

# Makroskopsko ponašanje 1

## idealnog plina

### 1.1. Temperatura

### 1.2. Toplinsko rastezanje tvari

### 1.3. Plinski zakoni

### 1.4. Jednadžba stanja idealnog plina

**Temperatura** je mjera zagrijanosti tijela, razmjerna energiji kojom se gibaju čestice u tijelu.

**Celzijeva ljestvica** je temperaturna ljestvica koja se temelji na talištu vode (0 °C) i vrelištu vode (100 °C).

**Kelvinova ljestvica** je temperaturna ljestvica koja se temelji na apsolutnoj nuli (0 K).

**Apsolutna nula** je najniža moguća temperatura.

Veza apsolutne temperature  $T$  i Celzijeve temperature  $t$ :

$$T/K = t/^{\circ}\text{C} + 273,15.$$

**Fahrenheitova ljestvica** je temperaturna ljestvica koja se temelji na talištu vode (32 °F) i vrelištu vode (212 °F).

**Koeficijent linearnog rastezanja**,  $\alpha$ , je omjer relativnog linearnog širenja  $\frac{\Delta l}{l}$  i razlike temperatura  $\Delta T$ .

Linearno rastezanje opisuje izraz:

$$L(t) = L_0 (1 + \alpha t),$$

gdje je  $L_0$  duljina pri temperaturi 0 °C, a  $L(t)$  duljina pri temperaturi  $t$ .

**Koeficijent površinskog rastezanja**,  $\beta$ , je omjer relativnog površinskog širenja  $\frac{\Delta S}{S}$  i razlike temperatura  $\Delta T$ .

Površinsko rastezanje opisuje izraz:

$$S(t) = S_0 (1 + \beta t),$$

gdje je  $S_0$  površina pri temperaturi 0 °C, a  $S(t)$  površina pri temperaturi  $t$ .

**Koeficijent volumnog rastezanja**,  $\gamma$ , je omjer relativnog linearnog produljenja  $\frac{\Delta V}{V}$  i razlike temperatura  $\Delta T$ .

Volumno rastezanje opisuje izraz:

$$V(t) = V_0 (1 + \gamma t),$$

gdje je  $V_0$  volumen pri temperaturi  $0^\circ\text{C}$ , a  $V(t)$  volumen pri temperaturi  $t$ .

**Avogadrov broj** je broj čestica u jednom molu,  $6,022 \cdot 10^{23}$ .

**Boyle–Mariotteov zakon** je plinski zakon koji opisuje izotermnu promjenu stanja plina. Umnožak tlaka i volumena ostaje stalan.

$$pV = \text{konst.}$$

**Izotermna promjena** je promjena stanja plina pri kojoj se temperatura ne mijenja.

**Gay-Lussacov zakon** je plinski zakon koji opisuje izobarnu promjenu stanja plina. Omjer volumena i temperature ostaje stalan.

$$\frac{V}{T} = \text{konst.}$$

**Izobarna promjena** je promjena stanja plina pri kojoj se tlak ne mijenja.

**Charles–Gay-Lussacov zakon** je plinski zakon koji opisuje izohornu promjenu stanja plina. Omjer tlaka i temperature ostaje stalan.

$$\frac{p}{T} = \text{konst.}$$

**Izohorna promjena** je promjena stanja plina pri kojoj se volumen ne mijenja.

**Idealni plin** je idealizirano stanje u kojem mnoštvo identičnih čestica ima samo kinetičku, a ne i potencijalnu energiju.

Jednadžba stanja idealnog plina:

$$pV = nRT,$$

gdje je  $R = 8,314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$  opća plinska konstanta ili

$$pV = Nk_{\text{B}}T,$$

gdje je  $k_{\text{B}}$  Boltzmannova konstanta.

## 1.1. Temperatura

1. Normalna temperatura ljudskog tijela je  $36,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Izrazite ovu temperaturu u kelvinima i stupnjevima Fahrenheita.

