

Zadatak 241 (Neca, gimnazija)

Ronilac u jezeru na dubini 10 m, gdje je temperatura vode 5 °C, ispusti mjehurić zraka promjera 1 cm. Koliki je promjer tog mjehurića kad dosegne površinu jezera na kojoj je temperatura vode 20 °C? Atmosferski tlak je 10^5 Pa, a gustoća vode 10^3 kg/m³. ($g \approx 10$ m/s²)

Rješenje 241

$h = 10$ m, $t_1 = 5$ °C $\Rightarrow T_1 = 273 + t_1 = 273 + 5 = 278$ K, $2 \cdot r_1 = 1$ cm $\Rightarrow r_1 = 0.5$ cm, $t_2 = 20$ °C $\Rightarrow T = 273 + t_2 = 273 + 20 = 293$ K, $p_0 = 10^5$ Pa, $\rho = 1000$ kg/m³, $g = 10$ m/s², $2 \cdot r_2 = ?$

Općenitu ovisnost između tri parametra idealnog plina – obujma, tlaka i temperature – možemo izraziti zakonom koji sadrži sva tri plinska zakona:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}.$$

Hidrostatski tlak u tekućini nastaje zbog njezine težine. On djeluje na sve strane jednako, a ovisi o visini stupca h tekućine iznad mjesta na kojemu mjerimo tlak i o gustoći tekućine ρ :

$$p = \rho \cdot g \cdot h.$$

Tlak p povećava se linearno s dubinom tekućine, a ovisi još o gustoći tekućine ρ .

Na dubini h jezera na mjehurić zraka koji ispusti ronilac djeluju atmosferski tlak i hidrostatski tlak pa je ukupni tlak:

$$p_1 = p_0 + \rho \cdot g \cdot h.$$

Na površini jezera na mjehurić zraka djeluje samo atmosferski tlak:

$$p_2 = p_0.$$

Računamo polumjer r_2 mjehurića zraka kada dosegne površinu jezera.

$$\begin{aligned} \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} &= \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \cdot \frac{T_2}{p_2} \Rightarrow V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_2} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{4}{3} \cdot r_2^3 \cdot \pi &= \frac{(p_0 + \rho \cdot g \cdot h) \cdot \frac{4}{3} \cdot r_1^3 \cdot \pi \cdot T_2}{T_1 \cdot p_0} \Rightarrow \frac{4}{3} \cdot r_2^3 \cdot \pi = \frac{(p_0 + \rho \cdot g \cdot h) \cdot \frac{4}{3} \cdot r_1^3 \cdot \pi \cdot T_2}{T_1 \cdot p_0} \cdot \frac{3}{4 \cdot \pi} \Rightarrow \\ \Rightarrow r_2^3 &= \frac{(p_0 + \rho \cdot g \cdot h) \cdot r_1^3 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_0} \Rightarrow r_2^3 = \frac{(p_0 + \rho \cdot g \cdot h) \cdot r_1^3 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_0} \cdot \sqrt[3]{} \Rightarrow \\ \Rightarrow r_2 &= \sqrt[3]{\frac{(p_0 + \rho \cdot g \cdot h) \cdot r_1^3 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_0}} \Rightarrow r_2 = r_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{(p_0 + \rho \cdot g \cdot h) \cdot T_2}{T_1 \cdot p_0}}. \end{aligned}$$

Promjer mjehurića zraka iznosi:

$$\begin{aligned} d_2 &= 2 \cdot r_2 \Rightarrow d_2 = 2 \cdot r_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{(p_0 + \rho \cdot g \cdot h) \cdot T_2}{T_1 \cdot p_0}} = \\ &= 2 \cdot 0.5 \text{ cm} \cdot \sqrt[3]{\frac{\left(10^5 \text{ Pa} + 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ m}\right) \cdot 293 \text{ K}}{278 \text{ K} \cdot 10^5 \text{ Pa}}} = 1.28 \text{ cm}. \end{aligned}$$



Vježba 241

Ronilac u jezeru na dubini 10 m, gdje je temperatura vode 5 °C, ispusti mjehurić zraka promjera 2 cm. Koliki je promjer tog mjehurića kad dosegne površinu jezera na kojoj je temperatura vode 20 °C? Atmosferski tlak je 10^5 Pa, a gustoća vode 10^3 kg/m³. ($g \approx 10$ m/s²)

Rezultat: 2.56 cm.

Zadatak 242 (Ana, gimnazija)

U litru vode temperature 20 °C stavimo komad željeza mase 100 g i temperature 150 °C. Nakon nekog vremena voda i željezo postignu termodinamičku ravnotežu. Time je:

- A) temperatura vode postala 150°C, a željeza 20°C,
 - B) temperatura vode jednaka temperaturi željeza i iznosi 170°C,
 - C) temperatura vode jednaka temperaturi željeza i iznosi 85°C,
 - D) temperatura vode jednaka temperaturi željeza, pri čemu je veća od 20°C a manja od 150°C.
- (specifični toplinski kapacitet vode $c_1 = 4200$ J/(kg · K), specifični toplinski kapacitet željeza $c_2 = 460$ J/(kg · K))

Rješenje 242

$$V_1 = 1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 \Rightarrow m_1 = 1 \text{ kg}, \quad t_1 = 20 \text{ °C}, \quad m_2 = 100 \text{ g} = 0.1 \text{ kg}, \quad t_2 = 150 \text{ °C},$$

$$c_1 = 4200 \text{ J/(kg · K)}, \quad c_2 = 460 \text{ J/(kg · K)}, \quad t = ?$$

Zakon očuvanja energije:

- Energija se ne može ni stvoriti ni uništiti, već samo pretvoriti iz jednog oblika u drugi.
- Ukupna energija zatvorenog (izoliranog) sustava konstantna je bez obzira na to koji se procesi zbivaju u tom sustavu.
- Kad se u nekom procesu pojavi gubitak nekog oblika energije, mora se pojaviti i jednak prirast nekog drugog oblika energije.

Toplina Q je onaj dio unutrašnje energije tijela koji prelazi s jednog tijela na drugo zbog razlike temperatura tih tijela. Toplina koju neko tijelo zagrijavanjem primi odnosno hlađenjem izgubi jednaka je

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \Rightarrow Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1),$$

gdje je m masa tijela, c specifični toplinski kapacitet, a Δt promjena temperature tijela.

Kada su u međusobnom dodiru dva tijela različitih temperatura, onda je, prema zakonu o očuvanju energije, povećanje unutrašnje energije tijela koje se grije jednako smanjenju unutrašnje energije tijela koje se hladi, tj.

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow m_1 \cdot c_1 \cdot (t - t_1) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t),$$

gdje je t konačna temperatura, tj. temperatura pri kojoj oba tijela postižu toplinsku ravnotežu.

Računamo t konačnu temperaturu vode i željeza:

$$\left. \begin{array}{l} Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot (t - t_1) \\ Q_2 = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t) \end{array} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{zakon o očuvanju energije} \\ Q_1 = Q_2 \end{array} \right] \Rightarrow m_1 \cdot c_1 \cdot (t - t_1) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_1 \cdot c_1 \cdot t - m_1 \cdot c_1 \cdot t_1 = m_2 \cdot c_2 \cdot t_2 - m_2 \cdot c_2 \cdot t \Rightarrow m_1 \cdot c_1 \cdot t + m_2 \cdot c_2 \cdot t = m_2 \cdot c_2 \cdot t_2 + m_1 \cdot c_1 \cdot t_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t \cdot (m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2) = m_2 \cdot c_2 \cdot t_2 + m_1 \cdot c_1 \cdot t_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t \cdot (m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2) = m_2 \cdot c_2 \cdot t_2 + m_1 \cdot c_1 \cdot t_1 \quad / \cdot \frac{1}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t = \frac{m_2 \cdot c_2 \cdot t_2 + m_1 \cdot c_1 \cdot t_1}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \Rightarrow t = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot t_2}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} =$$

$$= \frac{1 \text{ kg} \cdot 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 20 \text{ K} + 0.1 \text{ kg} \cdot 460 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 150 \text{ K}}{1 \text{ kg} \cdot 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} + 0.1 \text{ kg} \cdot 460 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = 21.4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Odgovor je pod D.

Vježba 242

U 10 dl vode temperature 20 °C stavimo komad željeza mase 10 dag i temperature 150 °C. Nakon nekog vremena voda i željezo postignu termodinamičku ravnotežu. Time je:

- A) temperatura vode postala 150°C, a željeza 20°C,
 - B) temperatura vode jednaka temperaturi željeza i iznosi 170°C,
 - C) temperatura vode jednaka temperaturi željeza i iznosi 85°C,
 - D) temperatura vode jednaka temperaturi željeza, pri čemu je veća od 20°C a manja od 150°C.
- (specifični toplinski kapacitet vode $c_1 = 4200 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, specifični toplinski kapacitet željeza $c_2 = 460 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)

Rezultat: D.

