightarrow F_p = F_{p0} + G \Rightarrow pS = p_0 S + Mg \Rightarrow$ $p = p_0 + \dfrac{Mg}{S}$, presiunea gazului este mai mare decât presiunea atmosferică.

- Starea **(c)**: $\vec{F}_p + \vec{F}_{p0} + \vec{G} = 0 \Rightarrow F_{p0} = F_p + G \Rightarrow p_0 S = pS + Mg \Rightarrow$ $p = p_0 - \dfrac{Mg}{S}$, presiunea gazului este mai mică decât presiunea atmosferică.

Presiunea gazelor închise în tuburi cu coloană de lichid

Considerăm un gaz închis într-un tub subțire cu ajutorul unei coloane de mercur cu lungimea h. În figura următoare sunt prezentate stări ale gazului în care coloana de mercur este în echilibru mecanic (în repaus), deci forța rezultantă care acționează asupra acesteia este nulă. Din echilibrul forțelor rezultă principiul fundamental al hidrostaticii, pe care îl vom aplica în cele trei stări prezentate în figura următoare.



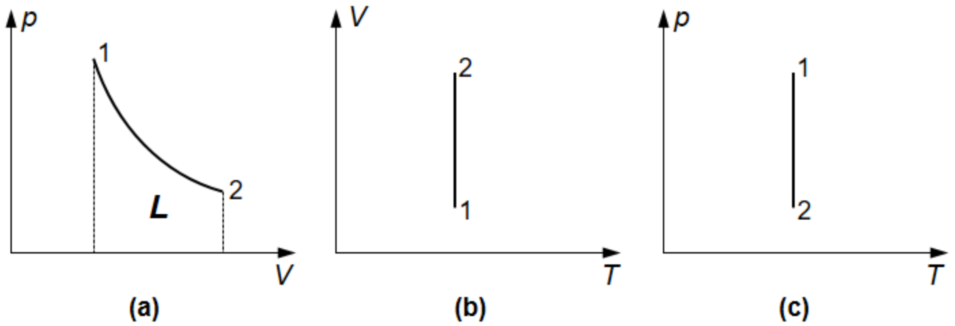
(a) **(b)** **(c)**

- Starea **(a)**: $p = p_0$, presiunea gazului este egală cu presiunea atmosferică.
- Starea **(b)**: $p - p_0 = \rho g h \Rightarrow p = p_0 + \rho g h$, presiunea gazului este mai mare decât presiunea atmosferică.
- Starea **(c)**: $p_0 - p = \rho g h \Rightarrow p = p_0 - \rho g h$, presiunea gazului este mai mică decât presiunea atmosferică.

REPREZENTĂRI GRAFICE ALE PROCESELOR TERMODINAMICE

Procesele termodinamice, numite și *transformări de stare* sunt fenomene termice în care parametrii de stare se modifică. Pentru a indica evoluția parametrilor de stare, vom folosi simboluri cu următoarele semnificații: $\nearrow$ – „crește” și respectiv $\searrow$ – „scade”.

Transformarea izotermă

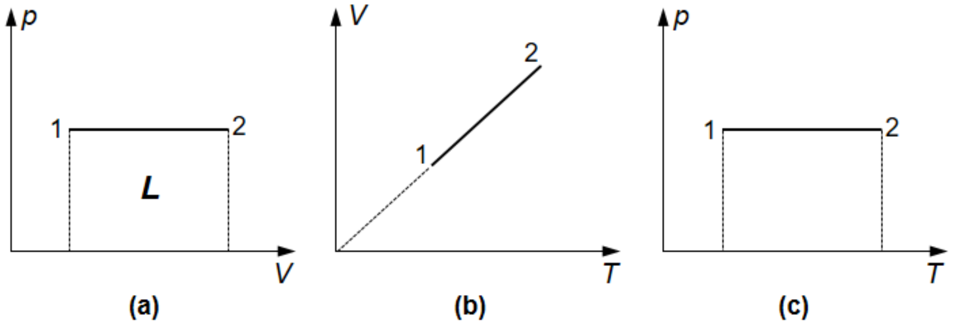


În coordonate $p-V$ se reprezintă grafic funcția $p=\dfrac{\nu RT}{V}=\dfrac{\text{const.}}{V}$ care exprimă faptul că presiunea variază invers proporțional cu volumul, iar graficul este o hiperbolă echilateră, așa cum observăm în figura **(a)**. În coordonate $V-T$ și $p-T$ graficul este segment de dreaptă perpendicular pe axa temperaturii deoarece $T=\text{const.}$, așa cum observăm în figurile **(b)** și **(c)**.

Evoluția parametrilor:

- Destindere izotermă $(1\rightarrow 2)$: $V\nearrow$, $p\searrow$, $T=\text{const.}$
- Comprimare izotermă $(2\rightarrow 1)$: $V\searrow$, $p\nearrow$, $T=\text{const.}$

Transformarea izobară

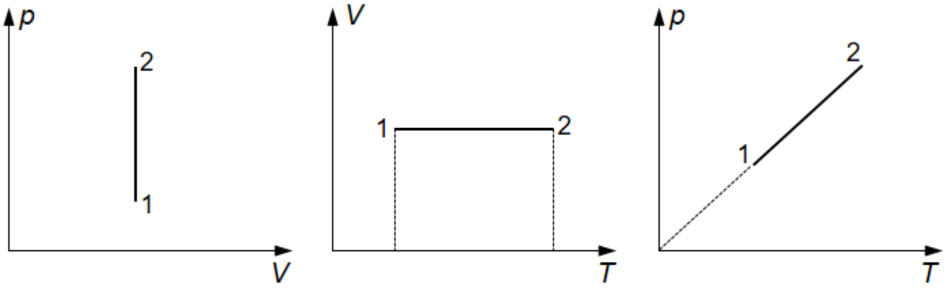


În coordonate $V-T$, în figura **(b)**, se reprezintă grafic funcția $V=\frac{\nu R}{p}T=\text{const}\cdot T$ care exprimă faptul că volumul gazului variază direct proporțional cu temperatura absolută, iar graficul este un segment situat pe o dreaptă care trece prin origine. În coordonate $p-V$ și $p-T$ graficul este segment de dreaptă perpendicular pe axa presiunii deoarece $p=\text{const.}$, așa cum observăm în figurile **(a)** și **(c)**.

Evoluția parametrilor:

- Destindere / încălzire / dilatare izobară $(1\to 2)$: $T\nearrow, V\nearrow,\ p=\text{const.}$
- Comprimare / răcire / contracție izobară $(2\to 1)$: $T\searrow,\ V\searrow,\ p=\text{const.}$

Transformarea izocoră



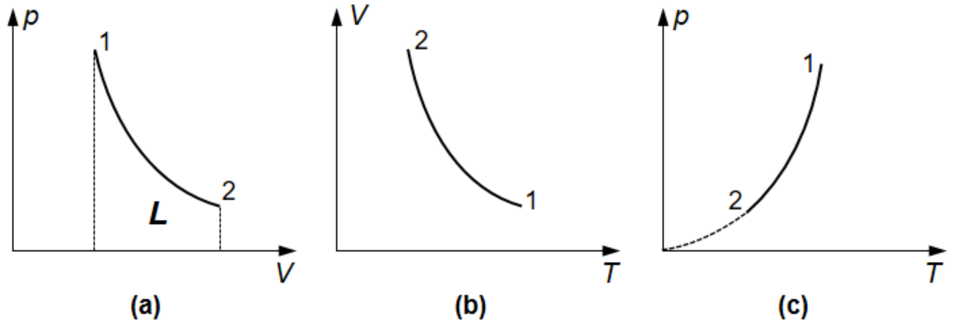
(a) (b) (c)

În coordonate $p-T$, în figura **(c)**, se reprezintă grafic funcția $p=\frac{\nu R}{V}T=\text{const}\cdot T$ care exprimă faptul că presiunea gazului variază direct proporțional cu temperatura absolută, iar graficul este un segment situat pe o dreaptă care trece prin origine. În coordonate $p-V$ și $V-T$ graficul este segment de dreaptă perpendicular pe axa volumului deoarece $V=\text{const.}$, așa cum observăm în figurile **(a)** și **(b)**.

