FIZIKA 1 – ZI 2008./2009. – 2. dio

3. TOPLINA I TEMPERATURA

3.1. UVOD

Veza između Kelvina i Celsiusa:

$$\frac{T}{K} = 273.15 + \frac{t}{°C}, \qquad \Delta t = \Delta T \;\; (K = °C)$$

3.2. TOPLINSKO RASTEZANJE ČVRSTIH TVARI I TEKUĆINA

3.2.1. LINEARNO RASTEZANJE

Kod tijela gdje su dvije dimenzije znatno manje od treće (npr. štapovi, šipke, cijevi i sl.).

$$l = l_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

l – konačna duljina; l_0 – početna duljina; α - koeficijent linearnog rastezanja; ΔT - promjena temperature.

Kad su krajevi takovog tijela učvršćeni tako da se ne može mijenjati njegova duljina, pri temperaturnim promjenama dolazi do mehaničkih napetosti koje štap mogu deformirati, pa i slomiti. Napetosti možemo izračunati preko Hookeovog zakona:

$$p = \frac{\Delta F}{S} = E\frac{\Delta l}{l} = E\alpha\Delta T \,.$$

E – Youngov modul elastičnosti materijala.

3.2.2. POVRŠINSKO RASTEZANJE

Izvodimo iz linearnog:

$$S_0 = a_0 b_0$$

$$S = ab = a_0(1 + \alpha\Delta T) b_0 (1 + \alpha\Delta T) = S_0 (1 + \alpha\Delta T)^2 = S_0 \left(1 + 2\alpha\Delta T + \alpha^2 \Delta T^2\right)$$

$$\alpha^2 \Delta T^2 \to 0, \quad 2\alpha = \beta$$

$$S = S_0 (1 + \beta\Delta T).$$

S – konačna površina; S_0 – početna površina; β – koeficijent površinskog rastezanja; ΔT - promjena temperature.

3.2.3. VOLUMNO RASTEZANJE

Također izvodimo iz linearnog:

$$V_0 = a_0 b_0 c_0$$

$$V = abc = a_0(1 + \alpha\Delta T) b_0 (1 + \alpha\Delta T) c_0 (1 + \alpha\Delta T) = V_0 (1 + \alpha\Delta T)^3 = V_0 \left(1 + 3\alpha\Delta T + 3(\alpha\Delta T)^2 + (\alpha\Delta T)^3\right)$$

$$V = V_0 (1 + 3\alpha\Delta T) = V_0 (1 + \gamma\Delta T).$$

V – konačna površina; V_0 – početna površina; γ – koeficijent volumnog rastezanja; ΔT - promjena temperature.

3.3. PLINSKI ZAKONI

1. Boyle – Mariotteov zakon (T = konst.; izotermna promjena):

$$p_1V_1 = p_2V_2 \Rightarrow pV = konst.$$

2. Gay – Lussacov zakon (p = konst.; izobarna promjena):

Kada se plin izobarno zagrijava, volumen mu se linearno povećava prema sljedećem zakonu:

$$V = V_0(1 + \alpha t)$$

α - toplinski koeficijent širenja plina (približno isti za razne vrste plinova); iznosi oko $\frac{1}{273K}$

$$V = V_0\left(1 + \frac{t}{273K}\right) = V_0\frac{t + 273K}{273K} = V_0\frac{T}{T_0}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0} \Rightarrow \frac{V}{T} = konst.$$

2. Charlesov zakon (V = konst.; izohorna promjena):

Slično kao za izobarnu promjenu:

$$p = p_0(1 + \beta t)$$

β - toplinski koeficijent promjene tlaka – za idealne plinove jednak α

$$p = p_0\left(1 + \frac{t}{273K}\right) = p_0\frac{t + 273K}{273K} = p_0\frac{T}{T_0}$$

$$\frac{p}{p_0} = \frac{T}{T_0} \Rightarrow \frac{p}{T} = konst.$$

3.3. STANDARDNI UVJETI. JEDNADŽBA STANJA IDEALNOG PLINA

Standardni uvjeti (s.u.) su: $T_0 = 273.15K$ i $p_0 = 101325Pa$.

1 molu idealnog plina najprije izobarno:

$$V' = V_0\frac{T}{T_0} \quad (1),$$

a zatim izotermno promijenimo stanje:

$$pV = p_0V' \quad (2),$$

te uvrstimo (1) u (2), dobijemo:

$$pV = p_0V_0\frac{T}{T_0} \Leftrightarrow \frac{pV}{T} = \frac{p_0V_0}{T_0}.$$

To je jedan oblik jednadžbe stanja idealnog plina.

Upotrebom Avogadrovog zakona ta se jednadžba može svesti na još pogodniji oblik.

Avogadrov zakon: *Jednaki volumeni svih plinova pri istoj temperaturi i tlaku imaju jednak broj čestica*.