Zadatak 243 (Neca, gimnazija)

Slika prikazuje dvije posude A i B, obje napunjene plinom. Tlak, obujam i temperatura su označeni na slici. Odredite vrijednost sljedećeg količnika: $\frac{\text{broj molekula u posudi A}}{\text{broj molekula u posudi B}}$.

A) $\frac{2}{12}$

B) $\frac{5}{12}$

C) $\frac{3}{12}$

D) $\frac{3}{5}$

E) $\frac{12}{5}$

p_1
 V_1
 $T_1 = 300 \text{ K}$

$p_2 = 2 \cdot p_1$
 $V_2 = 2 \cdot V_1$
 $T_2 = 500 \text{ K}$

Rješenje 243

$p_1, \quad V_1, \quad T_1 = 300 \text{ K}, \quad p_2 = 2 \cdot p_1, \quad V_2 = 2 \cdot V_1, \quad T_2 = 500 \text{ K},$
 $\frac{\text{broj molekula u posudi A}}{\text{broj molekula u posudi B}} = ?$

Jednadžba plinskog stanja može se iskazati i brojem N molekula u obliku

$$p \cdot V = k_B \cdot N \cdot T,$$

gdje je k_B Boltzmanova konstanta $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.

Jednadžba plinskog stanja u posudi A je

$$p_1 \cdot V_1 = k_B \cdot N_1 \cdot T_1,$$

gdje je N_1 broj molekula u posudi A.

Jednadžba plinskog stanja u posudi B iznosi

$$p_2 \cdot V_2 = k_B \cdot N_2 \cdot T_2,$$

gdje je N_2 broj molekula u posudi B.

Iz sustava jednadžbi dobije se traženi omjer.

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned} p_1 \cdot V_1 &= k_B \cdot N_1 \cdot T_1 \\ p_2 \cdot V_2 &= k_B \cdot N_2 \cdot T_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{podijelimo} \\ \text{jednadžbe} \end{array} \right] \Rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{p_2 \cdot V_2} = \frac{k_B \cdot N_1 \cdot T_1}{k_B \cdot N_2 \cdot T_2} \Rightarrow \\
 & \Rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{2 \cdot p_1 \cdot 2 \cdot V_1} = \frac{k_B \cdot N_1 \cdot T_1}{k_B \cdot N_2 \cdot T_2} \Rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{2 \cdot p_1 \cdot 2 \cdot V_1} = \frac{k_B \cdot N_1 \cdot T_1}{k_B \cdot N_2 \cdot T_2} \Rightarrow \frac{1}{4} = \frac{N_1 \cdot T_1}{N_2 \cdot T_2} \Rightarrow \\
 & \Rightarrow \frac{1}{4} = \frac{N_1 \cdot T_1}{N_2 \cdot T_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{T_2}{4 \cdot T_1} \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{500 \text{ K}}{4 \cdot 300 \text{ K}} \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{5}{12}.
 \end{aligned}$$

Odgovor je pod B.

Vježba 243

Slika prikazuje dvije posude A i B, obje napunjene plinom. Tlak, obujam i temperatura su označeni na slici. Odredite vrijednost sljedećeg količnika: $\frac{\text{broj molekula u posudi B}}{\text{broj molekula u posudi A}}$.

A) $\frac{2}{12}$ B) $\frac{5}{12}$ C) $\frac{3}{12}$ D) $\frac{3}{5}$ E) $\frac{12}{5}$

$$\begin{aligned} p_1 \\ V_1 \\ T_1 = 300 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_2 = 2 \cdot p_1 \\ V_2 = 2 \cdot V_1 \\ T_2 = 500 \text{ K} \end{aligned}$$

Rezultat: E.

Zadatak 244 (Neca, gimnazija)

Pri normalnome atmosferskom tlaku kisik prelazi u tekuće stanje na temperaturi $t = -183 \text{ }^\circ\text{C}$. Odredite srednju kvadratnu brzinu molekule kisika pri toj temperaturi. Masa molekule kisika je $m_0 = 5.3 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$. (Boltzmanova konstanta $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.)

Rješenje 244

$$t = -183 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T = 273 + t = 273 + (-183) = 90 \text{ K}, \quad m_0 = 5.3 \cdot 10^{-26} \text{ kg}, \\
 k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}, \quad \bar{v} = ?$$

Tijelo mase m i brzine v ima kinetičku energiju

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2.$$

Pri određenoj temperaturi srednja kinetička energija molekule svih plinova jednaka je. Ona ovisi samo o temperaturi T plina:

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2} \cdot k_B \cdot T,$$

gdje je k_B Boltzmanova konstanta $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.

Srednju kvadratnu brzinu molekule kisika naći ćemo iz sustava jednadžbi za srednju kinetičku energiju molekule:

$$\left. \begin{aligned} \overline{E_k} &= \frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot \overline{v^2} \\ \overline{E_k} &= \frac{3}{2} \cdot k_B \cdot T \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{metoda} \\ \text{komparacije} \end{array} \right] \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot \overline{v^2} = \frac{3}{2} \cdot k_B \cdot T \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot \overline{v^2} = \frac{3}{2} \cdot k_B \cdot T \cdot \frac{2}{m_0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \overline{v^2} = \frac{3 \cdot k_B \cdot T}{m_0} \Rightarrow \overline{v^2} = \frac{3 \cdot k_B \cdot T}{m_0} \quad / \sqrt{\quad} \Rightarrow \overline{v} = \sqrt{\frac{3 \cdot k_B \cdot T}{m_0}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \cdot 90 K}{5.3 \cdot 10^{-26} kg}} = 265.15 \frac{m}{s}$$

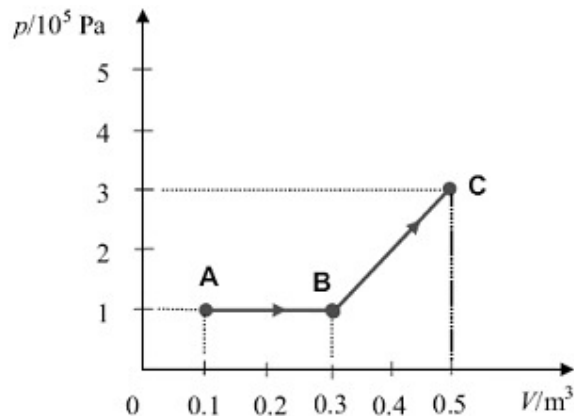
Vježba 244

Odredite srednju kvadratnu brzinu molekule dušika kod 15 °C, ako je masa molekule $m_0 = 4.65 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$. (Boltzmanova konstanta $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.)

Rezultat: 506.37 m/s.

Zadatak 245 (Sanja, gimnazija)

Plin prolazi proces ABC prikazan na (p, V) grafu.



Rad plina koji je obavljen pri procesu ABC iznosi _____.

Rješenje 245

Ploština pravokutnog trokuta izračunava se po formuli

$$P = \frac{a \cdot b}{2},$$

gdje su a i b duljine kateta. Ploština pravokutnog trokuta jednaka je polovici produkta duljina kateta. Ploština trapeza izračunava se po formuli

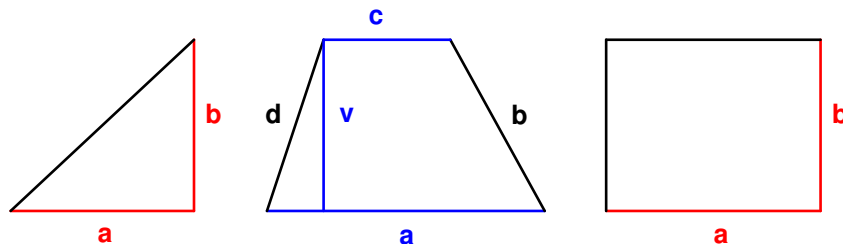
$$P = \frac{a + c}{2} \cdot v,$$

gdje su a i c osnovice (usporedne stranice trapeza), v visina trapeza.

Ploština pravokutnika izračunava se po formuli

$$P = a \cdot b,$$

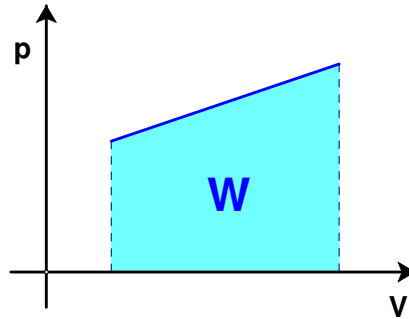
gdje su a i b duljine njegovih stranica.