Evoluția parametrilor:

- Încălzire izocoră $(1\to 2)$: $T\nearrow,\ p\nearrow,\ V=\text{const.}$
- Răcire izocoră $(2\to 1)$: $T\searrow,\ p\searrow,\ V=\text{const.}$

Transformarea adiabatică

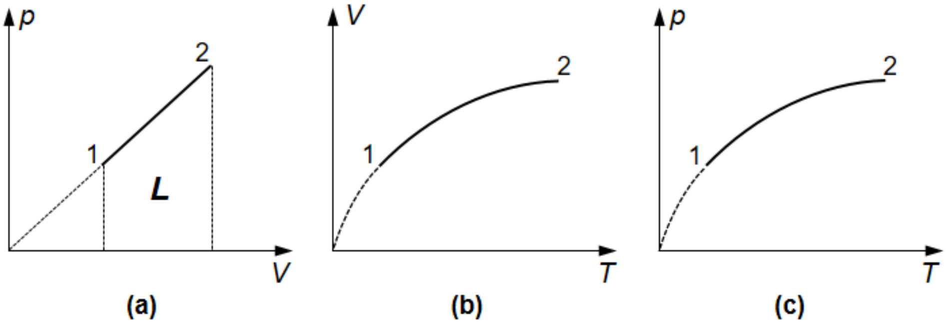


Ținem cont de faptul că exponentul adiabatic, $\gamma = \frac{C_\mathrm{p}}{C_\mathrm{V}} = 1 + \frac{R}{C_\mathrm{V}}$ este întotdeauna supraunitar. În coordonate $p - V$, în figura **(a)**, se reprezintă grafic funcția $p = \frac{\mathrm{const.}}{V^\gamma}$ care exprimă faptul că presiunea gazului variază invers proporțional cu V^γ, unde $\gamma > 1$, iar graficul are alura unei hiperbole, asemenea graficului transformării izoterme. În coordonate $V - T$, în figura **(b)**, se reprezintă grafic funcția $V = \frac{\mathrm{const.}}{T^{\frac{1}{\gamma - 1}}}$ care exprimă faptul că volumul gazului variază invers proporțional cu $T^{\frac{1}{\gamma-1}}$, unde $\frac{1}{\gamma - 1} > 1$, iar graficul are tot alura unei hiperbole. În coordonate $p - T$, în figura **(c)**, se reprezintă grafic funcția $p = \mathrm{const} \cdot T^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$, care exprimă faptul că volumul gazului variază direct proporțional cu $T^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$, unde $\frac{\gamma}{\gamma - 1} > 1$, iar graficul are alura unei parabole care trece prin origine.

<u>Evoluția parametrilor</u>:

- Destindere adiabatică $(1 \to 2)$: $V \nearrow$, $p \searrow$, $T \searrow$.
- Comprimare adiabatică $(2 \to 1)$: $V \searrow$, $p \nearrow$, $T \nearrow$.

Transformarea politropă p = aV, a = const., a > 0



În coordonate $p-V$, în figura **(a)**, se reprezintă grafic funcția $p = a \cdot V$ care exprimă faptul că presiunea gazului variază direct proporțional cu volumul, iar graficul este un segment situat pe o dreaptă care trece prin origine. În coordonate $V-T$, în figura **(b)**, se reprezintă grafic funcția $V = \sqrt{\frac{\nu RT}{a}} = \text{const} \cdot \sqrt{T}$, care exprimă faptul că volumul gazului variază cu $\sqrt{T}$, iar graficul se aseamănă cu graficul funcției radical (parabolă rotită cu 90°). În coordonate $V-T$, în figura **(c)**, se reprezintă grafic funcția $p = \sqrt{a\nu RT} = \text{const} \cdot \sqrt{T}$, care exprimă faptul că presiunea gazului variază cu $\sqrt{T}$, iar graficul se aseamănă cu graficul funcției radical (parabolă rotită cu 90°).

<u>Evoluția parametrilor</u>:

- Destindere $(1 \rightarrow 2)$: $V \nearrow$, $p \nearrow$, $T \nearrow$.
- Comprimare $(2 \rightarrow 1)$: $V \searrow$, $p \searrow$, $T \searrow$.

Observație: Lucrul mecanic efectuat într-un proces termodinamic este numeric egal cu aria de sub graficul funcției $p = f(V)$, arie considerată pozitivă dacă volumul crește și negativă dacă volumul scade.

TERMODINAMICA: RELAȚII MATEMATICE ȘI UNITĂȚI DE MĂSURĂ ÎN S.I.

Densitatea: $\rho = \frac{m}{V}$, $[\rho]_{SI} = \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$.

Presiunea: $p = \frac{F}{S}$, $[p]_{SI} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} = \mathrm{Pa}$.

Masa molară: $\mu = \frac{m}{\nu}$, $[\mu]_{SI} = \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{mol}}$.

Masa molară a unui amestec de gaze: $\bar{\mu} = \frac{m_{\text{total}}}{\nu_{\text{total}}} = \frac{\sum \nu_{\mathrm{i}}\mu_{\mathrm{i}}}{\sum \nu_{\mathrm{i}}} = \frac{\sum N_{\mathrm{i}}\mu_{\mathrm{i}}}{\sum N_{\mathrm{i}}}$.

Numărul lui Avogadro: $N_{\mathrm{A}} = \frac{N}{\nu}$, $[N_{\mathrm{A}}]_{SI} = \frac{\text{molecule}}{\mathrm{mol}} = \mathrm{mol}^{-1}$.

Volumul molar: $V_{\mu} = \frac{V}{\nu}$, $[V_{\mu}]_{SI} = \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{mol}}$.

Concentrația moleculară (numărul volumic): $n = \frac{N}{V}$, $[n]_{SI} = \frac{\text{molecule}}{\mathrm{m}^3} = \mathrm{m}^{-3}$.

Masa unei molecule: $m_0 = \frac{m}{N} = \frac{m/\nu}{N/\nu} = \frac{\mu}{N_A}$, $[m_0]_{SI} = \mathrm{kg}$.

Formula fundamentală a teoriei cinerico-moleculare*: $p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \overline{\varepsilon_{tr}}$.

Energia cinetică medie a unei molecule, în mișcarea de translație*: $\overline{\varepsilon_{tr}} = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2}$.

Media pătratelor vitezelor moleculelor*: $\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \ldots + v_N^2}{N}$.

Energia cinetică medie a unei molecule, ce revine unui grad de libertate (teorema echipartiției energiei pe grade de libertate)*: $\frac{1}{2} k_{\mathrm{B}} T$.

Numărul de grade de libertate:

- $i = 3$: gaz monoatomic (de exemplu: H, N, He, Ar, Ne);
- $i = 5$: gaz biatomic (diatomic) (de exemplu: H_2, N_2, O_2, NO);
- $i = 6$: gaz poliatomic (de exemplu: O_3, H_2O, CO_2, NO_3).

Energia cinetică medie a unei molecule*: $\bar{\varepsilon} = \frac{i}{2} k_{\mathrm{B}} T$.

Ecuația termică de stare: $p = nk_B T$ sau $pV = Nk_B T$ sau $pV = \nu RT$ sau $p\mu = \rho RT$.

Ecuația calorică de stare (energia internă a gazului ideal): $U = N\bar{\varepsilon} = \frac{i}{2}\nu RT = \nu C_V T$.

Viteza termică*: $v_T = \sqrt{\overline{v^2}}$, $v_T = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}$.

Ecuația transformării izoterme $(\nu, T - \text{constante})$: $pV = \text{cst.}$

Ecuația transformării izobare $(\nu, p - \text{constante})$: $\frac{V}{T} = \text{cst.}$

Ecuația transformării izocore $(\nu, V - \text{constante})$: $\frac{p}{T} = \text{cst.}$

Ecuația transformării generale $(\nu - \text{constantă})$: $\frac{pV}{T} = \text{cst.}$

Ecuațiile transformării adiabatice $(Q = 0)$: $pV^\gamma = \text{cst.}$, $TV^{\gamma-1} = \text{cst.}$, $Tp^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{cst.}$

Exponentul adiabatic: $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}$.

Ecuațiile transformării politrope $(C_\mu - \text{constantă})$:

$pV^n = \text{cst.}$, $TV^{n-1} = \text{cst.}$, $Tp^{\frac{1-n}{n}} = \text{cst.}$

Indicele politropic: $n = \frac{C_\mu - C_p}{C_\mu - C_V}$

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

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

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

Căldura molară la temperatură constantă (izotermă): $C_T \to \infty$

Căldura molară la volum constant (izocoră): $C_V = \frac{i}{2}R$

Căldura molară la presiune constantă (izobară): $C_p = \frac{i+2}{2}R$

Căldura molară în transformarea adiabatică: $C_{\mathrm{ad}} = 0$

Ecuația principiului I al termodinamicii: $Q = \Delta U + L,\ [Q]_{SI} = [U]_{SI} = [L]_{SI} = \mathrm{J}.$

Relația Robert-Mayer pentru călduri molare: $C_{\mathrm{p}} = C_{\mathrm{V}} + R$

Relația Robert-Mayer pentru călduri specifice: $c_{\mathrm{p}} = c_{\mathrm{V}} + \dfrac{R}{\mu}$

Lucrul mecanic în:

- transformarea izotermă: $L = \nu RT \ln\dfrac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln\dfrac{p_1}{p_2};$
- transformarea izobară: $L = p\Delta V = \nu R\Delta T;$
- transformarea izocoră: $L = 0;$
- transformarea adiabatică: $L = -\nu C_{\mathrm{V}}\Delta T.$

Căldura în:

- transformarea izotermă: $Q = \nu RT \ln\dfrac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln\dfrac{p_1}{p_2};$
- transformarea izobară: $Q = \nu C_{\mathrm{p}}\Delta T;$
- transformarea izocoră: $Q = \nu C_{\mathrm{V}}\Delta T;$
- transformarea adiabatică: $Q = 0.$

Variația energiei interne a gazului ideal, în orice transformare: $\Delta U = \nu C_{\mathrm{V}}\Delta T.$

Pentru sisteme termodinamice izolate termic (adiabatic) și mecanic:
$\Delta U = 0 \quad \Leftrightarrow \quad U_{\mathrm{initial}} = U_{\mathrm{final}}.$

În procese ciclice care descriu teoretic motoare termice:
$\Delta U_{\mathrm{ciclu}} = 0,\ Q_{\mathrm{primit}} = L + |Q_{\mathrm{cedat}}|.$

Randamentul motoarelor termic: $\eta = \dfrac{L}{Q_{\mathrm{primit}}} = 1 - \dfrac{|Q_{\mathrm{cedat}}|}{Q_{\mathrm{primit}}}.$

Randamentul ciclului Carnot: $\eta_{\mathrm{C}} = 1 - \dfrac{T_{\mathrm{rece}}}{T_{\mathrm{cald}}}.$

Ecuația calorimetrică: $\sum Q = 0 \quad \Leftrightarrow \quad Q_{\mathrm{primit}} = |Q_{\mathrm{cedat}}|.$

Puterea calorică a unui combustibil: $q = \dfrac{Q}{M},\quad [q]_{SI} = \dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{Kg}}.$

Căldura latentă specifică: $\lambda = \dfrac{Q}{m},\quad [\lambda]_{SI} = \dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{Kg}}.$

CONSTANTE ÎN TERMODINAMICĂ.

