

Základní pojmy termodynamiky

Teplota T

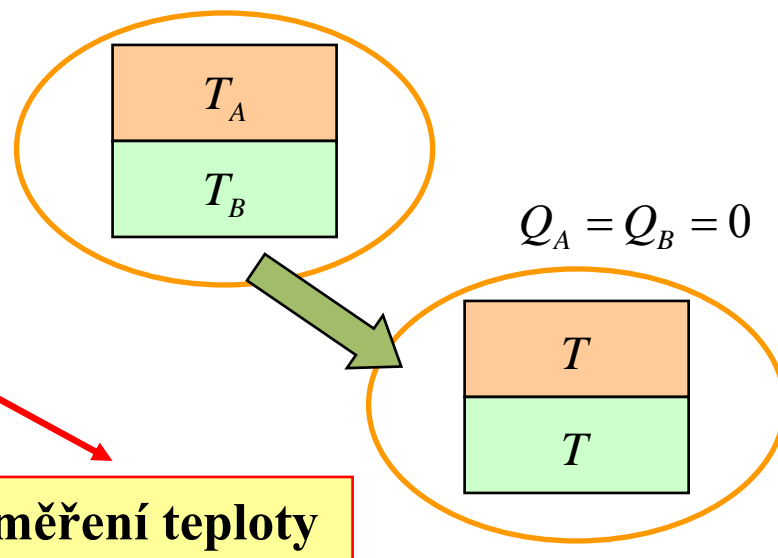
- charakterizuje stav termodynamické rovnováhy soustavy

Tepelná rovnováha

- ⊕ máme-li dvě tělesa A a B v kontaktu, potom po určité době nastane **stav tepelné rovnováhy**
- ⊕ ve stavu tepelné rovnováhy **neprobíhá tepelná výměna**
- ⊕ **obě tělesa mají stejnou teplotu T**

Nultý zákon termodynamiky:

pokud dva systémy jsou v termální rovnováze s třetím systémem, pak jsou též ve vzájemné termální rovnováze.



Základní pojmy termodynamiky

Měření teploty

⊕ teplotu měříme na základě změny vhodných fyzikálních veličin s teplotou (např. objem, tlak, elektrický odpor, el.napětí,...):



A) Kapalinové teploměry:

Objemová roztažnost kapalin

$$V = V_0(1 + \beta t) \quad \beta = f(t)$$

$$\beta = \frac{dV}{V} \frac{1}{dt} \quad [\text{K}^{-1}]$$

součinitel objemové
roztažnosti



Celsiova stupnice

$$t = \frac{V - V_0}{V_{100} - V_0} \cdot 100^\circ\text{C} \quad \beta = \frac{V_{100} - V_0}{100V_0} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

závisí na typu kapalin (např. rtuť, líh), jejichž objemová roztažnost je závislá na teplotě

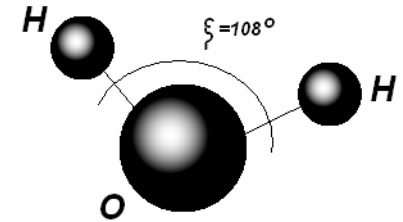
2 referenční stavy (za normálních podm.):

- 1) Rovnovážený stav čisté vody a jejího ledu
- 2) Rovnovážený stav čisté vody a její syté páry