Iz toga zakona proizlazi da količina tvari 1 mol bilo kojeg plina u istim uvjetima ima jednak volumen koji se zove molarni volumen plina V_m. Pri s.u. molarni volumen je $V_{m0} = 22.4 \cdot 10^{-3} m^3 / mol$.

Univerzalna plinska konstanta *R*:

$$R = \frac{p_0 V_{m0}}{T_0} = \frac{101325 \cdot 22.4 \cdot 10^{-3}}{273.15} J/(molK) = 8.314 J/(molK).$$

Za *n* molova vrijedi:

$$pV = nRT .$$

Ako uvrstimo $n = \frac{m}{M}$, tada plinska jednadžba poprima oblik:

$$pV = \frac{m}{M} RT .$$

Ako umjesto *n* uvrstimo $\frac{N}{N_A}$, gdje je *N* broj čestica koje sadrži sustav, a $N_A = 6.022 \cdot 10^{23} mol^{-1}$ Avogadrova konstanta, onda jednadžba stanja idealnog plina poprima oblik:

$$pV = \frac{N}{N_A} RT = N \frac{R}{N_A} T = N k_B T ,$$

gdje je $k_B = \frac{R}{N_A} = \frac{8.314}{6.022 \cdot 10^{23}} J/K = 1.38 \cdot 10^{-23} J/K$ Boltzmanova konstanta.

3.4. DALTONOV ZAKON PARCIJALNIH TLAKOVA

Ukupan tlak smjese plinova jednak je sumi tlakova pojedinih plinova u posudi volumena *V* i temperature *T*.

$$n_{uk} = n_1 + ... + n_k$$

$$p_{uk} = \frac{n_{uk} RT}{V} = p_1 + ... + p_k .$$

3.5. KOLIČINA TOPLINE. SPECIFIČNI TOPLINSKI KAPACITET

Toplinski kapacitet nekog tijela definira se kao omjer topline Q, koju je potrebno dovesti tijelu da bi mu se povisila temperatura za ΔT, i temperaturne razlike ΔT:

$$C_t = \frac{Q}{\Delta T}.$$

Specifični toplinski kapacitet dobijemo tako da se toplinski kapacitet podijeli s masom:

$$c = \frac{C_t}{m} = \frac{\frac{Q}{\Delta T}}{m} = \frac{Q}{m\Delta T}.$$

Toplina Q koju dovodimo nekom tijelu, ili od tog tijela odvodimo jest:

$$Q = mc\Delta T .$$

Općenito je specifični toplinski kapacitet funkcija temperature, te se gornje jednadžbe pišu u obliku:

$$c = \frac{1}{m}\frac{dQ}{dT}$$

$$Q = m\int_{T_1}^{T_2} c dT$$

Molarni toplinski kapacitet C jest omjer toplinskog kapaciteta i množine tvari:

$$C = \frac{1}{n}\frac{dQ}{dT} = \frac{1}{n}mc = \frac{m}{n}c = Mc .$$

<u>Dulong – Petitovo pravilo:</u>

Specifični toplinski kapacitet pri stalnom tlaku:

$$c_p = \frac{1}{m}\left(\frac{dQ}{dT}\right)_{p=konst.}$$

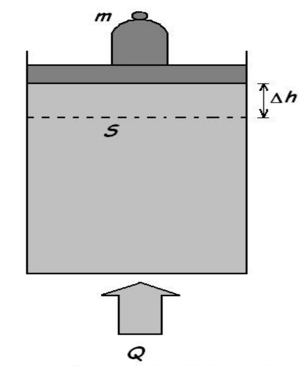
Specifični toplinski kapacitet pri stalnom tlaku:

$$c_V = \frac{1}{m}\left(\frac{dQ}{dT}\right)_{V=konst.}$$

Veza između c_p i c_V:

$$c_p - c_V = 3R .$$

<u>Toplinski kapacitet plinova:</u>



$$dW = Fdh = pSdh = pdV$$

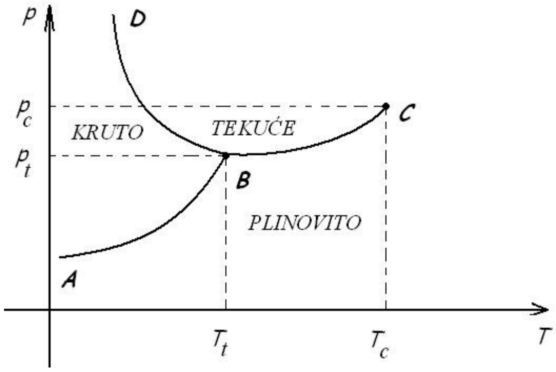
$$dQ = dW = pdV$$

$$c_p - c_V = \frac{1}{m}\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{p=konst.} = \frac{1}{m}\frac{pdV}{dt} = \frac{1}{m}nR = \frac{1}{M}R, \quad C = Mc$$

