

Kontrolltöö soojusõpetusest.

1. Milline on sõiduauto mootori kasutegur, kui sõiduk kulutab tunnis 7 l diislikütust ning auto keskmine vimsus sel ajal on 25 kW? Diislikütuse tihedus on 700 kg/m^3 ning kütteväärtus 42 MJ/kg . Eeldades, et auto jahutusvedeliku temperatuur on 90°C ning mootoris oleva gaasisegu tipptemperatuur 1400°C leida antud mootori kasutegur, kui see töötab Carnot' tsükli alusel. (7 p).

Lahendus.

Andmed:

$$V = 7 \text{ l} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$N = 25 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$\rho = 700 \text{ kg/m}^3$$

$$t = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$k = 42 \text{ MJ/kg} = 42 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

$$T_1 = 90^\circ\text{C} = 363 \text{ K}$$

$$T_2 = 1400^\circ\text{C} = 1673 \text{ K}$$

$$\eta = ?$$

$$\eta_{id} = ?$$

$$\eta = \frac{A}{Q}, \quad A = Nt, \quad \Rightarrow \quad \eta = \frac{Nt}{Q},$$

$$Q = km, \quad m = \rho V, \quad \Rightarrow \quad Q = k\rho V$$

Seega valem mootori (antud juhul sõiduki kui terviku) kasuteguri leidmiseks on

$$\eta = \frac{Nt}{k\rho V},$$

$$\eta = \frac{25 \cdot 10^3 \cdot 3600}{42 \cdot 10^6 \cdot 700 \cdot 7 \cdot 10^{-3}} 100\% = 43,7\%.$$

Ideaalse soojusmasina kasutegur:

$$\eta_{id} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} 100\%.$$

$$\eta_{id} = \frac{1673 - 363}{1673} 100\% = 78\%.$$

2. Pipeti otsal läbimõõduga 1,5 mm moodustub tilk, mis kukub alla, kui tilga ruumala on saavutanud väärtuse 0,06 ml. Kui suur on kasutatava vedeliku pindpinevustegur, kui vedeliku tihedus on 700 kg/m^3 ? (5p)

Lahendus.

Andmed:

$$d = 1,5 \text{ mm} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$V = 0,06 \text{ ml} = 0,06 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho = 700 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma = ?$$

Tilga mass on

$$m = \rho V$$

Allapoole tirib tilka raskusjõud

$$F = mg = \rho V g$$

Üleval hoiab tilka pindpinevusjõud $F_p = \sigma l$, kus l on toru ja tilka piirjoone pikkus. Et pipetiots on silindrikujuline, siis selle siseümberrõõd on $l = \pi d$. Vahetult enne alla kukkumist on tilga raskusjõud ja tilka ülevalhoidev pindpinevusjõud võrdsed, st

$$F_p = \sigma l = \pi \sigma d = \rho V g$$

Siit saame avaldada pindpinevusteguri σ :

$$\sigma = \frac{\rho V g}{\pi d}$$

$$\sigma = \frac{700 \cdot 0,06 \cdot 10^{-6} \cdot 9,81}{\pi \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} = 0,087 \text{ N/m}.$$

3. 500 g 80°C -list vett valatakse jää peale. Kui palju jääd saab selle vee jahtumise arvel (kuni 0°C -ni) ära sulatada? Vee erisoojus on $4,19 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$, jää sulamissoojus on 330 kJ/kg . Milline on entroopia

muutus selle protsessi käigus (vee jahtumine + leitud koguse jää sulamine)? (8p)

Lahendus.

Andmed:	Eeldame, et jää on temperatuuril $0^{\circ}C$. Siis energiat saab juurde jää ainult sulamiseks:
$m_1 = 500g = 0,5kg$	$Q_1 = m_2L$.
$T_1 = 80^{\circ}C = 353K$	
$T_2 = 0^{\circ}C = 273K$	Energia annab jahtuv vesi:
$c = 4,190 \cdot 10^3 J/(kg \cdot K)$	$Q_2 = m_1c(T_2 - T_1)$
$L = 330 \cdot 10^3 J/kg$	
$m_2 = ?$	
$\Delta s = ?$	Et $T_2 < T_1$, siis on $Q_2 < 0$, st seega vesi annab tõesti soojust ära. Koostame soojusliku tasakaalu võrrandi:

$$Q_1 + Q_2 = 0, \quad \Rightarrow \quad m_2L + m_1c(T_2 - T_1) = 0.$$

$$m_2 = -\frac{m_1c(T_2 - T_1)}{L}$$

$$m_2 = -\frac{0,5 \cdot 4190 \cdot (-80)}{330000} = 0,5kg$$

Entroopia muudu saame kahe protsessi entroopiamuutude summast:

$$\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2,$$

kus

$$\Delta s_1 = m_1c \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta s_2 = \frac{m_2L}{T_2}$$