Rješenje:  $310\text{ K}$ ,  $98,2\text{ }^{\circ}\text{F}$

2. Kolika bi bila temperatura svemira izražena u stupnjevima Fahrenheita? Pronađite na internetu, odnosno provjerite da temperatura svemira, temperatura tzv. pozadinskog zračenja ostala od Velikog praska, iznosi  $2,73\text{ K}$ .

Rješenje:  $-454,76\text{ }^{\circ}\text{F}$

## 1.2. Toplinsko rastezanje tvari

1. Željezna šina dugačka je  $20\text{ m}$  pri temperaturi od  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Izračunajte njezinu duljinu pri  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Koeficijent linearnog rastezanja čelika je  $12 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Rješenje:  $19,99\text{ m}$

2. Bakrena šipka dugačka je  $80\text{ cm}$  pri temperaturi od  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Koliko je produljenje šipke pri temperaturi od  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Koeficijent linearnog širenja bakra je  $1,7 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Rješenje:  $2,7 \cdot 10^{-4}\text{ m}$

3. Izračunajte produljenje bakrene žice dugačke  $50\text{ m}$  pri promjeni temperature s  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Koeficijent linearnog širenja bakra je  $1,7 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Rješenje:  $1,7\text{ cm}$

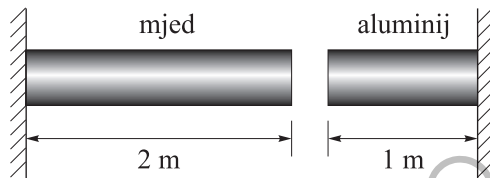
4. Zagrijavamo li metalni štap od  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do temperature  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , njegova se duljina poveća za  $8,47 \cdot 10^{-4}\text{ m}$ . Za koliko se duljina štapa smanji ako ga hladimo od  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  do temperature smrzavanja vode?

Rješenje:  $2,65 \cdot 10^{-4}\text{ m}$

5. Gustoća žive pri  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  je  $13\,600\text{ kgm}^{-3}$ . Izračunajte gustoću žive na temperaturi od  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Koeficijent volumnog širenja žive je  $1,82 \cdot 10^{-4}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Rješenje:  $13\,500\text{ kgm}^{-3}$

6. Mjedena i aluminijska šipka pričvršćene su na zid, kao što je prikazano na slici. Pri  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  prostor između šipaka iznosi  $1,2\text{ mm}$ . Na kojoj će se temperaturi taj zrakoprazan prostor “zatvoriti”? Koeficijent linearnog širenja mjedi je  $19 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , a aluminijska  $23 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .



Rješenje:  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

7. Pri  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  čelična kugla ima promjer  $0,900\text{ cm}$ . Pri istoj temperaturi promjer rupe u aluminijskoj ploči iznosi  $0,899\text{ cm}$ . Pri kojoj će temperaturi (istoj za kuglu i ploču) kugla proći kroz rupu? Koeficijent linearnog širenja čelika je  $1,1 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , a aluminijska  $2,2 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Rješenje:  $121\text{ }^{\circ}\text{C}$

8. Gustoća zlata pri  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  iznosi  $19\,300\text{ kgm}^{-3}$ , a koeficijent linearnog širenja zlata je  $14,3 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Kolika je gustoća zlata pri  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

Rješenje:  $19\,200\text{ kgm}^{-3}$

### 1.3. Plinski zakoni

1. Pri temperaturi od  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  plin ima obujam  $V$ . Do koje je temperature potrebno izobarno hladiti taj plin da mu se obujam smanji za  $20\%$ ?

Rješenje:  $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$

2. Temperatura plina u žarulji je  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kada je žarulja upaljena, tlak plina poveća se dva puta. Kolika je tada temperatura plina?