Unitatea atomică de masă: $1u \simeq 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg.

Mase atomice relative: $m_{r_{H}} = 1,\ m_{r_{He}} = 4,\ m_{r_{C}} = 12,\ m_{r_{N}} = 14,\ m_{r_{O}} = 16,\ m_{r_{Ar}} = 40.$

Masa molară a aerului: $\mu_{aer} \simeq 29 \cdot 10^{-3}\ \dfrac{kg}{mol} = 29\dfrac{g}{mol} = 29\dfrac{kg}{kmol}.$

Numărul lui Avogadro: $N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1} = 6,02 \cdot 10^{26}\,\mathrm{kmol}^{-1}.$

Volumul molar al gazelor în condiții fizice normale: $V_{\mu_0} = 22,4 \cdot 10^{-3}\dfrac{m^3}{mol} = 22,4\dfrac{m^3}{kmol}.$

Constanta lui Boltzmann: $k_B \simeq 1,38 \cdot 10^{-23}\ \dfrac{J}{K}.$

Condiții fizice normale: $p_0 = 1\,\mathrm{atm} \simeq 10^5\,\mathrm{Pa}$, $t_0 = 0\ ^{o}\mathrm{C}.$

Constanta universală a gazelor: $R = 8,31\dfrac{J}{mol \cdot K} = 8310\dfrac{J}{kmol \cdot K};\ R \simeq \dfrac{25}{3}\dfrac{J}{mol \cdot K}.$

Presiunea atmosferică normală: $p_0 = 101325\,\mathrm{Pa} \simeq 10^5\,\mathrm{Pa}.$

O atmosferă: $1\,\mathrm{atm} = 101325\,\mathrm{Pa} \simeq 10^5\,\mathrm{Pa}.$

Torr: $1\,\mathrm{torr} \simeq 1\,\mathrm{mm\,Hg} \simeq 133,33\,\mathrm{Pa}.$

Bar: $1\,\mathrm{bar} = 10^5\,\mathrm{Pa}.$

Accelerația gravitațională: $g = 9,81\dfrac{m}{s^2} \simeq 10\dfrac{m}{s^2} = 10\dfrac{N}{kg}.$

Densitatea apei: $\rho_{H_2O} = 10^3\ \dfrac{kg}{m^3} = 1\dfrac{g}{cm^3} = 1\dfrac{kg}{L}.$

Densitatea gheții la $0\ ^{o}\mathrm{C}$: $\rho_{gheată} = 917\dfrac{kg}{m^3} = 0,917\dfrac{g}{cm^3} = 0,917\dfrac{kg}{L}.$

Densitatea mercurului: $\rho_{Hg} = 1,36 \cdot 10^4\ \dfrac{kg}{m^3} = 13,6\dfrac{g}{cm^3} = 13,6\dfrac{kg}{L}.$

STRUCTURA SUBSTANȚEI. ECUAȚIA DE STARE. TRANSFORMĂRI PARTICULARE

MĂRIMI FIZICE CARACTERISTICE STRUCTURII SUBSTANȚEI

Mărimi fizice. Formule elementare

1. **/0/** Aflați numărul de molecule conținute într-o cantitate $\nu = 2\,\text{moli}$ de azot molecular $\left(N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,\text{mol}^{-1}\right)$.

2. **/0/** Calculați numărul de moli conținuți în: **a.** 3,6 kg de apă, **b.** 1,28 kg de oxigen, **c.** 0,22 kg de bioxid de carbon. Se cunosc masele atomice relative: $m_{r_H} = 1,\ m_{r_O} = 16,\ m_{r_C} = 12$.

3. **/0/** Calculați numărul de molecule și numărul de atomi care se află într-o masă $m = 72$ g de apă $\left(\mu = 18\,\text{g/mol},\ N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,\text{mol}^{-1}\right)$.

4. **/0/** Să se afle masa moleculei și a atomului de: **a.** hidrogen, **b.** azot. Se cunosc masele atomice relative: $m_{r_H} = 1,\ m_{r_N} = 14$ și $N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,\text{mol}^{-1}$.

5. **/0/** Calculați numărul de moli conținuți în 90 mL de apă $\left(\mu = 18\,\text{g/mol}\right)$, cunoscând densitatea apei, $\rho = 10^3\,\text{kg/m}^3$.

6. **/0/** Să se afle densitatea amoniacului gazos (NH_3) aflat în condiții fizice normale de temperatură și presiune $\left(\mu = 17\,\text{g/mol},\ V_{\mu_0} = 22,4\,\text{L/mol}\right)$.

7. **/0/** Într-un vas se află 40 g de heliu $\left(\mu = 4\,\text{g/mol}\right)$ în condiții fizice normale $\left(V_{\mu_0} = 22,4\,L/\text{mol}\right)$. Aflați volumul vasului.

8. **/0/** Să se afle densitatea aerului și masa de aer dintr-o încăpere cu volumul $V = 30\ \text{m}^3$, în condiții fizice normale. Se cunosc: $\mu_{\text{aer}} \simeq 29\,\text{g/mol}$ și $V_{\mu_0} = 22,4\,\text{L/mol}$.

9. **/0/** Calculați densitatea oxigenului $\left(\mu = 32\,\text{g/mol}\right)$ dintr-un balon, știind că numărul de molecule de oxigen din unitatea de volum este $n = 3,01 \cdot 10^{25}\,\text{m}^{-3}$ $\left(N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,\text{mol}^{-1}\right)$.

10. **/0/** Într-un balon de află $m = 1,6$ kg de oxigen molecular $\left(\mu = 32\,\text{g/mol}\right)$ în condiții fizice normale $\left(V_{\mu_0} = 22,4\,L/\text{mol}\right)$. Cunoscând $N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,\text{mol}^{-1}$, calculați:

a. numărul de moli de oxigen;
b. numărul de molecule de oxigen;
c. volumul balonului.

11. /0/ Calculați numărul de molecule conținute într-un volum de 10 m^3 de dioxid de carbon (CO_2), cunoscând densitatea gazului $\rho = 2,2\,kg/m^3$. Se cunosc masele atomice relative: $m_{r_C} = 12$, $m_{r_O} = 16$ și $N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,mol^{-1}$.

12. /0/ Într-un recipient de volum 10 L se află $12,04 \cdot 10^{22}$ molecule de azot. Cunoscând masa atomică relativă a azotului, $m_{r_N} = 14$ și $N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,mol^{-1}$, aflați:
a. numărul de molecule de azot din unitatea de volum;
b. densitatea azotului din recipient.

13. /0/ Calculați concentrația moleculară a oricărui gaz (numărul volumic) aflat în condiții fizice normale (numărul lui Loschmidt). Se cunosc $N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,mol^{-1}$ și $V_{\mu_0} = 22,4\,L/mol$.

14. /1/ Să se calculeze lungimea unui „lanț molecular” care s-ar obține dacă moleculele conținute în $m = 1$ g de apă s-ar așeza în linie, una în contact cu alta. Se consideră că moleculele sunt sferice, având diametrul $d = 3,8 \cdot 10^{-10}\,m$. Se cunosc: $\mu = 32\,g/mol$ și $N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,mol^{-1}$.

15. /2/ Să se afle distanța medie dintre moleculele unui gaz aflat în condiții fizice normale (distanța medie dintre două molecule vecine). Se cunosc $N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,mol^{-1}$ și $V_{\mu_0} = 22,4\,L/mol$.

16. /2/ Să se determine a câta parte din volumul ocupat de un gaz, în condiții fizice normale, reprezintă volumul moleculelor acelui gaz. Se consideră că moleculele sunt sferice, având diametrul $d = 10^{-10}\,m$. Se cunosc $N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,mol^{-1}$ și $V_{\mu_0} = 22,4\,L/mol$.

Amestecuri de gaze. Masă molară medie

17. /1/ Un amestec de gaze conține 8 moli de hidrogen $(\mu_1 = 2\,g/mol)$ și 2 moli de azot $(\mu_2 = 28\,g/mol)$. Calculați masa molară medie a amestecului de gaze.

18. /1/ Un amestec de gaze conține $14 \cdot 10^{27}$ molecule de hidrogen $(\mu_1 = 2\,g/mol)$ și $6 \cdot 10^{27}$ molecule de oxigen $(\mu_2 = 32\,g/mol)$. Calculați masa molară medie a amestecului.

19. /1/ O butelie conține cantități egale de oxigen atomic și oxigen molecular $(\mu_{O_2} = 32\,g/mol)$. Calculați masa molară medie a amestecului din butelie.