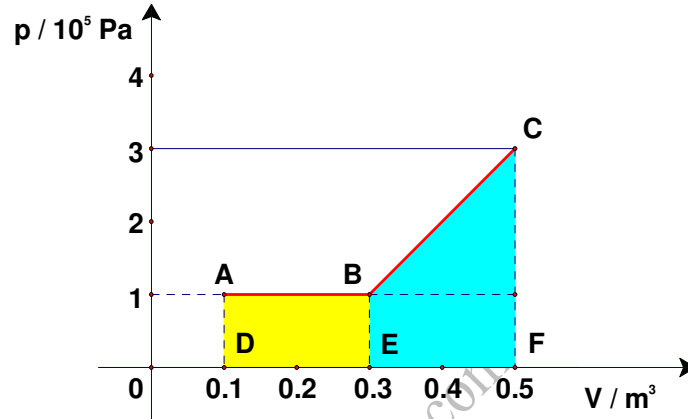
Kad plinu dovodimo toplinu uz stalan tlak (izobarna promjena), plin se rasteže i obavlja rad koji je jednak

$$W = p \cdot \Delta V \Rightarrow W = p \cdot (V_2 - V_1).$$

Ako tlak plina nije stalan, rad plina možemo naći iz grafičkog prikaza ovisnosti tlaka o obujmu (rad je po iznosu jednak ploštini ispod krivulje).



1. inačica



Uočimo pravokutnik ADEB i trapez EFCB.

Sa slike vidi se:

$$|AD| = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad , \quad |DE| = 0.3 \text{ m}^3 - 0.1 \text{ m}^3 = 0.2 \text{ m}^3$$

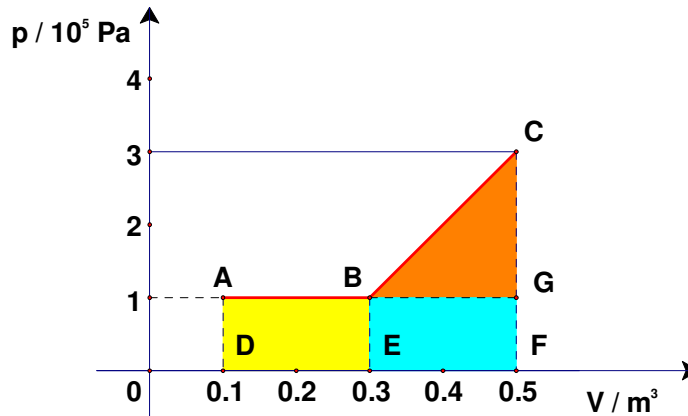
$$|CF| = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad , \quad |BE| = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad , \quad |EF| = 0.5 \text{ m}^3 - 0.3 \text{ m}^3 = 0.2 \text{ m}^3$$

Rad W po iznosu jednak je zbroju ploština pravokutnika ADEB i trapeza EFCB.

$$W = P_{ADEB} + P_{EFCB} \Rightarrow W = |DE| \cdot |AD| + \frac{|CF| + |BE|}{2} \cdot |EF| =$$

$$= 0.2 \text{ m}^3 \cdot 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} + \frac{3 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{2} \cdot 0.2 \text{ m}^3 = 60000 \text{ J} = 6 \cdot 10^4 \text{ J} = 60 \text{ kJ}.$$

2. inačica



Uočimo pravokutnike ADEB, BEFG i pravokutni trokut BGC.

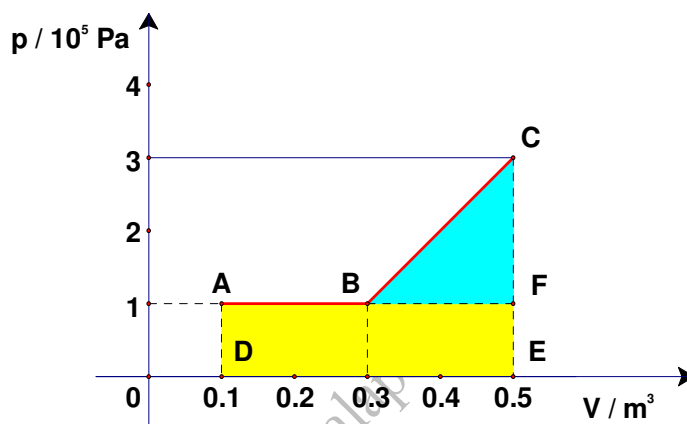
Sa slike vidi se:

$$\begin{aligned} |AD| &= 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad , \quad |DE| = 0.3 \text{ m}^3 - 0.1 \text{ m}^3 = 0.2 \text{ m}^3 \\ |BE| &= 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad , \quad |EF| = 0.5 \text{ m}^3 - 0.3 \text{ m}^3 = 0.2 \text{ m}^3 \\ |BG| &= 0.5 \text{ m}^3 - 0.3 \text{ m}^3 = 0.2 \text{ m}^3 \quad , \quad |CG| = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa} - 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Rad W po iznosu jednak je zbroju ploština pravokutnika ADEB, BEFG i pravokutnog trokuta BGC.

$$\begin{aligned} W &= P_{ADEB} + P_{BEFG} + P_{BGC} \Rightarrow W = |DE| \cdot |AD| + |EF| \cdot |BE| + \frac{|BG| \cdot |CG|}{2} = \\ &= 0.2 \text{ m}^3 \cdot 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 0.2 \text{ m}^3 \cdot 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} + \frac{0.2 \text{ m}^3 \cdot 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{2} = 60000 \text{ J} = 6 \cdot 10^4 \text{ J} = 60 \text{ kJ}. \end{aligned}$$

3.inačica



Uočimo pravokutnik ADEF i pravokutni trokut BFC.

Sa slike vidi se:

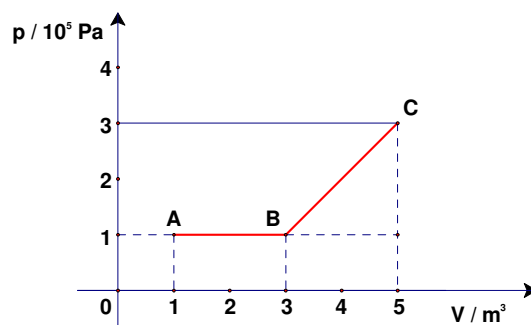
$$\begin{aligned} |AD| &= 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad , \quad |DE| = 0.5 \text{ m}^3 - 0.1 \text{ m}^3 = 0.4 \text{ m}^3 \\ |BF| &= 0.5 \text{ m}^3 - 0.3 \text{ m}^3 = 0.2 \text{ m}^3 \quad , \quad |CF| = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa} - 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Rad W po iznosu jednak je zbroju ploština pravokutnika ADEF i pravokutnog trokuta BFC.

$$\begin{aligned} W &= P_{ADEF} + P_{BFC} \Rightarrow W = |DE| \cdot |AD| + \frac{|BF| \cdot |CF|}{2} = \\ &= 0.4 \text{ m}^3 \cdot 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} + \frac{0.2 \text{ m}^3 \cdot 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{2} = 60000 \text{ J} = 6 \cdot 10^4 \text{ J} = 60 \text{ kJ}. \end{aligned}$$

Vježba 245

Plin prolazi proces ABC prikazan na (p, V) grafu.



Rad plina koji je obavljen pri procesu ABC iznosi _____.

Rezultat: $600\,000\text{ J} = 6 \cdot 10^5\text{ J} = 600\text{ kJ} = 0.6\text{ MJ}$.

Zadatak 246 (Klarica, gimnazija)

Željezna šipka dugačka je pri $20\text{ }^\circ\text{C}$ 998 mm . Pri kojoj će temperaturi šipka biti dugačka 1 m ? (koeficijent linearnog rastezanja željeza $\beta = 1.2 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$)

Rješenje 246

$$t_1 = 20\text{ }^\circ\text{C}, \quad l_1 = 998\text{ mm} = 0.998\text{ m}, \quad l_2 = 1\text{ m}, \quad \beta = 1.2 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}, \quad t_2 = ?$$

Kad štapu nekog čvrstog tijela, koji prema dogovoru pri $0\text{ }^\circ\text{C}$ ima duljinu l_0 , povisimo temperaturu za t (od $0\text{ }^\circ\text{C}$ do t), on će se produžiti za:

$$\Delta l = \beta \cdot l_0 \cdot t,$$

gdje je β koeficijent linearnog rastezanja koji se definira izrazom:

$$\beta = \frac{l_t - l_0}{l_0 \cdot t}.$$

Jedinica za koeficijent linearnog rastezanja je K^{-1} . Iz izraza za β slijedi da će nakon zagrijavanja duljina štapa biti jednaka:

$$l_t = l_0 \cdot (1 + \beta \cdot t).$$

Računamo temperaturu t_2 .