Základní pojmy termodynamiky

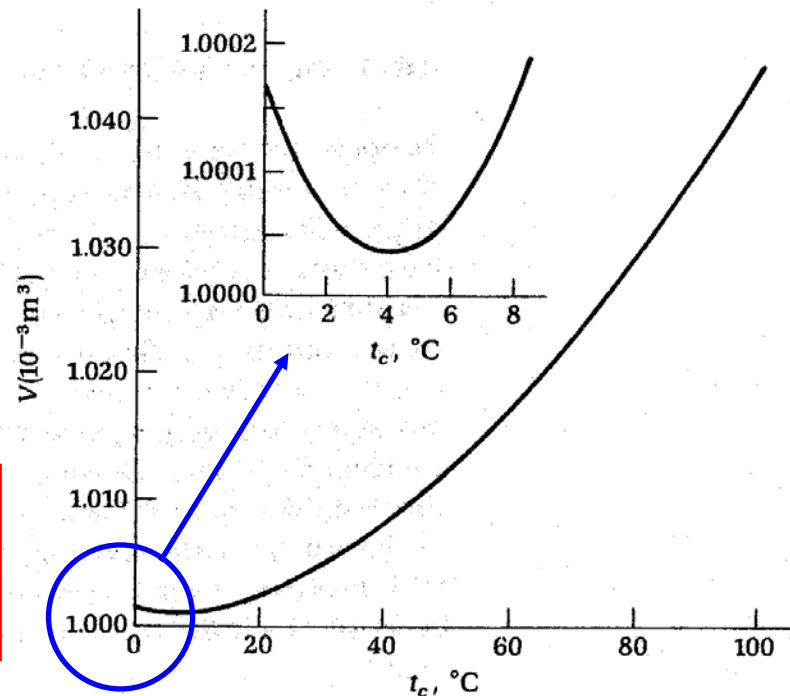
Objemová roztažnost vody (H_2O)

- voda má **anomální roztažnost**
- led má větší objem nežli kapalná fáze
- minimální objem pro $t = 4^\circ\text{C}$



$$V = V_0(1 - 6,427 \cdot 10^{-5}t + 8,5053 \cdot 10^{-6}t^2 - 6,79 \cdot 10^{-8}t^3) \quad \leftarrow t \in (0, 33^\circ\text{C})$$

u většiny kapalin pozorujeme **normální roztažnost**, tj. s rostoucí teplotou se zvětšuje objem



Základní pojmy termodynamiky

B) Plynové teploměry:

- nádoba stálého objemu naplněná zředěným plynem, u nějž měříme tlak
- zředěné plyny se chovají prakticky všechny stejně

plynová stupnice

$$t = \frac{p - p_0}{p_{100} - p_0} \cdot 100^\circ \text{C}$$

Rozpínavost plynů

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

součinitel rozpínavosti

$$\gamma = \frac{p_{100} - p_0}{100 p_0} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \doteq \text{konst.}$$

pro dostatečně
řidké plyny

$$p = \frac{p_0}{t_0}(t + t_0) \quad t_0 = \frac{1}{\gamma} = 273,15^\circ \text{C}$$

absolutní teplota

$$p = 0 \text{ Pa} \quad \longleftrightarrow \quad t = -273,15^\circ \text{C}$$

$$T = (t + 273,15) \text{ K}$$

absolutní nula

- prakticky nedosažitelná

$$1^\circ\text{C} = 1 \text{ K}$$

Základní pojmy termodynamiky

**absolutní (Kelvinova)
teplotní stupnice:**

$$p = \frac{p_0}{t_0} (t + t_0) \quad \longrightarrow$$

$$p = \frac{p_0}{T_0} T \quad V = \text{konst.}$$

$$1 \text{ K} = T_0/273,16$$

**izochorický
(Charlesův) zákon**



termodynamická teplotní stupnice:

- je totožná s absolutní teplotní stupnicí
- je nezávislá na teplotoměrné látce
- je definována pomocí vhodných bodů (např. trojných bodů, bodů varu a tání různých látek) a interpolačních vztahů mezi nimi

referenční stav:

trojný bod vody

- teplota $T_0 = 273,16 \text{ K}$
- tlak $p = 613 \text{ Pa}$

**Mezinárodní teplotní
stupnice (1968)**

Fahrenheitova teplotní stupnice:

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32$$

Základní pojmy termodynamiky

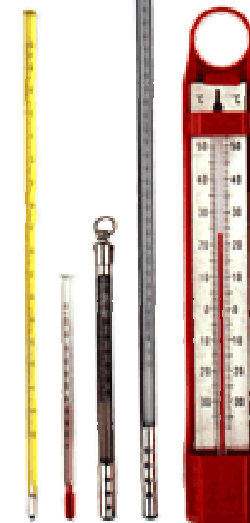
Měření teploty:

a) dotykové měření

- ⊕ kapalinové
- ⊕ plynové
- ⊕ bimetalové
- ⊕ odporové
- ⊕ termoelektrické
- ⊕ magnetické,...