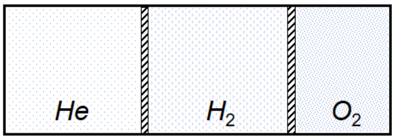
20. /1/ Un amestec de gaze conține 4 g de hidrogen molecular, 14 g de hidrogen atomic, 64 g de oxigen molecular și 32 g de oxigen atomic. Calculați masa molară medie a amestecului. Se cunosc masele atomice relative: $m_{r_H} = 1$, $m_{r_O} = 16$.

21. /1/ Masele molare ale unor substanțe biatomice sunt μ_1 și μ_2. Aflați masa molară a substanței a cărei moleculă este formată din doi atomi de tipul celor care formează molecula primei substanțe și trei atomi de tipul celor care formează molecula celei de-a doua substanțe.

22. /1/ Se amestecă mase egale de azot $(\mu_1 = 28\,\mathrm{g/mol})$ și hidrogen $(\mu_1 = 2\,\mathrm{g/mol})$. Aflați masa molară medie a amestecului.

23. /1/ Se amestecă oxigen $(\mu_{O_2} = 32\,\mathrm{g/mol})$ și azot $(\mu_{N_2} = 28\,\mathrm{g/mol})$ cu scopul de a obține gaz cu masa molară medie $\bar{\mu} = 29\,\mathrm{g/mol}$ (masa molară aproximativă a aerului). Aflați:
a. raportul cantităților de substanță;
b. raportul maselor gazelor amestecate.

24. /1/ Cilindrul din figura alăturată este împărțit în trei compartimente prin pereți imobili. Primul compartiment, de volum $V_1 = 10\,\mathrm{L}$, conține heliu $(\mu_{He} = 4\,\mathrm{g/mol})$ cu densitatea $\rho_1 = 2\,\mathrm{kg/m^3}$. Compartimentul central conține o masă $m_2 = 6\,\mathrm{g}$ de hidrogen $(\mu_{H_2} = 2\,\mathrm{g/mol})$, iar cel de-al treilea compartiment conține $N_3 = 12,04 \cdot 10^{23}$ molecule de oxigen $(\mu_{O_2} = 32\,\mathrm{g/mol})$. Cunoscând $N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,\mathrm{mol^{-1}}$, aflați:



a. numărul de atomi de heliu din primul compartiment;
b. numărul de molecule de hidrogen din cel de-al doilea compartiment;
c. masa de oxigen din cel de-al treilea compartiment;
d. masa molară a amestecului de gaze obținut după înlăturarea pereților despărțitori.

Disociația moleculelor

25. /2/ Într-un rezervor se află $\nu_0 = 10\,\mathrm{kmol}$ de hidrogen molecular. Rezervorul este încălzit până la o temperatură la care $\alpha = 30\%$ din numărul de molecule disociază în atomi de hidrogen. Aflați noua cantitatea de substanță din rezervor.

26. /2/ Într-un balon meteorologic se află $N_0 = 2,5 \cdot 10^{24}$ molecule de ozon (O_3). Dacă $\alpha = 20\%$ din numărul de molecule disociază în atomi de oxigen, aflați:

a. numărul total de particule (molecule și atomi) din balon;
b. cantitatea totală de substanță din balon $\left(N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23} \text{mol}^{-1}\right)$.

27. /2/ Calculați masa molară medie a oxigenului care, la temperaturi înalte, a disociat în proporție de $\alpha = 60\%$. Se cunoaște masa molară a oxigenului biatomic $\mu_{O_2} = 32 \text{ g/mol}$.

28. /3/ Calculați masa molară a amestecului obținut prin transformarea unui procent $\alpha = 40\%$ de ozon (O_3) în oxigen (O_2). Se cunoaște masa molară a oxigenului biatomic $\mu_{O_2} = 32 \text{ g/mol}$.

29. /3/ O cantitate $\nu_0 = 1 \text{mol}$ de ozon (O_3) disociază astfel: $\alpha_1 = 10\%$ din numărul de molecule se transformă conform ecuației $O_3 \rightarrow O_2 + O$, iar $\alpha_2 = 25\%$ din numărul de molecule disociază conform ecuației $O_3 \rightarrow 3O$. Se cunoaște masa molară a oxigenului atomic $\mu = 16 \text{ g/mol}$. Calculați:
a. masa molară a amestecului obținut în urma disocierii;
b. cantitatea de gaz monoatomic din amestec.

TEORIA CINETICO-MOLECULARĂ*

30. /0/ Un balon conține o cantitate hidrogen $(\mu = 2 \text{ g/mol})$ la presiunea $p = 1,8 \text{ atm}$. Energia cinetică medie a unei molecule de gaz este $\bar{\varepsilon}_{tr} = 6 \cdot 10^{-22}$ J. Aflați:
a. numărul de molecule de hidrogen din unitatea de volum;
b. densitatea hidrogenului din balon $\left(N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}\right)$.

31. /0/ Energia cinetică medie în mișcarea de translație a tuturor moleculelor conținute într-un cilindru cu volumul $V = 8 \text{ L}$ este $\bar{E}_c = 12 \text{ kJ}$. Aflați presiunea gazului.

32. /0/ Un balon conține o cantitate de heliu $(\mu = 4 \text{ g/mol})$, având densitatea $\rho = 1,6 \text{ kg/m}^3$ și presiunea $p_0 = 1,2 \text{ atm}$. Aflați energia cinetică medie în mișcarea de translație a unui atom de heliu $\left(N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}\right)$.

33. /0/ Calculați energia cinetică medie în mișcarea de translație a unei molecule de oxigen (O_2) dintr-un recipient aflat la temperatura $t = -73\,^{\circ}\text{C}$ $\left(k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}\right)$.

34. /0/ Un balon conține un amestec de heliu (He), azot (N_2) și dioxid de carbon (CO_2) la temperatura $t = -73\,^{\circ}\mathrm{C}$. Calculați energia cinetică medie a fiecărei molecule din amestec $\left(k_{\mathrm{B}} = 1,38 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{J/K}\right)$.

35. /0/ O incintă care conține azot a fost vidată până la presiunea $p = 8 \cdot 10^{-15}\ \mathrm{atm}$, la temperatura $T = 300\,\mathrm{K}$. Aflați numărul de molecule de azot din unitatea de volum $\left(k_{\mathrm{B}} = 1,38 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{J/K}\right)$.

36. /0/ Aflați numărul de molecule de gaz dintr-un recipient cu volumul $V = 6,9\,\mathrm{L}$ dacă presiunea gazului este $p = 3\mathrm{atm}$, la temperatura $T = 300\,\mathrm{K}$. Se cunoaște $k_{\mathrm{B}} = 1,38 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{J/K}$.

37. /0/ Aflați viteza termică a moleculelor de azot $\left(\mu = 28\,\mathrm{g/mol}\right)$ la temperatura $t = 7\,^{\circ}\mathrm{C}$. Se cunoaște $R = 8,31\,\mathrm{J/(mol \cdot K)}$.

38. /0/ Un recipient conține un amestec de oxigen $\left(\mu_1 = 32\,\mathrm{g/mol}\right)$ și heliu $\left(\mu_2 = 4\,\mathrm{g/mol}\right)$. Aflați raportul vitezelor pătratice medii ale celor două gaze.

39. /0/ O cantitate de oxigen $\left(\mu = 32\,\mathrm{g/mol}\right)$ are densitatea $\rho = 1,2\,\mathrm{kg/m^3}$ și viteza termică a moleculelor $v_{\mathrm{T}} = 600\,\mathrm{m/s}$. Cunoscând $R = 8,31\,\mathrm{J/(mol \cdot K)}$, calculați:
a. presiunea la care se află oxigenul;
b. temperatura gazului.

40. /0/ Un recipient menținut la temperatură constantă, la presiunea $p = 3\mathrm{atm}$, conține o cantitate de heliu $\left(\mu = 4\,\mathrm{g/mol}\right)$, având numărul de molecule din unitatea de volum $n = 24,08 \cdot 10^{25}\ \mathrm{m^{-3}}$. Cunoscând $N_{\mathrm{A}} = 6,02 \cdot 10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$ și $k_{\mathrm{B}} = 1,38 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{J/K}$, calculați:
a. densitatea heliului din recipient
b. viteza termică a moleculelor de heliu.
c. temperatura absolută la care este menținut recipientul.

41. /1/ Viteza termică a moleculelor de dioxid de carbon $\left(\mu = 44\,\mathrm{g/mol}\right)$ este $v_{\mathrm{T}} = 500\,\mathrm{m/s}$. Cunoscând $N_{\mathrm{A}} = 6,02 \cdot 10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$, aflați energia cinetică medie a unei molecule de dioxid de carbon (CO_2).

42. /1/ Un recipient care conține azot $\left(\mu = 28\,\mathrm{g/mol}\right)$ este încălzit astfel încât viteza termică a moleculelor crește de la $v_{\mathrm{T1}} = 500\,\mathrm{m/s}$ până la $v_{\mathrm{T2}} = 600\,\mathrm{m/s}$. Cunoscând $R = 8,31\,\mathrm{J/(mol \cdot K)}$, aflați cu câte grade Celsius a fost încălzit recipientul.

43. /1/ O cantitate de gaz ideal menținut la *temperatură constantă* se destinde astfel încât volumul crește de 2 ori. Aflați de câte ori crește sau scade:

concentrația moleculară, densitatea, presiunea, viteza termică și energia cinetică medie a unei molecule de gaz.