1. inačica

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= l_0 \cdot (1 + \beta \cdot t_1) \\ l_2 &= l_0 \cdot (1 + \beta \cdot t_2) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{iz prve jednadžbe izračunamo } l_0 \\ \text{i uvrstimo u drugu jednadžbu} \end{array} \right] \Rightarrow \left. \begin{aligned} l_1 &= l_0 \cdot (1 + \beta \cdot t_1) \cdot \frac{1}{1 + \beta \cdot t_1} \\ l_2 &= l_0 \cdot (1 + \beta \cdot t_2) \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left. \begin{aligned} l_0 &= \frac{l_1}{1 + \beta \cdot t_1} \\ l_2 &= l_0 \cdot (1 + \beta \cdot t_2) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{metoda} \\ \text{supstitucije} \end{array} \right] \Rightarrow l_2 = \frac{l_1}{1 + \beta \cdot t_1} \cdot (1 + \beta \cdot t_2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow l_2 = \frac{l_1}{1 + \beta \cdot t_1} \cdot (1 + \beta \cdot t_2) \cdot \frac{1 + \beta \cdot t_1}{l_1} \Rightarrow 1 + \beta \cdot t_2 = \frac{l_2 \cdot (1 + \beta \cdot t_1)}{l_1} \Rightarrow \beta \cdot t_2 = \frac{l_2 \cdot (1 + \beta \cdot t_1)}{l_1} - 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \beta \cdot t_2 = \frac{l_2 \cdot (1 + \beta \cdot t_1)}{l_1} - 1 \cdot \frac{1}{\beta} \Rightarrow t_2 = \frac{1}{\beta} \cdot \left[\frac{l_2 \cdot (1 + \beta \cdot t_1)}{l_1} - 1 \right] \Rightarrow t_2 = \frac{1}{\beta} \cdot \left[\frac{l_2}{l_1} \cdot (1 + \beta \cdot t_1) - 1 \right] =$$

$$= \frac{1}{1.2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}} \cdot \left[\frac{1\text{ m}}{0.998\text{ m}} \cdot \left(1 + 1.2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}} \cdot 20\text{ K} \right) - 1 \right] = 187.04\text{ }^\circ\text{C}.$$

2. inačica

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= l_0 \cdot (1 + \beta \cdot t_1) \\ l_2 &= l_0 \cdot (1 + \beta \cdot t_2) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{podijelimo} \\ \text{jednadžbe} \end{array} \right] \Rightarrow \frac{l_2}{l_1} = \frac{l_0 \cdot (1 + \beta \cdot t_2)}{l_0 \cdot (1 + \beta \cdot t_1)} \Rightarrow \frac{l_2}{l_1} = \frac{l_0 \cdot (1 + \beta \cdot t_2)}{l_0 \cdot (1 + \beta \cdot t_1)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{l_2}{l_1} = \frac{1 + \beta \cdot t_2}{1 + \beta \cdot t_1} \Rightarrow \frac{l_2}{l_1} = \frac{1 + \beta \cdot t_2}{1 + \beta \cdot t_1} \cdot (1 + \beta \cdot t_1) \Rightarrow 1 + \beta \cdot t_2 = \frac{l_2}{l_1} \cdot (1 + \beta \cdot t_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \beta \cdot t_2 = \frac{l_2 \cdot (1 + \beta \cdot t_1)}{l_1} - 1 \Rightarrow \beta \cdot t_2 = \frac{l_2 \cdot (1 + \beta \cdot t_1)}{l_1} - 1 \cdot \frac{1}{\beta} \Rightarrow t_2 = \frac{1}{\beta} \cdot \left[\frac{l_2 \cdot (1 + \beta \cdot t_1)}{l_1} - 1 \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \beta \cdot t_2 = \frac{l_2 \cdot (1 + \beta \cdot t_1)}{l_1} - 1 \cdot \frac{1}{\beta} \Rightarrow t_2 = \frac{1}{\beta} \cdot \left[\frac{l_2 \cdot (1 + \beta \cdot t_1)}{l_1} - 1 \right] \Rightarrow t_2 = \frac{1}{\beta} \cdot \left[\frac{l_2}{l_1} \cdot (1 + \beta \cdot t_1) - 1 \right] =$$

$$\Rightarrow t_2 = \frac{1}{\beta} \cdot \left[\frac{l_2}{l_1} \cdot (1 + \beta \cdot t_1) - 1 \right] = \frac{1}{1.2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}} \cdot \left[\frac{1 \text{ m}}{0.998 \text{ m}} \cdot \left(1 + 1.2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K} \cdot 20 \text{ K} \right) - 1 \right] = 187.04 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Vježba 246

Željezna šipka dugačka je pri 20 °C 9.98 dm. Pri kojoj će temperaturi šipka biti dugačka 100 cm? (koeficijent linearnog rastezanja željeza $\beta = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$)

Rezultat: 187.04 °C.

Zadatak 247 (Biba, gimnazija)

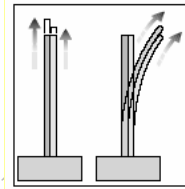
Bimetalna traka od željeza i cinka na 0 °C duga je 40 cm i ravna. Kod koje će temperature cinčana traka biti za 1 mm dulja od željezne?

(koeficijent linearnog rastezanja željeza $\beta_1 = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, koeficijent linearnog rastezanja cinka $\beta_2 = 2.7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$)

Rješenje 247

$l_0 = 40 \text{ cm} = 0.4 \text{ m}$, $\Delta l = 1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$, $\beta_1 = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, $\beta_2 = 2.7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$,
 $t = ?$

Bimetal je kombinacija dvaju metala sa različitim temperaturnim koeficijentima. Kada se zagrije, metal s većim koeficijentom rasteže se više od drugog pa se cijeli bimetal savija. Savijanje je proporcionalno s temperaturom.



Kad štapa nekog čvrstog tijela, koji prema dogovoru pri 0 °C ima duljinu l_0 , povisimo temperaturu za t (od 0 °C do t), on će se produljiti za:

$$\Delta l = \beta \cdot l_0 \cdot t,$$

gdje je β koeficijent linearnog rastezanja koji se definira izrazom:

$$\beta = \frac{l_t - l_0}{l_0 \cdot t}.$$

Jedinica za koeficijent linearnog rastezanja je K^{-1} . Iz izraza za β slijedi da će nakon zagrijavanja duljina štapa biti jednaka:

$$l_t = l_0 \cdot (1 + \beta \cdot t).$$

Budući da je linearni koeficijent rastezanja cinka veći od linearnog rastezanja željeza, bimetal će se saviti tako da će luk cinka biti veći za 1 mm. Pritom vrijedi jednačina:

duljina trake cinka = duljina trake željeza + 1 mm

$$l_2 = l_1 + \Delta l \Rightarrow l_0 \cdot (1 + \beta_2 \cdot t) = l_0 \cdot (1 + \beta_1 \cdot t) + \Delta l \Rightarrow l_0 + l_0 \cdot \beta_2 \cdot t = l_0 + l_0 \cdot \beta_1 \cdot t + \Delta l \Rightarrow$$

$$\Rightarrow l_0 + l_0 \cdot \beta_2 \cdot t = l_0 + l_0 \cdot \beta_1 \cdot t + \Delta l \Rightarrow l_0 \cdot \beta_2 \cdot t = l_0 \cdot \beta_1 \cdot t + \Delta l \Rightarrow l_0 \cdot \beta_2 \cdot t - l_0 \cdot \beta_1 \cdot t = \Delta l \Rightarrow$$

$$\Rightarrow l_0 \cdot t \cdot (\beta_2 - \beta_1) = \Delta l \Rightarrow l_0 \cdot t \cdot (\beta_2 - \beta_1) = \Delta l \cdot \frac{1}{l_0 \cdot (\beta_2 - \beta_1)} \Rightarrow t = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot (\beta_2 - \beta_1)} =$$

$$= \frac{0.001 \text{ m}}{0.4 \text{ m} \cdot \left(2.7 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}} - 1.2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}} \right)} = 166.7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Vježba 247

Bimetalna traka od željeza i cinka na $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ duga je 4 dm i ravna. Kod koje će temperature cinčana traka biti za 0.1 cm dulja od željezne?