Rješenje:  $313\text{ }^{\circ}\text{C}$

3. Plinska boca napunjena je plinom temperature  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  pod tlakom upola manjim od tlaka pri kojem dolazi do rasprsnuća boce. Pri kojoj bi se temperaturi plina boca rasprsnula?

Rješenje:  $303\text{ }^{\circ}\text{C}$

4. Ako pri konstantnoj temperaturi plina klip u cilindru spustimo za trećinu visine cilindra, koliko će se puta povećati tlak?

Rješenje: Povećat će se  $1,5$  puta.

5. Koliko se puta poveća tlak plina u balonu električne žarulje ako se nakon uključivanja temperatura plina povisi sa  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $303\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

Rješenje: 2

6. Pri temperaturi  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  tlak plina je  $p$ . Do koje je temperature potrebno izovolumno zagrijati plin da mu tlak bude  $4p$ ?

Rješenje:  $1200\text{ K}$

7. Pri temperaturi  $227\text{ }^{\circ}\text{C}$  volumen plina je  $V$ . Do koje je temperature potrebno izobarno hladiti plin da bi mu se volumen upola smanjio?

Rješenje:  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$

8. U automobilskoj gumi nalazi se zrak pod tlakom od  $6 \cdot 10^5\text{ Pa}$  pri  $293\text{ K}$ . Dok se auto giba, temperatura gume se povećava na  $308\text{ K}$ . Ako je volumen zraka konstantan, koliko se pritom povećao tlak zraka?

Rješenje:  $6,3 \cdot 10^5\text{ Pa}$

9. Koja je temperatura plina u zatvorenoj posudi ako mu se tlak poveća za  $0,4\%$  pri promjeni temperature za  $1\text{ K}$ ?

Rješenje:  $250\text{ K}$

10. Jednu litru idealnog plina pri atmosferskom tlaku  $1\text{ bar}$  i temperaturi  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  najprije izotermno komprimiramo na volumen  $0,4\text{ L}$ , a zatim izohorno (uz isti volumen) zagrijemo na  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Koliki će nakon toga biti tlak plina?

Rješenje:  $3,42\text{ bar}$

11. Tlak zraka u automobilskoj gumi je  $2,2\text{ bara}$  ( $1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa}$ ) pri temperaturi od  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Koliki će tlak biti u istoj gumi pri  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Zanimajte promjenu obujma.

Rješenje:  $2,4\text{ bar}$

12. Koliko se puta poveća tlak plina ako njegova temperatura poraste s  $68\text{ }^{\circ}\text{F}$  na  $140\text{ }^{\circ}\text{F}$ ? Volumen ostaje stalan.

Rješenje: Povećat će se  $1,14$  puta.

13. Izobarnom ekspanzijom plin se zagrijava. Koliko je puta povećan volumen plina pri stalnom tlaku ako mu je temperatura porasla sa  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

Rješenje: Povećat će se  $1,31$  puta.

14. Izračunajte konačni tlak plina pri izotermnoj promjeni stanja plina ako je početni tlak bio  $1,6\text{ bar}$ . Volumen se povećao četiri puta.

Rješenje:  $0,4\text{ bar}$

15. Izohornom promjenom tlak plina se poveća s  $2,0 \cdot 10^5\text{ Pa}$ . Koja je bila početna temperatura ako je konačna  $456\text{ K}$ ?

Rješenje:  $350\text{ K}$

16. Pri izobarnoj promjeni temperature za 1,0 K volumen plina se promjeni za 1,0 L. Izračunajte količinu plina ako je tlak normirani atmosferski.

Rješenje: 12 mol

17. Plin u cilindru s pomičnim klipom nalazi se pod tlakom od  $1,6 \cdot 10^6$  Pa. Pomakom klipa volumen se smanji za 20 %. Koliki je sada tlak plina? Pretpostavite izotermnu promjenu.