44. /1/ O cantitate de gaz ideal menținut la *presiune constantă* se încălzește astfel încât temperatura absolută crește de 2 ori. Aflați de câte ori crește sau scade: concentrația moleculară, densitatea, volumul, viteza termică și energia cinetică medie a unei molecule de gaz.

45. /1/ O cantitate de gaz ideal menținut la *volum constant* se încălzește astfel încât temperatura absolută crește de 2 ori. Aflați de câte ori crește sau scade: concentrația moleculară, densitatea, presiunea, viteza termică și energia cinetică medie a unei molecule de gaz.

46. /0/ Calculați energia internă a unei cantități $\nu = 30\,\text{moli}$ de hidrogen $(\mu = 2\,\text{g/mol})$ știind că viteza termică a moleculelor de hidrogen este $v_T = 400\,\text{m/s}$.

47. /0/ Un recipient conține un amestec format din mase egale de hidrogen $(\mu_1 = 2\,\text{g/mol})$ și oxigen $(\mu_2 = 32\,\text{g/mol})$. Aflați:

a. raportul vitezelor pătratice medii ale celor două gaze;
b. raportul energiilor interne ale celor două gaze din amestec.

48. /1/ Un cilindru cu piston mobil conține o cantitate de gaz ideal biatomic, având volumul $V_1 = 2\,\text{L}$ și presiunea $p_1 = 1\,\text{atm}$. Gazul este adus într-o nouă stare în care are volumul $V_2 = 1\,\text{L}$ și presiunea $p_2 = 4\,\text{atm}$. Aflați:

a. variația relativă a energiei cinetice medii a unei molecule de gaz;
b. variația relativă a vitezei termice a moleculelor gazului;
c. variația energiei interne a gazului între cele două stări.

ECUAȚIA TERMICĂ DE STARE

Sisteme termodinamice închise

49. /0/ Un rezervor conține $m = 0,28\,\text{kg}$ de azot $(\mu_{N_2} = 28\,\text{g/mol})$ la presiunea $p = 3\,\text{atm}$ și temperatura $t = 27\,^{\circ}\text{C}$. Aflați cantitatea de azot din rezervor și volumul rezervorului.

50. /0/ O cantitate de gaz ideal, aflat la temperatura $t = 27\,^{\circ}\text{C}$ și presiunea $p = 7,5\,\text{atm}$, are densitatea $\rho = 1,21\,\text{kg/m}^3$. Specificați tipul gazului.

51. /0/ Se amestecă 1,2 moli de H_2 cu 0,8 moli de O_2 într-un recipient de volum 8,31 L, aflat la temperatura 27˚C. Aflați presiunea amestecului de gaze.

52. /0/ În două rezervoare identice se găsesc mase egale de heliu $(\mu_{He} = 4\,g/mol)$ și argon $(\mu_{Ar} = 40\,g/mol)$, la aceeași temperatură. Aflați raportul presiunilor celor două gaze.

53. /0/ Două butelii identice conțin aceeași masă de gaz, prima de hidrogen $(\mu_{H_2} = 2\,g/mol)$ la temperatura $T_1 = 300\,K$, iar a doua oxigen $(\mu_{O_2} = 32\,g/mol)$ la temperatura $T_2 = 400\,K$. Aflați raportul presiunilor celor două gaze.

54. /0/ Un gaz aflat în condiții normale de temperatură și presiune, la temperatura T_0 și presiunea p_0, are densitatea $\rho_0 = 1,2\,kg/m^3$. Aflați densitatea gazului la temperatura $T = 2T_0$ și presiunea $p = 3p_0$.

55. /1/ Un cilindru orizontal este împărțit în două compartimente de un piston ușor care se poate deplasa fără frecări. Într-un compartiment se află $m_1 = 40\,g$ de heliu $(\mu_{He} = 4\,g/mol)$, iar în celălalt $m_2 = 80\,g$ de hidrogen $(\mu_{H_2} = 2\,g/mol)$, la aceeași temperatură. Ce fracțiune din volumul cilindrului ocupă heliul?

56. /1/ Un vas cilindric orizontal cu lungimea $l = 72\,cm$ este împărțit în două compartimente printr-un piston de masă neglijabilă, care se poate mișca etanș fără frecări. Într-un compartiment se introduce o masă de oxigen $(\mu_{O_2} = 32\,g/mol)$, iar în celălalt compartiment aceeași masă de heliu $(\mu_{He} = 4\,g/mol)$, la aceeași temperatură. Aflați lungimea compartimentului în care se află oxigenul.

57. /1/ Un vas cilindric vertical conține oxigen $(\mu = 32\,g/mol)$, la temperatura $t = 47\,^{o}C$. Vasul este închis de un piston care se poate deplasa fără frecare, având masa $M = 10\,kg$ și suprafața $S = 100\,cm^2$. Aflați masa de oxigen din cilindru dacă pistonul se află la înălțimea $h = 16,62\,cm$. Se cunoaște presiunea atmosferică normală, $p_0 = 10^5\,N/m^2$.

58. /1/ Într-un cilindru vertical închis, de înălțime $h = 60\,cm$, se află în echilibru la jumătatea cilindrului un piston subțire, mobil, fără frecare, cu masa $M = 8,31\,kg$. În compartimentul inferior se află $m_1 = 80\,mg$ de hidrogen $(\mu_{H_2} = 2\,g/mol)$, iar în compartimentul superior se află oxigen $(\mu_{O_2} = 32\,g/mol)$, temperatura ambelor gaze fiind $t = 27\,^{o}C$. Aflați masa de oxigen din compartimentul superior.

Amestecuri de gaze

59. /1/ Un vas conține $m = 16\,\mathrm{g}$ de oxigen $\left(\mu_{O_2} = 32\,\mathrm{g/mol}\right)$ și $N = 9,03 \cdot 10^{23}$ molecule din alte gaze, la temperatura $t = 27\,^{\circ}\mathrm{C}$ și presiune atmosferică normală. Cunoscând $N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,\mathrm{mol^{-1}}$, aflați:
a. volumul vasului;
b. numărul de molecule de oxigen din unitatea de volum.

60. /1/ Aflați densitatea unui amestec format din $m_1 = 4\,\mathrm{g}$ de heliu $\left(\mu_{He} = 4\,\mathrm{g/mol}\right)$ și $m_2 = 8\,\mathrm{g}$ de argon $\left(\mu_{Ar} = 40\,\mathrm{g/mol}\right)$, la temperatura $t = 27\,^{\circ}\mathrm{C}$ și presiunea $p = 2,5\,\mathrm{atm}$.

61. /1/ În două baloane cu volumele $V_1 = 6\,\mathrm{L}$ și $V_2 = 8\,\mathrm{L}$ se află gaze diferite la presiunile $p_1 = 8\,\mathrm{atm}$, respectiv $p_2 = 1\,\mathrm{atm}$, la aceeași temperatură. Aflați presiunea care se stabilește după ce baloanele se pun în legătură printr-un tub de volum neglijabil.

62. /1/ Două vase cu volumele $V_1 = 6\,\mathrm{L}$ și $V_2 = 4\,\mathrm{L}$ conțin gaze diferite la presiunile $p_1 = 1,5\,\mathrm{atm}$, respectiv $p_2 = 3\,\mathrm{atm}$. Vasele sunt menținute permanent la temperaturile $t_1 = 27\,^{\circ}\mathrm{C}$, respectiv $t_2 = 127\,^{\circ}\mathrm{C}$. Aflați presiunea care se stabilește după ce vasele se pun în legătură printr-un tub de volum neglijabil.

63. /1/ Două baloane identice conțin gaze diferite la presiunile $p_1 = 1,5\,\mathrm{atm}$, respectiv $p_2 = 2,9\,\mathrm{atm}$ și temperaturile $t_1 = 27\,^{\circ}\mathrm{C}$, respectiv $t_2 = 17\,^{\circ}\mathrm{C}$. Baloanele se pun în legătură printr-un tub de volum neglijabil și se încălzesc până la temperatura $t = 127\,^{\circ}\mathrm{C}$. Aflați presiunea finală a amestecului de gaze.

Reacții chimice, disociație

64. /2/ Într-o butelie se află, la presiune atmosferică normală și la temperatura $t_1 = 27\,^{\circ}\mathrm{C}$, un amestec care conține N_0 atomi de carbon (C) și $3N_0$ molecule de oxigen (O_2). Se încălzește butelia până la temperatura $t_2 = 227\,^{\circ}\mathrm{C}$ la care toți atomii de carbon au reacționat cu molecule de oxigen formând molecule de dioxid ce carbon (CO_2). Cunoscând $N_A \simeq 6,02 \cdot 10^{23}\,\mathrm{mol^{-1}}$, aflați presiunea finală a amestecului de gaze din butelie.

65. /2/ O masă de azot molecular ocupă volumul $V_1 = 1\,\mathrm{m^3}$ la temperatura $T_1 = 250\,\mathrm{K}$ și presiunea $p_1 = 2\,\mathrm{atm}$. Ce presiune va avea gazul dacă ocupă volumul $V_2 = 5\,\mathrm{m}^3$ la temperatura $T_2 = 5000\,\mathrm{K}$ la care toate moleculele de azot au disociat.

66. /2/ O butelie conține oxigen (O_2) și azot (N_2). La o anumită temperatură, T, și presiune, p, oxigenul este complet disociat în atomi iar azotul nu. La temperatura $2T$, și presiunea $3p$, ambele gaze sunt complet disociate. Aflați raportul dintre numărul inițial de moli de oxigen și numărul inițial de moli de azot, ν_1/ν_2.