(koeficijent linearnog rastezanja željeza $\beta_1 = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, koeficijent linearnog rastezanja cinka $\beta_2 = 2.7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$)

Rezultat: 166.7 $^\circ\text{C}$.

Zadatak 248 (Biba, gimnazija)

Srebrna kugla uronjena u vodu od $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ istisne 10 cm^3 vode, uronjena u vodu od $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ istisne 10.057 cm^3 . Koliki je kubični koeficijent rastezanja srebra?

Rješenje 248

$$V_0 = 10 \text{ cm}^3, \quad t = 100 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad V_t = 10.057 \text{ cm}^3, \quad \alpha = ?$$

Kad čvrstom tijelu povisimo temperaturu, njegove se dimenzije povećaju. Ima li tijelo takav oblik da duljina premašuje ostale dimenzije (žice, štapovi, cijevi), govorimo o linearnom rastezanju čvrstog tijela. Kad štapu nekoga čvrstog tijela, koji prema dogovoru pri $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ima duljinu l_0 , povisimo temperaturu za t (od $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ do t), on će se produžiti za

$$\Delta l = \beta \cdot l_0 \cdot t,$$

gdje je β koeficijent linearnog rastezanja koji se definira izrazom

$$\beta = \frac{l_t - l_0}{l_0 \cdot t}.$$

Ako su sve dimenzije čvrstog tijela podjednako izražene, riječ je o kubičnom rastezanju. Neka tijelo pri $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ima obujam V_0 . Povisimo li tijelu temperaturu za t (od $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ do t), njegov će se obujam povećati za

$$\Delta V = \alpha \cdot t \cdot V_0,$$

gdje je α koeficijent kubičnog rastezanja.

Između tih koeficijenata rastezanja postoji odnos

$$\alpha = 3 \cdot \beta.$$

Pri temperaturi t tijelo će imati obujam

$$V_t = V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t) \text{ ili } V_t = V_0 \cdot (1 + 3 \cdot \beta \cdot t).$$

Taj izraz vrijedi i za kubično rastezanje tekućina, kao i za šuplja čvrsta tijela.

Budući da tlak u tekućini ovisi o dubini, na tijelo uronjeno u tekućinu djeluje tekućina odozdo većom silom nego odozgo, tj. na tijelo djeluje uzgon. Za uzgon vrijedi Arhimedov zakon:

$$F_{uz} = \rho_t \cdot g \cdot V,$$

gdje je ρ_t gustoća tekućine, g ubrzanje sile teže, V obujam uronjenog dijela tijela. Tijelo uronjeno u tekućinu postaje lakše za iznos težine tekućine koju je istisnulo svojim obujmom. Težina tijela uronjenog u fluid manja je za silu uzgona od težine tijela u vakuumu.

Obujam istisnute vode jednak je obujmu srebrne kugle (Arhimedov zakon). Na tom načelu mjeri se obujam čvrstog tijela pomoću menzure.

Budući da se radi o kubičnom rastezanju tijela, vrijedi:

$$\begin{aligned} V_t &= V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t) \Rightarrow V_t = V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t) \cdot \frac{1}{V_0} \Rightarrow \frac{V_t}{V_0} = 1 + \alpha \cdot t \Rightarrow 1 + \alpha \cdot t = \frac{V_t}{V_0} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \alpha \cdot t = \frac{V_t}{V_0} - 1 \Rightarrow \alpha \cdot t = \frac{V_t}{V_0} - 1 \cdot \frac{1}{t} \Rightarrow \alpha = \frac{1}{t} \cdot \left[\frac{V_t}{V_0} - 1 \right] = \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{100 \text{ K}} \cdot \left[\frac{10.057 \text{ cm}^3}{10 \text{ cm}^3} - 1 \right] = 0.000057 \frac{1}{\text{K}} = 5.7 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}.$$

Vježba 248

Srebrna kugla uronjena u vodu od 0 °C istisne 10000 mm³ vode, uronjena u vodu od 100 °C istisne 10057 mm³. Koliki je kubni koeficijent rastezanja srebra?

Rezultat: $5.7 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}.$

Zadatak 249 (Mile, srednja škola)

Miješanjem jednakih količina leda i vode dobili smo vodu temperature 0 °C. Kolika je bila temperatura vode ako je temperatura leda bila 0 °C? (specifična toplina taljenja leda $\lambda_l = 3.3 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$, specifični toplinski kapacitet vode $c_v = 4.19 \cdot 10^3 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}$)

Rješenje 249

$$m_l = m_v = m, \quad t = 0 \text{ °C}, \quad t_l = 0 \text{ °C}, \quad \lambda_l = 3.3 \cdot 10^5 \text{ J/kg}, \quad c_v = 4.19 \cdot 10^3 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)},$$

$$t_2 = ?$$

Zakon očuvanja energije:

- Energija se ne može ni stvoriti ni uništiti, već samo pretvoriti iz jednog oblika u drugi.
- Ukupna energija zatvorenog (izoliranog) sustava konstantna je bez obzira na to koji se procesi zbivaju u tom sustavu.
- Kad se u nekom procesu pojavi gubitak nekog oblika energije, mora se pojaviti i jednak prirast nekog drugog oblika energije.

Toplina koju neko tijelo zagrijavanjem primi odnosno hlađenjem izgubi jednaka je

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \Rightarrow Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1),$$

gdje je m masa tijela, c specifični toplinski kapacitet, a Δt promjena temperature tijela.

Toplinu koju moramo predati čvrstom tijelu mase m da bi se ono rastalilo možemo izračunati iz izraza

$$Q = m \cdot \lambda,$$

gdje je λ specifična toplina taljenja.

Toplina koja se oslobodi kad se led rastali jednaka je toplini koju je dobila voda.

$$Q_l = Q_v \Rightarrow m_l \cdot \lambda_l = m_v \cdot c_v \cdot (t_2 - t) \Rightarrow m \cdot \lambda_l = m \cdot c_v \cdot (t_2 - t) \Rightarrow m \cdot \lambda_l = m \cdot c_v \cdot (t_2 - t) \cdot \frac{1}{m \cdot c_v} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t_2 - t = \frac{\lambda_l}{c_v} \Rightarrow t_2 = \frac{\lambda_l}{c_v} + t = \frac{3.3 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}{4.19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} + 0 \text{ °C} = 78.76 \text{ °C}.$$

Vježba 249

Miješanjem 1 kg vode i 1 kg leda dobili smo vodu temperature 0 °C. Kolika je bila temperatura vode ako je temperatura leda bila 0 °C? (specifična toplina taljenja leda $\lambda_l = 3.3 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$, specifični toplinski kapacitet vode $c_v = 4.19 \cdot 10^3 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}$)

Rezultat: 78.76 °C.

Zadatak 250 (Josipa, srednja škola)

Kameni blok padne sa visine 5 m. Za koliko će se povećati njegova temperatura ako se cjelokupna kinetička energija pretvori u unutarnju energiju? ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$, specifični toplinski kapacitet kamena $c = 1040 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}$)

Rješenje 250

$$h = 5 \text{ m}, \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2, \quad c = 1040 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}, \quad \Delta t = ?$$

Zakon očuvanja energije:

- Energija se ne može ni stvoriti ni uništiti, već samo pretvoriti iz jednog oblika u drugi.
- Ukupna energija zatvorenog (izoliranog) sustava konstantna je bez obzira na to koji se procesi zbivaju u tom sustavu.
- Kad se u nekom procesu pojavi gubitak nekog oblika energije, mora se pojaviti i jednak prirast nekog drugog oblika energije.

Toplina koju neko tijelo zagrijavanjem primi odnosno hlađenjem izgubi jednaka je

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t,$$

gdje je m masa tijela, c specifični toplinski kapacitet, a Δt promjena temperature tijela.

Potencijalna energija je energija međudjelovanja tijela. Ona ovisi o međusobnom položaju tijela ili o međusobnom položaju dijelova tijela. U polju sile teže tijelo mase m ima gravitacijsku potencijalnu energiju

$$E_{gp} = m \cdot g \cdot h,$$

gdje je g akceleracija slobodnog pada, a h vertikalna udaljenost tijela od mjesta gdje bi prema dogovoru tijelo imalo energiju nula.