b) bezdotykové měření

- ⊕ senzory tepelného (IČ) záření

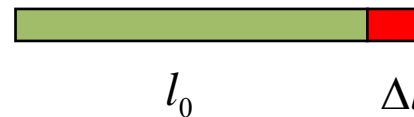


Základní pojmy termodynamiky

Teplotní roztažnost pevných látek

Délková roztažnost:

$$\alpha = \frac{dl}{l} \frac{1}{dt} \quad [\text{K}^{-1}] \quad l = l_0(1 + \alpha t) \quad \alpha = f(t)$$



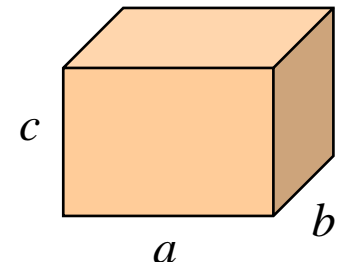
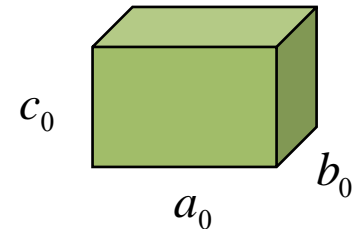
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \Delta t$$

Objemová roztažnost:

$$V = abc = a_0 b_0 c_0 (1 + \alpha t)^3 \approx V_0 (1 + 3\alpha t)$$

$$\beta = 3\alpha$$

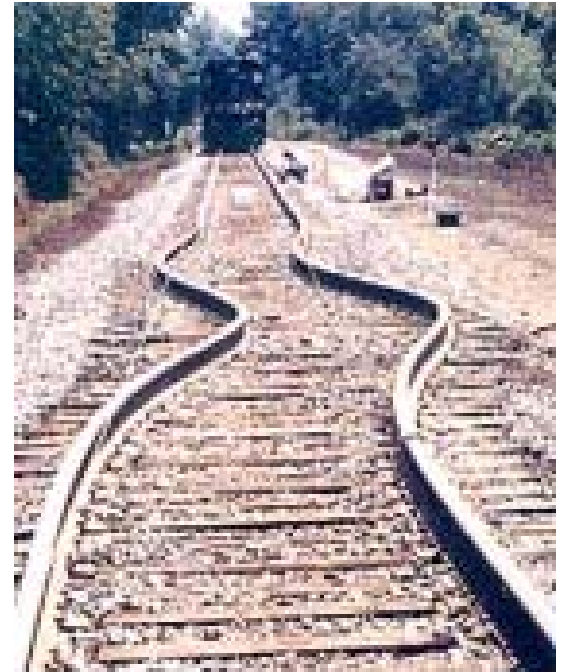
součinitel objemové
roztažnosti



Základní pojmy termodynamiky

Teplotní roztažnost pevných látek

Materiál	$\alpha, \beta \cdot 10^6 \text{ [K}^{-1}\text{]}$
ocel	10-12
hliník	24
invar	0,1-0,9
dřevo	6-9
dřevo \perp	55
cihla	3-8
beton	5-10
sklo	7-9
rtuť	180-189
láh	1100
voda (20°C)	2070



U konstrukcí z běžných materiálů je nutné velmi pečlivě uvažovat s jejich teplotní roztažností – dilatace, kombinace vhodných konstrukčních materiálů, apod.