67. /2/ O butelie conține o cantitate de hidrogen molecular la temperatura $T_1 = 300\,\mathrm{K}$ și presiunea $p_1 = 1\,\mathrm{atm}$. Ce presiune va avea gazul la temperatura $T_2 = 3000\,\mathrm{K}$ la care au disociat $\alpha = 60\%$ din numărul inițial de molecule.

Sisteme termodinamice deschise sau cu masă variabilă

68. /1/ Într-un balon deschis se află $m_1 = 200\,\mathrm{g}$ de gaz la temperatura $t_1 = -3\,^\circ\mathrm{C}$. Balonul se încălzește până la temperatura $t_2 = 27\,^\circ\mathrm{C}$. Să se calculeze masa gazului care a ieșit din balon.

69. /1/ O butelie a fost umplută cu $m_1 = 6\,\mathrm{kg}$ de gaz la presiunea $p_1 = 6\,\mathrm{atm}$. Aflați masa de gaz care s-a consumat din butelie dacă presiunea a scăzut la $p_2 = 2\,\mathrm{atm}$, la aceeași temperatură.

70. /1/ Presiunea azotului $(\mu = 28\,\mathrm{g/mol})$ dintr-o butelie de volum $V = 41{,}55\,\mathrm{L}$ scade cu $\Delta p = 5\,\mathrm{atm}$ prin deschiderea robinetului buteliei, temperatura menținându-se constantă, $t = 7\,^\circ\mathrm{C}$. Aflați masa de azot care a ieșit din butelie.

71. /1/ Într-un recipient închis prevăzut cu un robinet se află un gaz la presiunea $p_1 = 8\,\mathrm{atm}$ și temperatura $t_1 = 27\,^\circ\mathrm{C}$. Aflați presiunea gazului rămas în recipient dacă, după deschiderea robinetului, a ieșit afară o fracțiune $f = 25\%$ din masa gazului și temperatura a scăzut la $t_2 = 7\,^\circ\mathrm{C}$.

72. /1/ Un cuptor de aragaz este încălzit de la $t_1 = 27\,^\circ\mathrm{C}$ până la $t_2 = 927\,^\circ\mathrm{C}$. Aflați cât la sută din masa de aer iese afară din cuptor.

73. /1/ La o aspirație, un om trage în plămâni o masă $m_1 = 1\,\mathrm{g}$ de aer la presiune atmosferică normală, $p_0 = 10^5\,\mathrm{N/m^2}$, și la temperatura $t_1 = 27\,^\circ\mathrm{C}$. Aflați masa de aer pe care o va aspira omul pe vârful unui munte unde presiunea este $p_2 = 71\,\mathrm{kPa}$ la temperatura $t_2 = 7\,^\circ\mathrm{C}$.

74. /1/ Aerul dintr-o sală de clasă este încălzit de la $t_1 = 17\ ^{\circ}\mathrm{C}$ până la $t_2 = 27\ ^{\circ}\mathrm{C}$. Aflați variația relativă a numărului de molecule de aer din sala de clasă.

75. /1/ Un cilindru orizontal de lungime $L = 1\mathrm{m}$ este împărțit în două compartimente de lungimi egale printr-un piston subțire, mobil, fără frecări. În cele două compartimente se află mase egale din același gaz, la aceeași temperatură. Se transferă dintr-un compartiment în celălalt o masă de gaz egală cu o fracțiune $f = 40\%$ din masa inițială de gaz aflată într-un compartiment. Știind că temperatura se menține aceeași, aflați distanța pe care se deplasează pistonul.

76. /1/ Un balon de sticlă închis conține $m = 87\mathrm{g}$ de aer $(\mu \simeq 29\mathrm{g/mol})$ la presiunea atmosferică normală, $p_0 = 10^5\ \mathrm{N/m^2}$. Se adaugă apoi în balon o cantitate $\Delta\nu = 4{,}5\mathrm{mol}$ de aer. Temperatura balonului și a aerului din balon rămâne mereu aceeași, $t = 27\ ^{\circ}\mathrm{C}$. Aflați:

a. presiunea aerului din balon după adăugarea cantității suplimentare de aer;
b. variația densității aerului din balon.

77. /1/ Două baloane identice, care comunică printr-un tub de volum neglijabil, conțin același gaz, la aceeași temperatură. Temperatura unui balon crește de n ori, iar temperatura celuilalt balon scade de n ori. Știind că $n = 2$, aflați fracțiunea din masa inițială de gaz dintr-un balon care trece în celălalt balon.

TRANSFORMĂRI PARTICULARE ALE GAZULUI IDEAL

Transformarea izotermă

78. /0/ Știind că o cantitate $\nu = 2\mathrm{kmol}$ de gaz ideal suferă o transformare la temperatura $T = 300\ \mathrm{K}$, de ecuație $p \cdot V = k$, aflați valoarea constantei k și unitatea ei de măsură.

79. /0/ Într-o destindere izotermă, volumul gazului crește de $n = 3$ori iar presiunea scade cu $\Delta p = 2\,\mathrm{atm}$. Aflați presiunea inițială a gazului.

80. /0/ Un gaz, menținut la temperatură constantă, este comprimat astfel încât volumul se micșorează cu $f = 60\%$. Dacă inițial gazul s-a aflat la presiune atmosferică normală, aflați presiunea gazului comprimat.

81. /0/ Într-o comprimare izotermă, presiunea gazului crește cu $f = 25\%$. Cu cât la sută scade volumul gazului?

82. /1/ O bulă de aer cu raza $r_0 = 1\mathrm{mm}$ s-a format pe fundul unui lac la adâncimea $H = 90\,\mathrm{m}$. Se consideră că temperatura apei este constantă în timp

RĂSPUNSURI, INDICAȚII ȘI REZOLVĂRI

1. /0/ $N = \nu \cdot N_A = 12,04 \cdot 10^{23}$.

2. /0/ $\nu = \dfrac{m}{\mu}$; **a.** $\nu = 200\,\text{moli}$; **b.** $\nu = 40\,\text{moli}$; **c.** $\nu = 5\,\text{moli}$.

3. /0/ $N = \dfrac{mN_A}{\mu} = 24,08 \cdot 10^{23}$; $N_{at.} = 3N = 72,24 \cdot 10^{23}$.

4. /0/ $m_0 = \mu / N_A$; **a.** $m_{0H_2} \simeq 3,32 \cdot 10^{-27}\,\text{kg}$, $m_{0H} \simeq 1,66 \cdot 10^{-27}\,\text{kg}$;
b. $m_{0N_2} \simeq 4,65 \cdot 10^{-26}\,\text{kg}$, $m_{0N} \simeq 2,33 \cdot 10^{-26}\,\text{kg}$.

5. /0/ $\nu = \dfrac{\rho V}{\mu} = 5\,\text{moli}$.

6. /0/ $\rho = \dfrac{\mu}{V_{\mu 0}} \simeq 0,76\,\text{kg/m}^3$.

7. /0/ $V = \dfrac{mV_{\mu 0}}{\mu} = 2,24 \cdot 10^{-1}\,\text{m}^3$.

8. /0/ $\rho = \dfrac{\mu_{aer}}{V_{\mu 0}} \simeq 1,29\,\text{kg/m}^3$, $m = \rho V \simeq 38,7\,\text{kg}$.

9. /0/ $\rho = nm_0 = \dfrac{n\mu}{N_A} = 1,6\,\text{kg/m}^3$.

10. /0/ **a.** $\nu = \dfrac{m}{\mu} = 50\,\text{moli}$; **b.** $N = \nu N_A = 3,01 \cdot 10^{25}$;
c. $V = \nu V_{\mu 0} = 1,12\,\text{m}^3$.

11. /0/ $N = \dfrac{\rho V N_A}{\mu} = 3,01 \cdot 10^{26}$.

12. /0/ **a.** $n = \dfrac{N}{V} = 12,04 \cdot 10^{24}\,\text{m}^{-3}$; **b.** $\rho = \dfrac{\mu N}{V N_A} = 0,56\,\text{kg/m}^3$.

13. /0/ $n_0 = \dfrac{N_A}{V_{\mu 0}} \simeq 2,68 \cdot 10^{25}\,\text{m}^{-3}$.

14. /1/ $L = \dfrac{mdN_A}{\mu} = 1,27 \cdot 10^{13}\,\text{m}$.

15. /2/ Considerăm o cantitate de gaz ideal, ν, care conține N molecule ce ocupă volumul V. Presupunem că moleculele sunt așezate regulat într-o rețea 3D, astfel încât fiecare moleculă să fie în centrul unui cub cu latura egală cu distanța medie dintre două molecule vecine, notată d. Astfel, $V = Nd^3 \Leftrightarrow \dfrac{V}{\nu} = \dfrac{N}{\nu}d^3 \Leftrightarrow V_{\mu 0} = N_\mathrm{A} d^3 \Rightarrow \quad d = \sqrt[3]{V_{\mu 0}/N_\mathrm{A}} \simeq 3{,}34 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{m}$.

16. /2/ Considerăm o cantitate de gaz ideal, ν, care conține N molecule. Notăm cu $V-$ volumul gazului și cu $V_\mathrm{m}-$ volumul tuturor moleculelor (sfere). Avem $V = \nu V_{\mu 0}$ și $V_\mathrm{m} = NV_{\text{moleculă}} = \nu N_\mathrm{A}\dfrac{4\pi\left(d/2\right)^3}{3}$. Raportul cerut este $f = \dfrac{V_\mathrm{m}}{V} \Rightarrow$ $f = \dfrac{\pi d^3 N_\mathrm{A}}{6V_{\mu 0}} \simeq 1{,}41 \cdot 10^{-5}$. Observăm că volumul tuturor moleculelor este mult mai mic decât volumul ocupat de gaz.