Seega

$$\Delta s = 0,5 \cdot 4190 \ln \frac{273}{353} + \frac{0,5 \cdot 330000}{273} = 66 J/K.$$

4. 20 cm-se küljepikkusega kuubi sisse on piagutatud 25 W-ne hõõglamp, nii et väljaspool kuupi on õhu temperatuur $20^{\circ}C$ ning kuubi all $35^{\circ}C$. Kuubi materjal on 10 mm paks. Leida kuubi materjali soojusjuhtivustegur eeldades, et kuubi põhjast läbimineva soojushulga võib jätta arvestamata. Kui palju tõuseb temperatuur kuubis sama hõõglambi kasutamisel kui materjali paksust kahekordistada? (9p)

Lahendus.

Andmed:	Soojusvoog läbi materjali ehk ajaühikus läbi pinna läinud soojushulk on
$a = 0,2m$	$q = \frac{\kappa(T_2 - T_1)S}{l}$
$N = 25W$	
$T_1 = 20^{\circ}C = 293K$	Teisalt on soojushulga muut ajaühikus võrdne võimsusega: $q = Q/t = N$. St, kui lamp eraldab kuubi alla $25W$ võimsust, siis sama palju peab seda ka kogu aeg kuubist välja minema, kui temperatuuride vahe on muutumatu. Seega
$T_2 = 35^{\circ}C = 308K$	
$l_1 = 10mm = 0,01m$	
$l_2 = 20mm = 0,02m$	
$\kappa = ?$	
$T_2' = ?$	$N = \frac{\kappa(T_2 - T_1)S}{l}, \quad \Rightarrow \quad \kappa = \frac{Nl}{S(T_2 - T_1)} = \frac{Nl}{5a^2(T_2 - T_1)}$

Arvestades, et esimesel juhul on $l = l_1$, saame

$$\kappa = \frac{25 \cdot 0,01}{5 \cdot 0,2^2 \cdot 15} = 0,083 \frac{W}{m \cdot K}$$

T'_2 leidmiseks arvestame, et nüüd $l = l_2$ ning $T_2 = T'_2$, siis

$$\begin{aligned}\Delta T &= \frac{Nl_2}{\kappa S}, \Rightarrow T'_2 = \frac{Nl_2}{\kappa S} + T_1 \\ T_2 &= \frac{25 \cdot 0,02}{5 \cdot 0,2^2 \cdot 0,083} + 293 = 323K = 50^\circ C.\end{aligned}$$

5. 20l balloonis on 5 kg lämmastiku rõhk 20 MPa. Mitu korda on van der Waalsi võrrandi järgi arvutatud gaasi temperatuur suurem ideaalse gaasi temperatuurist? Lämmastiku molaarmass on 28 g/mol, van der Waalsi konstandid: $a = 0,136 N \cdot m^4/mol^2$, $b = 3,85 \cdot 10^{-5} m^3/mol$. (8p)

Lahendus.

$\begin{aligned}m &= 5kg \\ V &= 20l = 0,02m^3 \\ p &= 20MPa = 2 \cdot 10^7 Pa \\ M &= 28g/mol = 0,028kg/mol \\ a &= 0,136 \frac{N \cdot m^4}{mol^2} \\ b &= 3,85 \cdot 10^{-5} \frac{m^3}{mol}\end{aligned}$ $\frac{T_v}{T_{id}} = ?$	Ideaalse gaasi olekuvõrrandist $pV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow T = \frac{pVM}{mR}$ Van der Waalsi võrrandist: $\left(p + \frac{az^2}{V}\right)(V - zb) = zRT,$ kus $z = \frac{m}{M}$, $z = 178,6mol$. Seega
--	--

$$T_{id} = \frac{2 \cdot 10^7 \cdot 0,02 \cdot 0,028}{5 \cdot 8,31} = 269K.$$

$$T_v = \frac{1}{178,6 \cdot 8,31} \left(2 \cdot 10^7 + \frac{0,136 \cdot 178,6^2}{0,02} \right) (0,02 - 178,6 \cdot 3,85 \cdot 10^{-5}) = 178K.$$

$$\frac{T_v}{T_{id}} = \frac{178}{269} = 0,66.$$