Zbog zakona o očuvanju energije kinetička energija jednaka je gravitacijskoj potencijalnoj energiji koja se pretvara u unutarnju energiju kamena.

$$E_{gp} = Q \Rightarrow m \cdot g \cdot h = m \cdot c \cdot \Delta t \Rightarrow m \cdot g \cdot h = m \cdot c \cdot \Delta t \cdot \frac{1}{m \cdot c} \Rightarrow \Delta t = \frac{g \cdot h}{c} = \frac{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5 \text{ m}}{1040 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = 0.047 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Vježba 250

Kameni blok padne sa visine 10 m. Za koliko će se povećati njegova temperatura ako se cjelokupna kinetička energija pretvori u unutarnju energiju? ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$, specifični toplinski kapacitet kamena $c = 1040 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}$)

Rezultat: 0.094 °C.

Zadatak 251 (Luka, gimnazija)

U posudi se nalazi voda obujma 5 litara i temperature 3 °C. U posudu se zatim unese 500 grama leda temperature 0 °C. Koliko će se leda istopiti u vodi? (specifični toplinski kapacitet vode $c = 4186 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}$, specifična toplina taljenja leda $\lambda = 0.33 \text{ MJ/kg}$)

Rješenje 251

$$V = 5 \text{ l} \Rightarrow m = 5 \text{ kg}, \quad t = 3 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad m_1 = 500 \text{ g} = 0.5 \text{ kg}, \quad t_1 = 0 \text{ } ^\circ\text{C}, \\ c = 4186 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}, \quad \lambda = 0.33 \text{ MJ / kg} = 3.3 \cdot 10^5 \text{ J / kg}, \quad m_2 = ?$$

Zakon očuvanja energije:

- Energija se ne može ni stvoriti ni uništiti, već samo pretvoriti iz jednog oblika u drugi.
- Ukupna energija zatvorenog (izoliranog) sustava konstantna je bez obzira na to koji se procesi zbivaju u tom sustavu.
- Kad se u nekom procesu pojavi gubitak nekog oblika energije, mora se pojaviti i jednak prirast nekog drugog oblika energije.

Toplina Q je onaj dio unutarnje energije tijela koji prelazi s jednog tijela na drugo zbog razlike temperatura tih tijela. Toplina koju neko tijelo zagrijavanjem primi odnosno hlađenjem izgubi jednaka je

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \Rightarrow Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1),$$

gdje je m masa tijela, c specifični toplinski kapacitet, a Δt promjena temperature tijela.

Taljenje je proces prijelaza tvari iz čvrstog agregatnog stanja u tekuće agregatno stanje. Talište je

temperatura pri kojoj se čvrsto tijelo tali (odnosno očvršćuje) pri normiranom tlaku. Ta temperatura ostaje nepromijenjena sve dok se tvar ne rastali, odnosno očvrstne.
 Toplinu koju moramo predati čvrstom tijelu mase m da bi se ono rastalilo možemo izračunati iz izraza

$$Q = m \cdot \lambda,$$

gdje je λ specifična toplina taljenja.

Količina topline Q koju oslobodi voda mase m pri hlađenju od t temperature do t_1 temperature iznosi:

$$Q = m \cdot c \cdot (t - t_1).$$

Tom količinom topline može se istopiti led mase m_1 .

$$\left. \begin{aligned} Q &= m \cdot c \cdot (t - t_1) \\ Q &= m_2 \cdot \lambda \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{metoda} \\ \text{komparacije} \end{array} \right] \Rightarrow m_2 \cdot \lambda = m \cdot c \cdot (t - t_1) \Rightarrow m_2 \cdot \lambda = m \cdot c \cdot (t - t_1) /: \frac{1}{m_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{m \cdot c \cdot (t - t_1)}{m_2} = \frac{5 \text{ kg} \cdot 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (3^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C})}{3.3 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 0.19 \text{ kg}.$$

Vježba 251

U posudi se nalazi voda obujma 10 litara i temperature 3°C . U posudu se zatim unese 500 grama leda temperature 0°C . Koliko će se leda istopiti u vodi? (specifični toplinski kapacitet vode $c = 4186 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$, specifična toplina taljenja leda $\lambda = 0.33 \text{ MJ/kg}$)

Rezultat: 0.38 kg.

Zadatak 252 (Luka, gimnazija)

Idealni plin se pri stalnom tlaku od $2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ širi od početnog obujma iznosa 2.5 litara do konačnog obujma od 7.5 litara. Plin pritom procesu obavi rad iznosa _____.

Rješenje 252

$$p = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}, \quad V_1 = 2.5 \text{ l} = 2.5 \text{ dm}^3 = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3, \quad V_2 = 7.5 \text{ l} = 7.5 \text{ dm}^3 = 7.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3,$$

$W = ?$

Kada plinu dovodimo toplinu uz stalan tlak (izobarna promjena), plin se rasteže i obavlja rad koji je jednak

$$W = p \cdot \Delta V \Rightarrow W = p \cdot (V_2 - V_1).$$

1. inačica

Rad plina iznosi:

$$W = p \cdot (V_2 - V_1) = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot (7.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 - 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3) = 1000 \text{ J} = 1 \text{ kJ}.$$

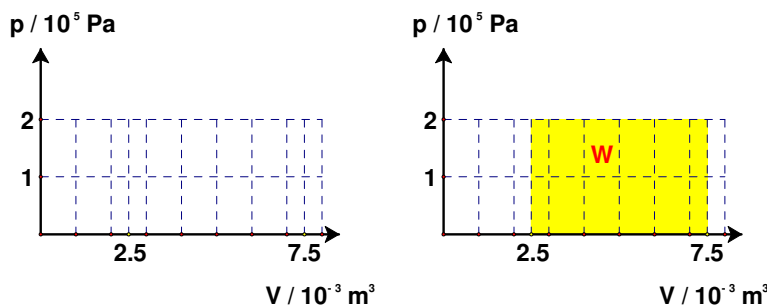
2. inačica

Zadatak rješavamo grafički.

Ploština pravokutnika, duljina stranica a i b , računa se po formuli

$$P = a \cdot b.$$

Nacrtamo p, V – dijagram.



U p, V – dijagramu rad je proporcionalan ploštini ispod krivulje. Budući da je rad W proporcionalan ploštini ispod krivulje (ploštini pravokutnika), slijedi:

$$W = (7.5 - 2.5) \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 2 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1000 \text{ J} = 1 \text{ kJ}.$$

Vježba 252

Idealni plin se pri stalnom tlaku od $2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ širi od početnog obujma iznosa 3.5 litara do konačnog obujma od 8.5 litara. Plin pritom procesu obavi rad iznosa _____.

Rezultat: 1000 J.

Zadatak 253 (Ivan, gimnazija)

Aluminijska raketa, ispaljena vertikalno, dosegne najveću visinu 150 km, gdje ima temperaturu $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Kad raketa padne na zemlju njezina je brzina 600 m/s. Kolika je bila temperatura rakete u času kad je dodirnula zemlju ako je raketa zadržala polovicu topline nastale trenjem u zraku? (specifični toplinski kapacitet aluminijska $c = 920 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$)

Rješenje 253

$$h = 150 \text{ km} = 1.5 \cdot 10^5 \text{ m}, \quad t_1 = 50 \text{ }^\circ\text{C}, \quad v = 600 \text{ m/s}, \quad c = 920 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}), \\ g = 9.81 \text{ m/s}^2, \quad t = ?$$

Toplina Q je onaj dio unutarnje energije tijela koji prelazi s jednog tijela na drugo zbog razlike temperatura tih tijela. Toplina koju neko tijelo zagrijavanjem primi odnosno hlađenjem izgubi jednaka je

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \Rightarrow Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1),$$

gdje je m masa tijela, c specifični toplinski kapacitet, a Δt promjena temperature tijela.

Potencijalna energija je energija međudjelovanja tijela. Ona ovisi o međusobnom položaju tijela ili o međusobnom položaju dijelova tijela. U polju sile teže tijelo mase m ima gravitacijsku potencijalnu energiju

$$E_{gp} = m \cdot g \cdot h,$$

gdje je g akceleracija slobodnog pada, a h vertikalna udaljenost tijela od mjesta gdje bi prema dogovoru tijelo imalo energiju nula.

