

# TERMIKA

(Petr Jizba)

[http://www.fjfi.cvut.cz/files/k402/pers\\_hpgs/jizba/](http://www.fjfi.cvut.cz/files/k402/pers_hpgs/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. Havráneková, Sbírka 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 udelení 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 esejového či důkazového typu — jen pokud úspěšná písemná zkouška)

## **Pozn:**

Prednáška je nová a není úplně kompatibilní s přednáškami Doc Maršíka 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.

Termika se rozděluje na:

- Kalorimetrii — zabývá se určováním tepelného obsahu látek
- Šíření tepla — zabývá se způsoby, kterými se teplo šíří prostředím
- Termodynamiku — zákony vzájemné přeměny tepelné energie na jiné druhy
- Termomentrii — zabývá se měřením teploty
- Kinetickou teorii látek — vztah mezi strukturou látek a jejich tepelným chováním

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 ⇒ 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.

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

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

\* "Termodynamika" ze 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 konstančí, 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 pojmu a definic je nicméně stále užitečná a používaná.

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

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

**Pozn:** Značení  $\vartheta$  (nebo  $\theta$ ) bude odpovídat empirické (např. Celsiově stupnici) a  $\Theta$  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  $1^{\circ}\text{C}$  (mezi  $14.5^{\circ}\text{C}$  a  $15.5^{\circ}\text{C}$ ).

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 – molárni teplo**  $C$  je měrná tepelná kapacita vztažená na jeden mol:<sup>\*</sup>

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

**Měrné skupenské teplo**  $l$  je množství tepla které systém příjme 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:**  $l$  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:  $\alpha$  representuje změnu délky v závislosti na změně teploty vztažené na původní délku  $l_0$  odpovídající teplotě  $\vartheta_0$ :

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

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:

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

$\Rightarrow$  pravý koeficient délkové roztažnosti

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

V tomto případě je  $\alpha_\vartheta$  funkcí počáteční teploty a délky

Plošná a objemová roztažnost jsou definovány přirozeně jako:

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

$\alpha, \delta$  a  $\beta$  nejsou nezávislé. Vztah mezi nimi se dá odvodit velmi snadno.  
Např., predpokládejme, 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  $\gamma_V$  se nazývá teplotní součinitel rozpínavosti. Index  $V$  označuje, že vztah je pro konstantní objem.

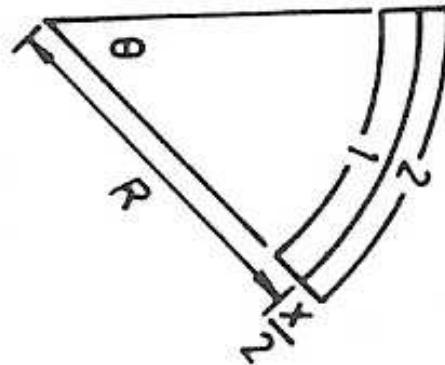
**Pozn:** U kapalin a plynů se také často definuje objemová roztažnost:

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

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

## Zahřívací příklad:

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



**Řešení:**

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