Rješenje:  $2 \cdot 10^6$  Pa

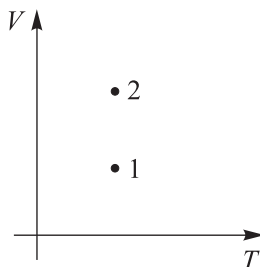
18. Količina plina od 4,5 mol pri normiranom atmosferskom tlaku zauzima volumen od 143 L. Kolika je temperatura tog plina?

Rješenje: 114 °C

19. U dizelskom motoru klip tlači zrak pri 305 K na volumen koji iznosi jednu šesnaestinu početnog volumena i na tlak koji je 48,5 puta veći od početnoga tlaka. Kolika je temperatura zraka nakon kompresije?

Rješenje: 925 K

20. U  $V$ - $T$  dijagramu su prikazana dva stanja plina. U kojem od ta dva stanja plin ima viši tlak?



Rješenje: 1

#### 1.4. Jednadžba stanja idealnog plina

1. Izračunajte gustoću zraka u boci za ronjenje pri temperaturi od 0 °C. Tlak u boci je  $3 \cdot 10^7$  Pa. Molarna masa zraka je  $M = 29$  g/mol.

Rješenje:  $380 \text{ kgm}^{-3}$

2. Količina zraka od 50,2 mol zatvorena je u posudi od 3,5 L pri temperaturi od 40 °C. Koliki je tlak u posudi?

Rješenje:  $3,7 \cdot 10^7$  Pa

3. Koliki će volumen zauzeti vodena para (pri normalnom tlaku i temperaturi od 100 °C) dobivena iz 1 L kipuće vode? Molarna masa vode je 18 g/mol.

Rješenje: 1700 L

4. Plin u posudi volumena  $V$ , pri temperaturi  $T$ , nalazi se pod tlakom  $P$ . Što će se dogoditi s temperaturom ako istodobno plinu tlak povećavamo dva puta, a volumen smanjimo dva puta? Količina plina se ne mijenja.

Rješenje: Temperatura će ostati ista.

5. Idealni plin pri temperaturi od  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$  i tlaku  $2 \cdot 10^5\text{ Pa}$  zauzima volumen od  $3\text{ m}^3$ .

a) Odredite količinu plina.

b) Ako se volumen poveća na  $4\text{ m}^3$ , a temperatura na  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ , koliki će biti tlak plina?

Rješenje: a) 240 mol; b)  $1,6 \cdot 10^5\text{ Pa}$

6. Molarna masa dušika je  $M = 29\text{ g/mol}$ . Kolika je temperatura plina?

Rješenje:  $68,2\text{ K}$

7. Koliko se molekula plina nalazi u boci od  $1\text{ L}$  pri normalnom atmosferskom tlaku i sobnoj temperaturi ( $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ )?

Rješenje:  $2,5 \cdot 10^{22}$

8. Boca za ronjenje sadrži  $12\text{ L}$  zraka pri tlaku od  $2,5 \cdot 10^7\text{ Pa}$  i temperaturi od  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Koliko je molekula zraka u boci?

Rješenje:  $7,4 \cdot 10^{25}$

9. Što će se dogoditi s bocom iz gornjeg zadatka nakon što dovoljno dugo bude u hladnoj vodi jezera, na  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Rješenje: tlak će pasti na  $2,45 \cdot 10^7\text{ Pa}$

10. Koliko je molova u  $1\text{ L}$  zraka pri  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  i tlaku od  $101\,325\text{ Pa}$ ?

Rješenje: 0,045

11. Koliko litara ima 1 mol zraka pri  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  i tlaku od  $101\,325\text{ Pa}$ ?

Rješenje:  $22,4\text{ L}$

12. Izračunajte gustoću zraka pri normalnim uvjetima ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $101\,325\text{ Pa}$ ) iz molarne mase zraka ( $29\text{ g mol}^{-1}$ ).

Rješenje:  $1,29\text{ kg m}^{-3}$