Tijelo mase m i brzine v ima kinetičku energiju

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2.$$

Kad tijelo obavlja rad, mijenja mu se energija. Promjena energije tijela jednaka je utrošenom radu. Raketa je na visini h imala gravitacijsku potencijalnu energiju

$$E_{gp} = m \cdot g \cdot h.$$

U času kada je dodirnula zemlju ima energiju u obliku kinetičke energije.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2.$$

Budući da je raketa zadržala samo polovicu topline nastale trenjem u zraku, vrijedi jednačina:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot (E_{gp} - E_k) \Rightarrow m \cdot c \cdot (t - t_1) = \frac{1}{2} \cdot \left(m \cdot g \cdot h - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \right) \Rightarrow m \cdot c \cdot (t - t_1) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(g \cdot h - \frac{1}{2} \cdot v^2 \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m \cdot c \cdot (t - t_1) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(g \cdot h - \frac{1}{2} \cdot v^2 \right) \cdot \frac{1}{m \cdot c} \Rightarrow t - t_1 = \frac{1}{2 \cdot c} \cdot \left(g \cdot h - \frac{1}{2} \cdot v^2 \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t = \frac{1}{2 \cdot c} \cdot \left(g \cdot h - \frac{1}{2} \cdot v^2 \right) + t_1 = \frac{1}{2 \cdot 920 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} \cdot \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1.5 \cdot 10^5 \text{ m} - \frac{1}{2} \cdot \left(600 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \right) + 50 \text{ }^\circ\text{C} = 751.9 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Vježba 253

Aluminijska raketa, ispaljena vertikalno, dosegne najveću visinu 150 km, gdje ima temperaturu 100 °C. Kad raketa padne na zemlju njezina je brzina 600 m/s. Kolika je bila temperatura rakete u času kad je dodirnula zemlju ako je raketa zadržala polovicu topline nastale trenjem u zraku? (specifični toplinski kapacitet aluminijska $c = 920 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$)

Rezultat: 801.9 °C.

Zadatak 254 (Mile, srednja škola)

Koliko je topline potrebno predati željeznom štapu mase 1 kg i duljine 1 m da se produlji za 1 mm? (specifični toplinski kapacitet željeza $c = 460 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, koeficijent linearnog rastezanja željeza $\beta = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$)

Rješenje 254

$m = 1 \text{ kg}$, $l_0 = 1 \text{ m}$, $\Delta l = 1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$, $c = 460 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $\beta = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$,
 $Q = ?$

Toplina Q je onaj dio unutarnje energije tijela koji prelazi s jednog tijela na drugo zbog razlike temperatura tih tijela. Toplina koju neko tijelo zagrijavanjem primi odnosno hlađenjem izgubi jednaka je

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \Rightarrow Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1),$$

gdje je m masa tijela, c specifični toplinski kapacitet, a Δt promjena temperature tijela.

Kad čvrstom tijelu povišimo temperaturu, njegove se dimenzije povećaju. Ima li tijelo takav oblik da duljina premašuje ostale dimenzije (žice, štapovi, cijevi), govorimo o linearnom rastezanju čvrstog tijela. Kad štapu nekoga čvrstog tijela, koji prema dogovoru pri 0 °C ima duljinu l_0 , povišimo temperaturu za t (od 0 °C do t), on će se produljiti za

$$\Delta l = \beta \cdot l_0 \cdot t$$

gdje je β koeficijent linearnog rastezanja.

Tražena količina topline Q iznosi:

$$\left. \begin{array}{l} Q = m \cdot c \cdot \Delta t \\ \Delta l = \beta \cdot l_0 \cdot \Delta t \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} Q = m \cdot c \cdot \Delta t \\ \beta \cdot l_0 \cdot \Delta t = \Delta l \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} Q = m \cdot c \cdot \Delta t \\ \beta \cdot l_0 \cdot \Delta t = \Delta l \cdot \frac{1}{\beta \cdot l_0} \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} Q = m \cdot c \cdot \Delta t \\ \Delta t = \frac{\Delta l}{\beta \cdot l_0} \end{array} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{metoda} \\ \text{supstitucije} \end{array} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q = m \cdot c \cdot \frac{\Delta l}{\beta \cdot l_0} = 1 \text{ kg} \cdot 460 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \frac{0.001 \text{ m}}{1.2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}} \cdot 1 \text{ m}} = 38333.33 \text{ J} \approx 3.8333 \cdot 10^4 \text{ J} \approx 38.333 \text{ kJ}.$$

Vježba 254

Koliko je topline potrebno predati željeznom štapu mase 100 dag i duljine 10 dm da se produlji za 1 mm? (specifični toplinski kapacitet željeza $c = 460 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, koeficijent linearnog rastezanja željeza $\beta = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$)

Rezultat: 38.333 kJ.

Zadatak 255 (Mateo, srednja škola)

Grijač u bojleru zagrijava 40 litara vode temperature 15 °C do temperature 70 °C. Odredite snagu grijača ako to postigne za 2 sata. (specifični toplinski kapacitet vode $c = 4200 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, gustoća vode $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$)

Rješenje 255

$V = 40 \text{ l} = 40 \text{ dm}^3 = 0.040 \text{ m}^3$, $t_1 = 15 \text{ °C}$, $t_2 = 70 \text{ °C}$, $t = 2 \text{ h} = 7200 \text{ s}$,
 $c = 4200 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $P = ?$

Toplina Q je onaj dio unutarnje energije tijela koji prelazi s jednog tijela na drugo zbog razlike temperatura tih tijela. Toplina koju neko tijelo zagrijavanjem primi odnosno hlađenjem izgubi jednaka je

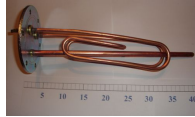
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \Rightarrow Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1),$$

gdje je m masa tijela, c specifični toplinski kapacitet, a Δt promjena temperature tijela. Gustoću ρ neke tvari možemo naći iz omjera mase tijela i njegova obujma:

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

Brzinu rada izražavamo snagom. Snaga P jednaka je omjeru rada W i vremena t za koje je rad obavljen, tj.

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P \cdot t.$$



Budući da grijač snage P za vrijeme t preda toplinu potrebnu za zagrijavanje vode mase m u bojleru, slijedi:

$$W = Q \Rightarrow P \cdot t = m \cdot c \cdot \Delta t \Rightarrow [m = \rho \cdot V] \Rightarrow P \cdot t = \rho \cdot V \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \Rightarrow P \cdot t = \rho \cdot V \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \cdot \frac{1}{t} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P = \frac{\rho \cdot V \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{t} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.040 \text{ m}^3 \cdot 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (70 - 15) \text{ K}}{7200 \text{ s}} = 1283.33 \text{ W}.$$

Vježba 255

Grijač u bojleru zagrijava 40 litara vode temperature 25 °C do temperature 80 °C. Odredite snagu grijača ako to postigne za 2 sata. (specifični toplinski kapacitet vode $c = 4200 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, gustoća vode $\rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$)

Rezultat: 1283.33 W.

Zadatak 256 (Tony, gimnazija)

Neki plin nalazi se na temperaturi 27 °C i na tlaku znatno nižem od atmosferskog. Za koliko treba povećati temperaturu plina da se njegov tlak poveća 100%?

Rješenje 256

$$t_1 = 27 \text{ °C} \Rightarrow T_1 = 273 + t_1 = 273 + 27 = 300 \text{ K}, \quad p_1 = p,$$

$$p_2 = p_1 + 100\% \cdot p_1 = p + \frac{100}{100} \cdot p = p + p = 2 \cdot p, \quad \Delta T = ?$$

Mijenja li se temperatura nekoj masi plina stalnog obujma (izohorna promjena), mijenjat će se tlak plina prema Charlesovu zakonu:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

Računamo temperaturu T_2 plina na kojoj se njegov tlak poveća 100%.

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \cdot \frac{T_1 \cdot T_2}{p_1} \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \frac{p_2}{p_1}.$$

Tada povećanje temperature iznosi:

$$\Delta T = T_2 - T_1 \Rightarrow \Delta T = T_1 \cdot \frac{p_2}{p_1} - T_1 \Rightarrow \Delta T = T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) =$$

$$= 300 \text{ K} \cdot \left(\frac{2 \cdot p}{p} - 1 \right) = 300 \text{ K}.$$

Uočimo da je povećanje temperature u Celzijevim stupnjevima

$$\Delta t = 300 \text{ }^\circ\text{C}$$

jer vrijedi

$$\Delta T = \Delta t.$$

Temperaturni interval izražen kelvinima jednak je temperaturnom intervalu izraženom Celzijevim stupnjevima.

Vježba 256

Neki plin nalazi se na temperaturi $27 \text{ }^\circ\text{C}$ i na tlaku znatno nižem od atmosferskog. Za koliko treba povećati temperaturu plina da se njegov tlak poveća 200%?

Rezultat: 600 K.