17. /1/ $\bar{\mu} = \dfrac{\nu_1\mu_1 + \nu_2\mu_2}{\nu_1 + \nu_2} = 7{,}2\,\mathrm{g/mol}$.

18. /1/ $\bar{\mu} = \dfrac{N_1\mu_1 + N_2\mu_2}{N_1 + N_2} = 11\,\mathrm{g/mol}$.

19. /1/ $\bar{\mu} = \dfrac{\mu_\mathrm{O} + \mu_{\mathrm{O}_2}}{2} = 24\,\mathrm{g/mol}$.

20. /1/ $\bar{\mu} = \dfrac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}{m_1/\mu_1 + m_2/\mu_2 + m_3/\mu_3 + m_4/\mu_4} = 5{,}7\,\mathrm{g/mol}$.

21. /1/ $\mu = \mu_1 + \dfrac{3\mu_2}{2}$.

22. /1/ $\bar{\mu} = \dfrac{2\mu_1\mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \simeq 3{,}73\dfrac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$.

23. /1/ **a.** $\dfrac{\nu_{\mathrm{O}_2}}{\nu_{\mathrm{N}_2}} = \dfrac{\bar{\mu} - \mu_{\mathrm{N}_2}}{\mu_{\mathrm{O}_2} - \bar{\mu}} = \dfrac{1}{3}$; **b.** $\dfrac{m_{\mathrm{O}_2}}{m_{\mathrm{N}_2}} = \dfrac{\nu_{\mathrm{O}_2}\mu_{\mathrm{O}_2}}{\nu_{\mathrm{N}_2}\mu_{\mathrm{N}_2}} = \dfrac{8}{21}$.

24. /1/ **a.** $N_1 = \dfrac{\rho_1 V_1 N_\mathrm{A}}{\mu_\mathrm{He}} = 30{,}1 \cdot 10^{23}$; **b.** $N_2 = \dfrac{m_2 N_\mathrm{A}}{\mu_{\mathrm{H}_2}} = 18{,}06 \cdot 10^{23}$;

c. $m_3 = \dfrac{N_3\mu_{\mathrm{O}_2}}{N_\mathrm{A}} = 64\,\mathrm{g}$; **d.** $\bar{\mu} = \dfrac{N_1\mu_\mathrm{He} + N_2\mu_{\mathrm{H}_2} + N_3\mu_{\mathrm{O}_2}}{N_1 + N_2 + N_3} = 9\dfrac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$.

25. /2/ Notăm cu N_0- numărul inițial de molecule de hidrogen, unde $N_0 = \nu_0 N_\mathrm{A}$. În urma disocierii rezultă $2\alpha N_0-$ atomi de hidrogen și rămân nedisociate $(1-\alpha)N_0-$ molecule de hidrogen. Cantitatea totală de substanță din rezervor va fi $\nu=\nu_{\text{atomi}}+\nu_{\text{molecule}} \Rightarrow \nu=\dfrac{2\alpha N_0}{N_A}+\dfrac{(1-\alpha)N_0}{N_A} \Rightarrow$ $\nu=(1+\alpha)\nu_0=13\,\text{kmol}.$

26. /2/ **a.** Notăm cu N_0- numărul inițial de molecule de ozon. În urma disocierii rezultă $3\alpha N_0-$ atomi de oxigen și rămân nedisociate $(1-\alpha)N_0-$ molecule de ozon. Numărul total de particule este $N_{\text{tot}}=(1+2\alpha)N_0=3,5\cdot 10^{24}$.

b. Cantitatea totală de substanță din balon este $\nu_{\text{tot}}=\dfrac{N_{\text{tot}}}{N_A}\simeq 5,814\,\text{moli}.$

27. /2/ Notăm cu N_0- numărul inițial de molecule de oxigen. În urma disocierii rezultă $2\alpha N_0-$ atomi de oxigen și rămân nedisociate $(1-\alpha)N_0-$ molecule de oxigen. Masa molară medie a amestecului de atomi și molecule de oxigen este $\bar{\mu}=\dfrac{2\alpha N_0\mu_O+(1-\alpha)N_0\mu_{O_2}}{2\alpha N_0+(1-\alpha)N_0}$. Înlocuim $2\mu_O=\mu_{O_2}$ și obținem $\bar{\mu}=\dfrac{\mu_{O_2}}{1+\alpha}=20\,\text{g/mol}.$

28. /3/ Notăm cu N_0- numărul inițial de molecule de ozon. În urma disocierii rezultă $3\alpha N_0-$ atomi de oxigen care se recombină câte doi și formează $\dfrac{3\alpha}{2}N_0-$ molecule de oxigen biatomic (O_2). Rămân nedisociate $(1-\alpha)N_0-$ molecule de ozon (O_3). În final, amestecul va conține molecule de O_2 și molecule de O_3 cu masa molară medie $\bar{\mu}=\dfrac{(3\alpha/2)N_0\mu_{O_2}+(1-\alpha)N_0\mu_{O_3}}{(3\alpha/2)N_0+(1-\alpha)N_0}$. Înlocuim $\mu_{O_3}=\dfrac{3}{2}\mu_{O_2}$ și obținem $\bar{\mu}=\dfrac{3\mu_{O_2}}{2+\alpha}=40\,\text{g/mol}.$

29. /3/ **a.** Notăm cu N_0- numărul inițial de molecule de ozon. În urma disocierii conform ecuației $O_3\rightarrow O_2+O$, rezultă $\alpha_1 N_0-$ atomi de oxigen și $\alpha_1 N_0-$ molecule de oxigen biatomic (O_2). În urma disocierii conform ecuației $O_3\rightarrow 3O$. rezultă $3\alpha_2 N_0-$ atomi de oxigen. Rămân nedisociate $(1-\alpha_1-\alpha_2)N_0-$ molecule de ozon (O_3). În final, amestecul va conține: atomi de oxigen, molecule de O_2 și molecule de O_3 cu masa molară medie

$\overline{\mu} = \dfrac{(\alpha_1 + 3\alpha_2) N_0 \mu + \alpha_1 N_0 \mu_{O_2} + (1-\alpha_1-\alpha_2) N_0 \mu_{O_3}}{(\alpha_1 + 3\alpha_2) N_0 + \alpha_1 N_0 + (1-\alpha_1-\alpha_2) N_0}$. Înlocuim $\mu_{O_2} = 2\mu$, $\mu_{O_3} = 3\mu$ și obținem $\overline{\mu} = \dfrac{3\mu}{1+\alpha_1+2\alpha_2} = 30\,\text{g/mol}$;

b. Cantitatea de gaz monoatomic din amestec este $\nu_{\text{mono.}} = \dfrac{N_{\text{atomi}}}{N_A} = \dfrac{(\alpha_1+3\alpha_2) N_0}{N_A}$ $\Rightarrow$ $\nu_{\text{mono.}} = (\alpha_1 + 3\alpha_2)\nu_0 = 0{,}85\,\text{mol}$.

30. /0/ **a.** $n = \dfrac{3p}{2\overline{\varepsilon}_{tr}} = 4{,}5\cdot 10^{26}\ \text{m}^{-3}$; **b.** $\rho = \dfrac{\mu n}{N_A} \simeq 1{,}5\dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

31. /0/ $p = \dfrac{\overline{E}_c}{3V} = 5\,\text{atm}$.

32. /0/ $\overline{\varepsilon}_{tr} = \dfrac{3p\mu}{2\rho N_A} \simeq 7{,}5\cdot 10^{-22}\ \text{J}$.

33. /0/ $\overline{\varepsilon}_{tr} = \dfrac{3k_B T}{2} = 4{,}14\cdot 10^{-21}\ \text{J}$.

34. /0/ $\overline{\varepsilon}_{He} = \dfrac{3k_B T}{2} = 4{,}14\cdot 10^{-21}\ \text{J}$; $\overline{\varepsilon}_{N_2} = \dfrac{5k_B T}{2} = 6{,}9\cdot 10^{-21}\ \text{J}$;

$\overline{\varepsilon}_{CO_2} = \dfrac{6k_B T}{2} = 8{,}28\cdot 10^{-21}\ \text{J}$.

35. /0/ $n = \dfrac{p}{k_B T} \simeq 9{,}3\cdot 10^{10}\ \text{m}^{-3}$.

36. /0/ $N = \dfrac{pV}{k_B T} = 5\cdot 10^{23}$ molecule.

37. /0/ $v_T = \sqrt{\dfrac{3RT}{\mu}} \simeq 500\,\text{m/s}$.

38. /0/ $\dfrac{v_{T1}}{v_{T2}} = \sqrt{\dfrac{\mu_2}{\mu_1}} = \dfrac{\sqrt{2}}{4} \simeq 0{,}35$.

39. /0/ **a.** $p = \dfrac{\rho v_T^2}{3} = 1{,}44\cdot 10^5\ \text{N/m}^2$; **b.** $T = \dfrac{\mu v_T^2}{3R} \simeq 462\,\text{K}$.