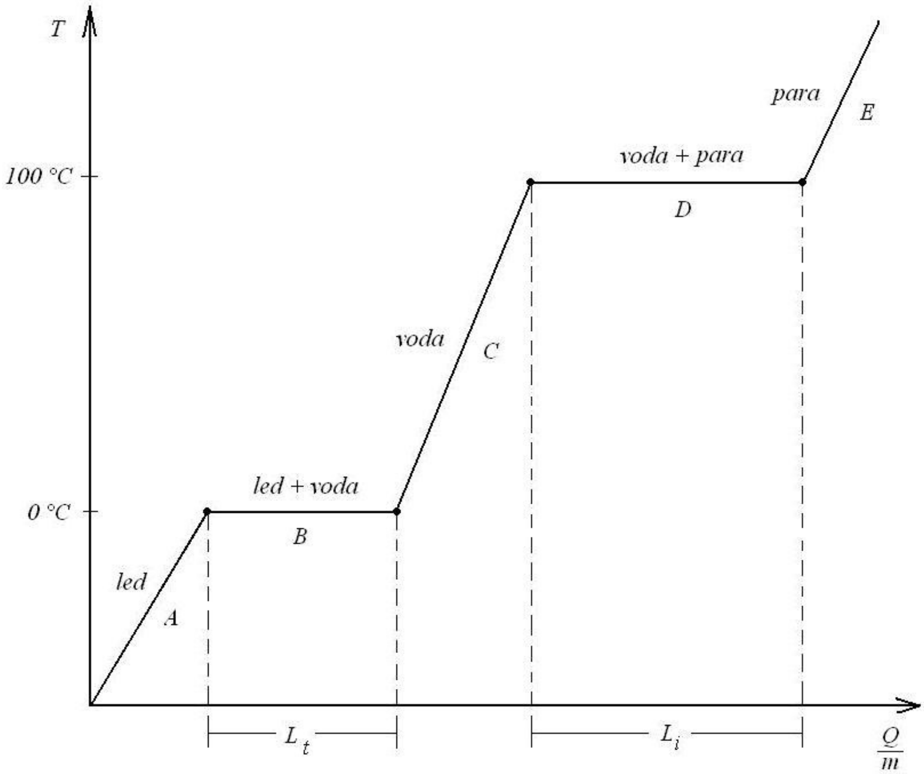
$$C_p - C_V = R .$$

3.6. FAZNI DIJAGRAM

Fazni dijagram vode:



3.7. PROMJENA AGREGATNOG STANJA. LATENTNA TOPLINA



A: $Q_A = m_{led} c_{led} \Delta T_1$

B: $Q_B = m_{led} L_t$ – L_t - latentna toplina taljenja

C: $Q_C = m_{voda} c_{voda} \Delta T_2$ $(m_{led} = m_{voda})$

D: $Q_D = m_{voda} L_i$ – Li - latentna toplina isparavanja

E: $Q_E = m_{para} c_{para} \Delta T_3$ $(m_{voda} = m_{para})$

3.8. PRIJENOS TOPLINE

Konvekcija (strujanje) topline: Toplinu prenosi fluid (plin, tekućina).

q – gustoća toplinskog toka
ϕ – toplinski tok
h_C – koeficijent konvekcije
T_p – temperatura plohe
T_f – temperatura fluida
R_C – konvektivni toplinski otpor

$$q = h_C\left(T_p - T_f\right) = h_C \Delta T$$

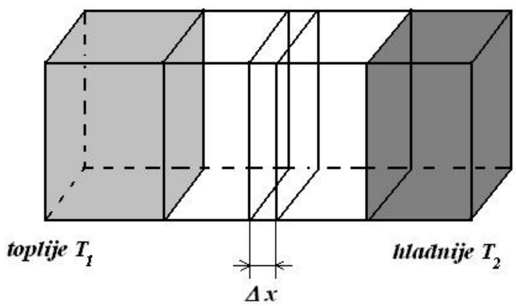
$$\phi = qS = h_C S \Delta T = \frac{1}{R_C}\Delta T$$

Zračenje (radijacija): Infracrveni spektar elektromagnetskog zračenja

I – intenzitet zračenja
σ – Stefan – Boltzmanova konstanta
ε – koeficijent emisivnosti ($0 < \varepsilon < 1$)

$$I = \varepsilon\sigma T^4$$

Vođenje (kondukcija) topline:



$$\Delta Q \propto S$$
$$\Delta Q \propto t$$
$$\Delta Q \propto \Delta T$$
$$\Delta Q \propto \frac{1}{\Delta x}$$

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} S t$$

$$\phi = \frac{Q}{S} = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} t \quad (1)$$

$$q = \frac{\phi}{S} = \frac{Q}{St} = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2)$$

Iz (1) i (2):

$$\phi = \frac{|\Delta T|}{\frac{\Delta x}{\lambda S}} = \frac{|\Delta T|}{R_V}$$