

TERMIKA

(Petr Jizba)

Doporučená literatura:

Z. Maršák, Termodynamika a statistická fyzika (ČVUT 2000)

J. Kvasnica, Termodynamika, (SNTL 1965)

K. Huang, Statistical Physics, (Wiley 1987, 2002)

F. Reif, Fundamentals of statistical and thermal physics, (McGraw-Hill, 1965)

Doporučené cvičebnice:

Z. Maršák, E. Havránková, Sbíрка řešených příkladů z fyziky (Termika a molekulová fyzika), (ČVUT 2000)

W. Greiner, L. Neise, H. Stöcker, Thermodynamics and statistical mechanics, (Springer-Verlag, 1997)

Y-K Lim, Problems and Solutions on Thermodynamics and Statistical Physics, (World Scientific, 2005)

Všechno co jste chtěli vědět o přednášce a báli jste se zeptat

Přednáška:

Účast není povinná, ale u zkoušky se vyžaduje probraná látka.

Nové cvičební příklady budou distribuovány na přednáškách

Cvičení:

Účast je povinná a je nutnou podmínkou pro udělení zápočtu (2 hodiny mohou být neomluvené). Mohou být 2-3 písemky (záleží na cvičícím)

Zkouška:

Písemná (3 příklady — příklady počítané na cvičeních či zadané na přednášce)

ústní (1 otázka esejeového typu — jen pokud úspěšná písemná zkouška)

Pozn:

Přednáška je nová a není úplně kompatibilní s přednáškami Doc Maršáka a Doc Chadzitaskose!

Termika I:

- Úvodní poznámky
- Základní pojmy z kalorimetrie
- Teplotní roztažnost a rozpínavost

Úvodní poznámky

Termika — nauka o teple a jeho přeměnách/transformacích na jiné formy energie, vznikla během 18. a 19. století s rozvojem inženýrství (parní stroje, elektro-inženýrství) a chemie.

Rozvoj termiky je spojen hlavně se jmény:

John P. Joule (1818-1889), Anglický experimentální fyzik. Dokázal, že různé formy energie, mechanická, elektrická a tepelná jsou v podstatě ekvivalentní a mohou být přeměněny jedna na druhou \Rightarrow zákon zachování energie — I. Princip termodynamický.

Sadi Carnot (1796-1832), Francouzský inženýr. Formuloval II. Princip termodynamický pro tepelné stroje.

Rudolf Clausius (1822-1888), Německý matematický fyzik. Přesně matematicky zformuloval II. Princip termodynamický.

Ludvig Boltzmann (1844-1906), Rakouský teoretický fyzik. Odvodil mnoho termodynamických* závislosti, např. Stefan–Boltzmannův zákon pro záření absolutně černého tělesa.

John W. Gibbs (1839-1903), Americký teoretický fyzik. Aplikoval termiku v chemii (zvláště v teorii směsí).

* “Termodynamika” se zabývá popisem procesů v nichž dochází k vývoji a vzájemné přeměně různých forem energie.

Základní pojmy z kalorimetrie

Kalorimetrie — také kalorická teorie vznikla v 18. století (J. Black).

⊗ *Kalorimetrie* se snažila vysvětlit jevy jako teplo či hoření prostřednictvím hypotetické nehmotné látky — kalorika.

⊗ Kalorická teorie pomohla vysvětlit mnoho aspektů tepelných jevů. Kalorikum se zachovává (nevzniká ani nezaniká) a pouze přechází z těles s vyšší teplotou na tělesa s nižší teplotou. Později se ukázalo, že teplo není konstantí, ale je pouze formou energie \Rightarrow může se měnit!

Pozn: Kalorická teorie měla značný vliv až do 50. let 19. století kdy byla překonána např. *Joulovými* experimenty.

Pozn: Řada pojmů a definic je nicméně stále užitečná a používaná.

Tepelná kapacita K je množství tepla které system přijme zvnějšku (tj., okolí) aby zvýšil svoji teplotu o jeden stupeň Celsia (Kelvina):

$$K = \frac{dQ}{d\vartheta}$$

Pozn: Značení ϑ (nebo θ) bude odpovídat empirické (např. Celsiově stupnici) a Θ si rezervujeme pro absutní (Kelvinovu) stupnici.

Pozn: Historicky se teplo měřilo v kaloriích “cal” kalorie je množství tepla potřebného k zahřátí jednoho gramu vody o 1°C (mezi 14.5°C a 15.5°C).