40. /0/ **a.** $\rho = n\cdot m_0 = \dfrac{n\mu}{N_A} = 1{,}6\,\text{kg/m}^3$; **b.** $v_T = \sqrt{\dfrac{3p}{\rho}} = 750\,\text{m/s}$;

c. $T = \dfrac{p}{n k_B} \simeq 90\,\text{K}$.

41. /1/ $\bar{\varepsilon} = 2\bar{\varepsilon}_{tr} = \dfrac{\mu v_{\mathrm{T}}^2}{N_{\mathrm{A}}} \simeq 1{,}82 \cdot 10^{-20}$ J.

42. /1/ $\Delta t = \dfrac{\mu\left(v_{\mathrm{T}2}^2 - v_{\mathrm{T}1}^2\right)}{3R} \simeq 123{,}5\ ^{\circ}\mathrm{C}.$

43. /1/ $n_2 = \dfrac{n_1}{2},\ \rho_2 = \dfrac{\rho_1}{2},\ p_2 = \dfrac{p_1}{2},\ v_{\mathrm{T}2} = v_{\mathrm{T}1},\ \ \bar{\varepsilon}_2 = \bar{\varepsilon}_1.$

44. /1/ $n_2 = \dfrac{n_1}{2},\ \rho_2 = \dfrac{\rho_1}{2},\ V_2 = 2V_1,\ v_{\mathrm{T}2} = \sqrt{2}v_{\mathrm{T}1},\ \ \bar{\varepsilon}_2 = 2\bar{\varepsilon}_1.$

45. /1/ $n_2 = n_1,\ \rho_2 = \rho_1,\ p_2 = 2p_1,\ v_{\mathrm{T}2} = \sqrt{2}v_{\mathrm{T}1},\ \ \bar{\varepsilon}_2 = 2\bar{\varepsilon}_1.$

46. /0/ $U = \dfrac{5\mu\nu v_{\mathrm{T}}^2}{6} = 8\,\mathrm{kJ}.$

47. /0/ **a.** $\dfrac{v_{\mathrm{T}1}}{v_{\mathrm{T}2}} = \sqrt{\dfrac{\mu_2}{\mu_1}} = 4;$ **b.** $\dfrac{U_1}{U_2} = \dfrac{\mu_2}{\mu_1} = 16.$

48. /1/ **a.** $\dfrac{\Delta\bar{\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}_1} = \dfrac{p_2V_2}{p_1V_1} - 1 = 100\%;$ **b.** $\dfrac{\Delta v_{\mathrm{T}}}{v_{\mathrm{T}1}} = \sqrt{\dfrac{p_2V_2}{p_1V_1}} - 1 \simeq 41{,}42\%;$

c. $\Delta U = \dfrac{5}{2}\left(p_2V_2 - p_1V_1\right) = 500\,\mathrm{J}.$

49. /0/ $\nu = \dfrac{m}{\mu} = 10^{-2}$ kmol; $V = \dfrac{\nu RT}{p} = 8{,}31 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}^3.$

50. /0/ $\mu = \rho RT/p \simeq 4\,\mathrm{kg/kmol}$ (He).

51. /0/ $p = \left(\nu_1 + \nu_2\right)RT/V = 6 \cdot 10^5$ Pa.

52. /0/ $\dfrac{p_1}{p_2} = \dfrac{\mu_{\mathrm{Ar}}}{\mu_{\mathrm{He}}} = 10.$

53. /0/ $\dfrac{p_1}{p_2} = \dfrac{T_1\mu_{\mathrm{O}_2}}{T_2\mu_{\mathrm{H}_2}} = 12.$

54. /0/ $\rho = \rho_0 \dfrac{T_0 p}{T p_0} = \dfrac{3}{2}\rho_0 = 1{,}8\,\mathrm{kg/m}^3.$

55. /1/ $f = \dfrac{m_1\mu_{\mathrm{H}_2}}{m_1\mu_{\mathrm{H}_2} + m_2\mu_{\mathrm{He}}} = 20\%.$

56. /1/ $l_1 = \dfrac{l\mu_{\mathrm{He}}}{\mu_{\mathrm{He}} + \mu_{\mathrm{O_2}}} = 8\,\mathrm{cm}.$

57. /1/ $m = \dfrac{\left(p_0 S + Mg\right)\mu h}{RT} = 2,2\,\mathrm{g}.$

58. /1/ $m_2 = \mu_{\mathrm{O_2}}\left(\dfrac{m_1}{\mu_{\mathrm{H_2}}} - \dfrac{Mgh}{2RT}\right) = 960\,\mathrm{mg}.$

59. /1/ **a.** $V = \left(\dfrac{m}{\mu_{\mathrm{O_2}}} + \dfrac{N}{N_{\mathrm{A}}}\right)\dfrac{RT}{p} \simeq 5\cdot 10^{-2}\,\mathrm{m}^3$; **b.** $n = \dfrac{mN_{\mathrm{A}}}{\mu V} \simeq 6,02\cdot 10^{24}\,\mathrm{m}^{-3}.$

60. /1/ $\rho = \dfrac{\left(m_1 + m_2\right)p}{\left(m_1/\mu_{\mathrm{He}} + m_2/\mu_{\mathrm{Ar}}\right)RT} \simeq 1\mathrm{kg/m^3}.$

61. /1/ $p = \dfrac{p_1V_1 + p_2V_2}{V_1 + V_2} = 4\,\mathrm{atm}.$

62. /1/ $p = \dfrac{p_1V_1/T_1 + p_2V_2/T_2}{V_1/T_1 + V_2/T_2} = 2\,\mathrm{atm}.$

63. /1/ $p = \left(\dfrac{p_1}{T_1} + \dfrac{p_2}{T_2}\right)\dfrac{T}{2} = 3\,\mathrm{atm}.$

64. /2/ Inițial în butelie se află un amestec de N_0 atomi de carbon și $3N_0$ molecule de oxigen, iar cantitatea de substanță este $\nu_{\mathrm{i}} = \dfrac{4N_0}{N_{\mathrm{A}}}$. În starea finală în butelie se află un amestec format din N_0 molecule de dioxid de carbon și $2N_0$ molecule de oxigen (care nu s-au combinat cu atomi de carbon), iar cantitatea de substanță este $\nu_{\mathrm{f}} = \dfrac{3N_0}{N_{\mathrm{A}}}$. Folosind ecuațiile termice de stare, obținem $p = \dfrac{3T_2}{4T_1}p_0 = 1,2\cdot 10^5\,\mathrm{Pa}.$

65. /2/ În urma disocierii complete a unui gaz biatomic, numărul de particule se dublează. Din $\nu = \dfrac{N}{N_{\mathrm{A}}}$ rezultă că se dublează și numărul de moli. Ecuațiile de stare în cele două stări sunt: $p_1V_1 = \nu RT_1$ și $p_2V_2 = 2\nu RT_2$, din care rezultă $p_2 = \dfrac{2p_1V_1T_2}{V_2T_1} = 16\,\mathrm{atm}.$

66. /2/ În urma disocierii complete a unui gaz biatomic, numărul de particule se dublează. Din $\nu = \dfrac{N}{N_A}$ rezultă că se dublează și numărul de moli. Ecuațiile de stare în cele două stări sunt: $pV = (2\nu_1 + \nu_2)RT$ și $3pV = (2\nu_1 + 2\nu_2)R \cdot 2T,$ din care rezultă $\nu_1/\nu_2 = 1/2.$

67. /2/ În urma disocierii incomplete a hidrogenului molecular, numărul de particule (atomi și molecule) crește de la N_0 la $N = (1+\alpha)N_0.$ Din $\nu = \dfrac{N}{N_A}$ rezultă că și cantitatea de substanță crește de la ν_0 la $\nu = (1+\alpha)\nu_0.$ Ecuațiile de stare în cele două stări sunt: $p_1V = \nu_0RT_1$ și $p_2V = (1+\alpha)\nu_0RT_2,$ din care rezultă $p_2 = \dfrac{(1+\alpha)T_2p_1}{T_1} = 16\,\text{atm}.$

68. /1/ $m_x = m_1\left(1 - \dfrac{T_1}{T_2}\right) = 20\,\text{g}.$

69. /1/ $m_x = m_1\left(1 - \dfrac{p_2}{p_1}\right) = 4\,\text{kg}.$

70. /1/ $\Delta m = \dfrac{\Delta pV\mu}{RT} = 250\,\text{g}.$

71. /1/ $p_2 = \dfrac{(1-f)\,p_1T_2}{T_1} = 5,6 \cdot 10^5\,\text{Pa}.$

72. /1/ $f = 1 - \dfrac{T_1}{T_2} = 75\%.$

73. /1/ $m_2 = \dfrac{m_1T_1p_2}{T_2p_0} = 0,75\,\text{g}.$

74. /1/ $f = \dfrac{\Delta N}{N_1} = \dfrac{T_1}{T_2} - 1 = -3,33\%.$

75. /1/ $x = fL/2 = 0,2\,\text{m}.$

76. /1/ **a.** $p = p_0\left(1 + \dfrac{\mu \cdot \Delta\nu}{m}\right) = 2,5 \cdot 10^5\,\text{Pa};$ **b.** $\Delta\rho = \dfrac{(p-p_0)\mu}{RT} \simeq 1,74\,\text{kg/m}^3.$

77. /1/ $f = \dfrac{\Delta m}{m} = \dfrac{n^2-1}{n^2+1} = 60\%.$

78. /0/ $k = \nu RT \simeq 4,99 \cdot 10^6\,\text{J}.$