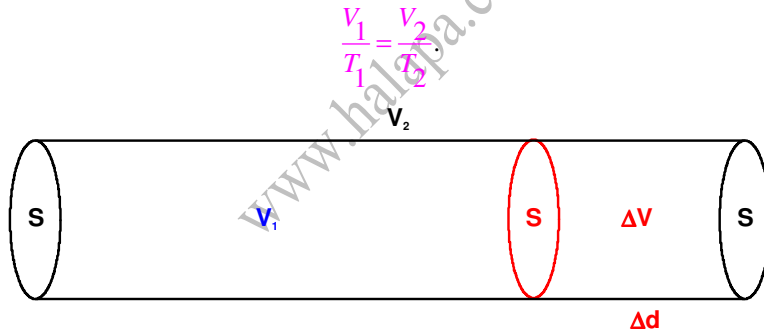
Zadatak 257 (Tony, gimnazija)

U valjkastoj posudi sa pokretnim klipom, ploštine $S = 500 \text{ cm}^2$, nalazi se plin temperature $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ čiji je obujam $V = 4$ litre. Za koliko će se pomaknuti klip ako se plin zagrije na $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$?

Rješenje 257

$$S = 500 \text{ cm}^2, \quad t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_1 = 273 + t_1 = 273 + 20 = 293 \text{ K}, \quad V = 4 \text{ l} = 4 \text{ dm}^3 = 4000 \text{ cm}^3, \quad t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_2 = 273 + t_2 = 273 + 100 = 373 \text{ K}, \quad \Delta d = ?$$

Kad je tlak plina stalan, a mijenja se temperatura (izobarna promjena), obujam dane mase plina mijenjat će se prema Gay – Lussacovu [Gej – Lisak] zakonu. Jednadžba u termodinamičkoj ljestvici temperature glasi:



Nakon zagrijavanja plina njegov obujam V_2 je:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \cdot T_2 \Rightarrow V_2 = V_1 \cdot \frac{T_2}{T_1}.$$

Promjena obujma plina iznosi:

$$\Delta V = V_2 - V_1 \Rightarrow \Delta V = V_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} - V_1 \Rightarrow \Delta V = V_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right).$$

Promjena obujma plina u valjkastoj posudi može se izraziti pomoću formule za obujam valjka:

$$\Delta V = S \cdot \Delta d.$$

Iz sustava jednadžbi izračunamo duljinu Δd za koju se klip pomakne.

$$\left. \begin{array}{l} \Delta V = V_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \\ \Delta V = S \cdot \Delta d \end{array} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{metoda} \\ \text{komparacije} \end{array} \right] \Rightarrow S \cdot \Delta d = V_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \Rightarrow S \cdot \Delta d = V_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \cdot \frac{1}{S} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta d = \frac{V_1}{S} \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = \frac{4000 \text{ cm}^3}{500 \text{ cm}^2} \cdot \left(\frac{373 \text{ K}}{293 \text{ K}} - 1 \right) = 2.18 \text{ cm}.$$

Vježba 257

U valjkastoj posudi sa pokretnim klipom, ploštine $S = 1000 \text{ cm}^2$, nalazi se plin temperature $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ čiji je obujam $V = 8$ litara. Za koliko će se pomaknuti klip ako se plin zagrije na $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$?

Rezultat: 2.18 cm.

Zadatak 258 (Lucky, gimnazija)

Koliko se poveća unutarnja energija vodika mase 10 g pri izohornom zagrijavanju od $0 \text{ }^\circ\text{C}$ do $300 \text{ }^\circ\text{C}$? (Specifični toplinski kapacitet vodika pri stalnom volumenu je $10100 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}$)

Rješenje 258

$$m = 10 \text{ g} = 0.01 \text{ kg}, \quad t_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}, \quad t_2 = 300 \text{ }^\circ\text{C}, \quad c = 10100 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}, \quad \Delta U = ?$$

Toplina koju neko tijelo zagrijavanjem primi odnosno hlađenjem izgubi jednaka je

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \Rightarrow Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1),$$

gdje je m masa tijela, c specifični toplinski kapacitet, a Δt promjena temperature tijela.

Kad plinu dovodimo toplinu uz stalan tlak (izobarna promjena), plin se rasteže i obavlja rad koji je jednak

$$W = p \cdot \Delta V \Rightarrow W = p \cdot (V_2 - V_1).$$

Unutarnju energiju tijela možemo promijeniti na dva načina:

- međusobnim dodiranjem dvaju tijela različitih temperatura
- mehaničkim radom.

Općenito to možemo izraziti ovako:

$$\Delta U = Q - W,$$

gdje je:

- ΔU – promjena unutarnje energije tijela
- Q – toplina
- W – mehanički rad.

Rad W može biti pozitivan ili negativan:

- $W > 0$ (pozitivan), ako sustav obavlja rad
- $W < 0$ (negativan), ako rad obavljaju vanjske sile.

Toplina Q može biti pozitivna ili negativna:

- $Q > 0$ (pozitivna), ako toplinu dovodimo sustavu
- $Q < 0$ (negativna), ako toplinu odvodimo od sustava.

Budući da se plin izohorno zagrijava (volumen je stalan), vrijedi:

$$\left. \begin{array}{l} W = p \cdot \Delta V \\ \Delta V = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow W = p \cdot 0 \Rightarrow W = 0.$$

Povećanje unutarnje energije vodika iznosi:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta U = Q - W \\ W = 0 \\ Q = m \cdot c \cdot \Delta t \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \Delta U = Q \\ Q = m \cdot c \cdot \Delta t \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta U = m \cdot c \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta U = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) =$$

$$= 0.01 \text{ kg} \cdot 10100 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (300 - 0) \text{ K} = 30300 \text{ J} = 30.3 \text{ kJ}.$$

Vježba 258

Koliko se poveća unutarnja energija vodika mase 1 dag pri izohornom zagrijavanju od 50 °C do 350 °C? (Specifični toplinski kapacitet vodika pri stalnom volumenu je 10100 J / (kg · K))

Rezultat: 30.3 kJ.

Zadatak 259 (Matea, medicinska škola)

Pri stalnome tlaku od 10^5 Pa plin obavi rad od 1000 J. Za koliko se povećao obujam plina?

Rješenje 259

$$p = 10^5 \text{ Pa}, \quad W = 1000 \text{ J}, \quad \Delta V = ?$$

Kad plinu dovodimo toplinu uz stalan tlak (izobarna promjena), plin se rasteže i obavlja rad koji je jednak

$$W = p \cdot (V_2 - V_1) \Rightarrow W = p \cdot \Delta V.$$

Povećanje obujma plina iznosi:

$$\begin{aligned} W = p \cdot \Delta V \Rightarrow W = p \cdot \Delta V \cdot \frac{1}{p} \Rightarrow \Delta V &= \frac{W}{p} = \frac{1000 \text{ J}}{10^5 \text{ Pa}} = 0.01 \text{ m}^3 = 10^{-2} \text{ m}^3 = \\ &= \left[\begin{array}{l} 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 \\ 1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ l} \end{array} \right] = 10^{-2} \text{ m}^3 = 10^{-2} \cdot 10^3 \text{ dm}^3 = 10 \text{ dm}^3 = 10 \text{ l}. \end{aligned}$$

Vježba 259

Pri stalnome tlaku od 10^6 Pa plin obavi rad od 10000 J. Za koliko se povećao obujam plina?

Rezultat: 10 litara.

Zadatak 260 (Matea, medicinska škola)

Pri stalnome tlaku od $2 \cdot 10^5$ Pa na plinu se obavi rad od 1000 J. Za koliko se smanjio obujam plina?

Rješenje 260

$$p = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}, \quad W = 1000 \text{ J}, \quad \Delta V = ?$$

Rad W može biti pozitivan ili negativan:

- $W > 0$ (pozitivan), ako sustav obavlja rad
- $W < 0$ (negativan), ako rad obavljaju vanjske sile.

Kad plinu dovodimo toplinu uz stalan tlak (izobarna promjena), plin se rasteže i obavlja rad koji je jednak

$$W = p \cdot (V_2 - V_1) \Rightarrow W = p \cdot \Delta V.$$

Budući da se na plinu obavi rad, smanjenje njegova obujma iznosi:

$$\begin{aligned} W = p \cdot \Delta V \Rightarrow W = p \cdot \Delta V \cdot \frac{1}{p} \Rightarrow \Delta V &= \frac{W}{p} = \frac{1000 \text{ J}}{2 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 0.005 \text{ m}^3 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = \\ &= \left[\begin{array}{l} 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 \\ 1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ l} \end{array} \right] = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 \text{ dm}^3 = 5 \cdot 10^0 \text{ dm}^3 = 5 \cdot 1 \text{ dm}^3 = 5 \text{ dm}^3 = 5 \text{ l}. \end{aligned}$$

Vježba 260

Pri stalnome tlaku od $4 \cdot 10^5$ Pa na plinu se obavi rad od 2000 J. Za koliko se smanjio obujam plina?

Rezultat: 5 litara.