Nicméně, teplo, jako jakákoliv jiná forma energie je měřeno v joulech J . Převod je: $1\text{cal} = 4.1868J$

Měrná tepelná kapacita c je tepelná kapacita jednotkové hmotnosti:

$$c = \frac{K}{m} = \frac{1}{m} \frac{dQ}{d\vartheta}$$

Molární tepelná kapacita – molární teplo C je měrná tepelná kapacita vztažená na jeden mol:*

$$C = \frac{K}{n} = \frac{1}{n} \frac{dQ}{d\vartheta}$$

Měrné skupenské teplo l je množství tepla které systém přijme zvnějšku aby *jeden* kg systému přešel z jednoho skupenství do druhého:

$$l = \frac{\Delta Q}{m}$$

Pozn I: l obecně závisí jak na typu fázového přechodu (tání, vypařování, atd.) tak i na teplotě při které ke skupenské změně (fázovému přechodu) dochází.

Pozn II: Molární teplo se také ekvivalentně nazývá *latentní teplo*.

*1 mol je množství látky které obsahuje tolik elementárních stavebních bloků (např. atomů, molekul, iontů, elektronů) jako jich je ve 12g izotopu uhlíku ^{12}C . Současná měření dávají hodnotu $6.02214078(18) \times 10^{23}$ částic v 1 molu.

Teplotní roztažnost a rozpínavost látek

Roztažnost: rozměry soustavy se mění s teplotou \Rightarrow

délková roztažnost, plošná roztažnost a objemová roztažnost.

Součinitel délkové roztažnosti: α representuje změnu délky v závislosti na změně teploty vztažené na původní délku l_0 odpovídající teplotě ϑ_0 :

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \frac{\Delta l}{\Delta \vartheta}$$

Zde se předpokládá, že $\Delta \vartheta = \vartheta - \vartheta_0$.

Motivace pro zavedení této definice pochází z pozorování, že pro mnohé pevné látky platí lineární vztah

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

V realističtějších případech platí Taylorův rozvoj:

$$l = l_0 + \frac{dl}{d\vartheta}(\vartheta_0)\Delta\vartheta + \frac{1}{2!}\frac{d^2l}{d\vartheta^2}(\vartheta_0)(\Delta\vartheta)^2 \dots$$

⇒ *pravý* koeficient délkové roztažnosti

$$\alpha_{\vartheta} = \frac{1}{l_0} \frac{dl}{d\vartheta}$$

V tomto případě je α_{ϑ} funkcí počáteční teploty a délky

Plošná a objemová roztažnost jsou definovány přirozeně jako:

$$S = S_0(1 + \delta\Delta\vartheta); \quad V = V_0(1 + \beta\Delta\vartheta)$$

α, δ a β nejsou nezávislé. Vztah mezi nimi se dá odvodit velmi snadno. Např., předpokládejme, že $S = l_1 \cdot l_2 \Rightarrow$

$$S = l_{10}(1 + \alpha\Delta\vartheta) \cdot l_{20}(1 + \alpha\Delta\vartheta) = S_0(1 + 2\alpha\Delta\vartheta + o((\alpha\Delta\vartheta)^2))$$

Pokud můžeme druhý člen zanedbat ($\alpha \approx 10^{-6}K$) $\Rightarrow \delta = 2\alpha$. Podobně $\beta = 3\alpha \Rightarrow \delta = (2/3)\beta$

Rozpínavost: tlak soustavy se mění s teplotou (má význam zvláště u plynů)

Lineární závislost je popsána vztahem

$$p = p_0(1 + \gamma_V \Delta\vartheta)$$

Veličina γ_V se nazývá teplotní součinitel rozpínavosti. Index V označuje, že vztah je pro konstantní objem.

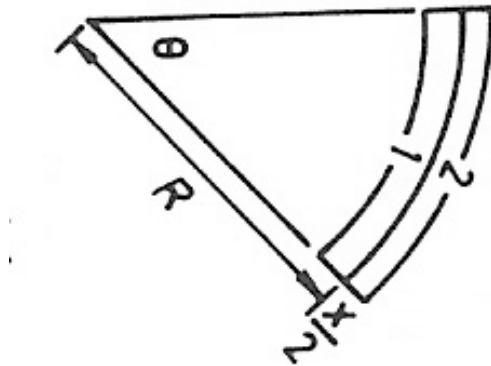
Pozn: U kapalin a plynů se také často definuje objemová roztažnost:

$$V = V_0(1 + \gamma_p \Delta\vartheta)$$

Index p značí že tlak je konstantní. γ_p se nazývá teplotní součinitel objemové roztažnosti. **Pro ideální plyn $\gamma_p = \gamma_V$ dokažte!**

Zahřívací příklad:

Bimetalový pásek tloušťky x má teplotu ϑ . Jaký je poloměr R zakřivení pásku, když je zahřátý z teploty ϑ na teplotu $\vartheta + \Delta\vartheta$. Koeficienty tepelné roztažnosti jsou α_1 a α_2 s $\alpha_1 < \alpha_2$. Předpokládejte, že tloušťka každého z materiálů je $x/2$, a že $x \ll R$.



Řešení:

$$R = \frac{x}{4} \left(\frac{2 + (\alpha_1 + \alpha_2)\Delta\vartheta}{(\alpha_2 - \alpha_1)\Delta\vartheta} \right)$$