Základní pojmy termodynamiky

Příklad: (objemová a délková teplotní roztažnost)

a) určete na kolik procent lze naplnit ocelovou cisternu s kapalinou (vodou), aby při daném teplotním rozdílu nevytekla

objem nádoby: $V_n = V_{0n}(1 + 3\alpha\Delta t)$

objem kapaliny: $V_k = V_{0k}(1 + \bar{\beta}\Delta t)$

$$X_{\%} = \frac{V_{0k}}{V_{0n}} \cdot 100\% = \frac{1 + 3\alpha\Delta t}{1 + \bar{\beta}\Delta t} \cdot 100\%$$

$\bar{\beta} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ $\alpha = 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ $\Delta t = 40^{\circ} \text{ C}$ \longrightarrow $X_{\%} \doteq 92,7\%$

b) Určete napětí σ v ocelové tyči o délce L (upevněné na obou koncích), která je zahřáta o Δt (pevnost oceli $\sigma_m = 400 \text{ MPa}$)

Poměrná deformace:

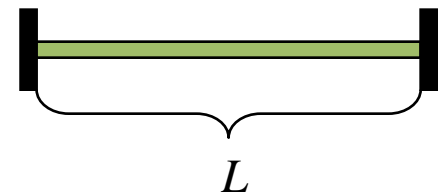
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \alpha\Delta t$$

$$\sigma = E\varepsilon = E\alpha\Delta t$$

$\alpha = 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ $\Delta t = 30^{\circ} \text{ C}$

$E = 210 \text{ GPa}$

\longrightarrow $\sigma = 63 \text{ MPa} < \sigma_m$



Základní pojmy termodynamiky

⊕ ke stejné změně teploty různých látek potřebujeme dodat různá tepla

Měrná tepelná kapacita c :

$$c = \frac{dQ}{dT} \frac{1}{m} \quad [\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}]$$

množství tepla, které je nutno dodat
1 kg látky, aby se ohřál o 1 K

$$C = mc = \frac{dQ}{dT} \quad [\text{JK}^{-1}]$$

Pevné látky, kapaliny

- určována tepelná kapacita při konst.tlaku

plyny

- tepelná kapacita závisí na podmínkách, při kterých je určována

Tlak konstantní – $p = \text{konst.} \rightarrow C_p$

Objem konstantní – $V = \text{konst.} \rightarrow C_v$

$$C_p > C_v \quad \kappa = \frac{C_p}{C_v} > 1$$

Poissonova konstanta

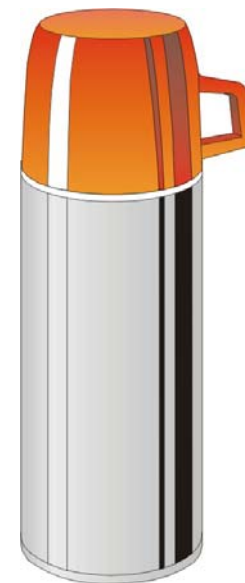
Základní pojmy termodynamiky

Měření množství tepla, tepelné kapacity:

- ⊕ založeno na zákonu zachování energie
- ⊕ provádí se v izolované soustavě (např. kalorimetru)

Příklad: (termoska)

- ⊕ Určete, výslednou teplotu t_X po smíchání $m_1=0,7$ kg vody (čaje) o teplotě $t_1=100^\circ\text{C}$ a $m_2=0,3$ kg rumu o teplotě $t_2=25^\circ\text{C}$ a teplotu t_Y po době $\tau=24$ hod., jestliže tepelná ztráta termosky je $P_Z=1,5$ W.



kalorimetrická rovnice

$$c_1 = 4180 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$c_2 = 2500 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$C_T = 200 \text{ JK}^{-1}$$

$$m_1c_1(t_1 - t_X) = (m_2c_2 + C_T)(t_X - t_2)$$



$$t_X = \frac{m_1c_1t_1 + (m_2c_2 + C_T)t_2}{m_1c_1 + m_2c_2 + C_T} \doteq 86^\circ\text{C}$$

$$Q_Z = P_Z\tau = (m_1c_1 + m_2c_2)(t_X - t_Y) \quad \longrightarrow \quad t_Y = \frac{(m_1c_1 + m_2c_2)t_X - P_Z\tau}{(m_1c_1 + m_2c_2)} \doteq 50,7^\circ\text{C}$$