

T e r m i k a

Hlavní body

Teplota, měření

Teplotní závislosti fyzikálních veličin

Kinetická teorie plynů

Maxwellova rozdělovací funkce

Teplo, měrné teplo, kalorimetrie

Teplota

- Je základní veličinou, “kterou nelze odvodit?”
- Člověk ji vnímá pocitově, ale je **mírou vnitřního pohybu mikročástic v tělesech = jejich energie**, při styku dvou těles o různé teplotě se jejich teploty srovnají, **předávají si energii = teplo**
- Pro měření ji svazujeme s teplotní závislostí jiných fyzikálních veličin (teplotní roztažnost, el. Odpor...)
- Její velikost je definována pomocí stupnic ($^{\circ}\text{C}$, K, F)

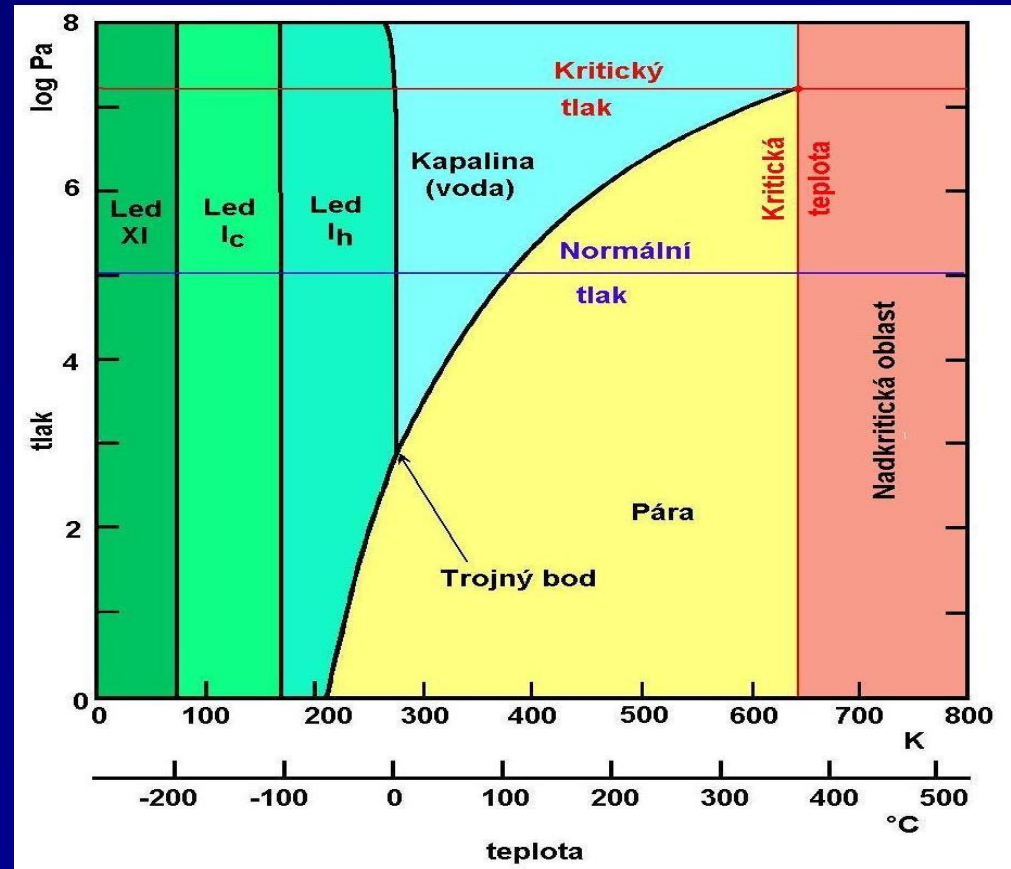
Teplotní stupnice

Základní Celsiova a absolutní Kelvinova stupnice je definována trojným bodem vody

$$T(\text{TB}) = 273,16 \text{ K} \\ = 0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$$

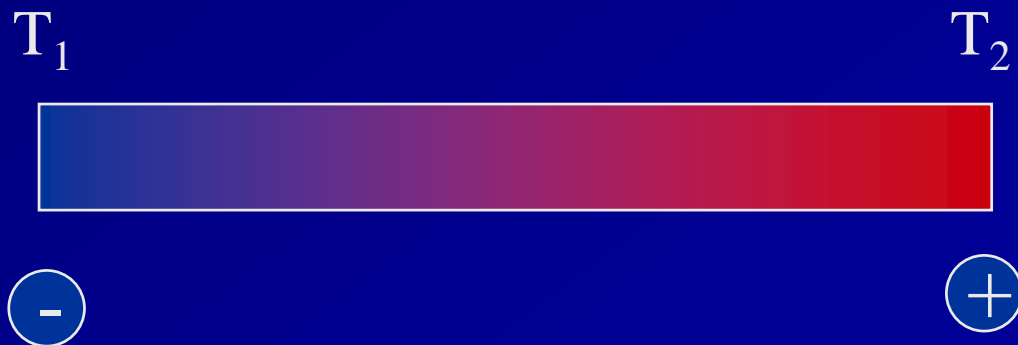
Celé rozmezí teplot potom dělíme na příslušný počet dílků

Tím získáme jeden teplotní stupeň
 $1 \text{ K} = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$



Měření teploty

- Teplotní roztažnost pevných látek – lineární, objemová
- Kapalin - objemová
- Plynů - $p = f(T)$, $V=f(T)$
- Změna elektrického odporu, $R = f(T)$
- Vznik **termoelektrického napětí** - termočlánek



Teplotní roztažnost pevných látek

lineární

$$\Delta l = \alpha l_0 T \quad \alpha \text{ je koeficient délkové roztažnosti}$$

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

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

Pro větší teplotní rozsahy je třeba zvýšit stupeň polynomu

$$l = l_0 (1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2)$$

Podobně lze sledovat i objemovou roztažnost

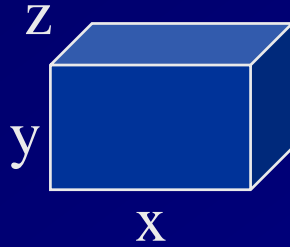
Teplotní roztažnost pevných látek

objemová

$$x = x_0(1 + \alpha T)$$

$$y = y_0(1 + \alpha T)$$

$$z = z_0(1 + \alpha T)$$



Izotropní prostředí = α je shodná
ve všech směrech x, y, z

$$V = x \cdot y \cdot z = x_0 \cdot y_0 \cdot z_0 (1 + \alpha T)^3 =$$
$$= V_0 (1 + 3\alpha T + 3\alpha^2 T^2 + \alpha^3 T^3)$$

$$V = V_0 (1 + \beta T) \quad \beta \cong 3\alpha$$

Dutá nádoba se roztahuje tak, jako by byla plná

- Pro kapalinové teploměry je nutné brát v úvahu relativní změnu objemu
- Hustota se mění podobně jako objem, ale s opačným znaménkem



Teplotní roztažnost kapalin

U kapalin je nutné brát většinou vyšší stupně polynomu

$$V = V_0 \left(1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3 \right)$$

Kapalina	Obor T °C	α_1	α_2	α_3
rtuť	0-100	0,00018	$7,8 \cdot 10^{-9}$	
etanol	0-40	0,00074	$1,85 \cdot 10^{-6}$	$7,3 \cdot 10^{-9}$
voda	0-33	-0,000064 !	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-8}$

Teplotní roztažnost plynů

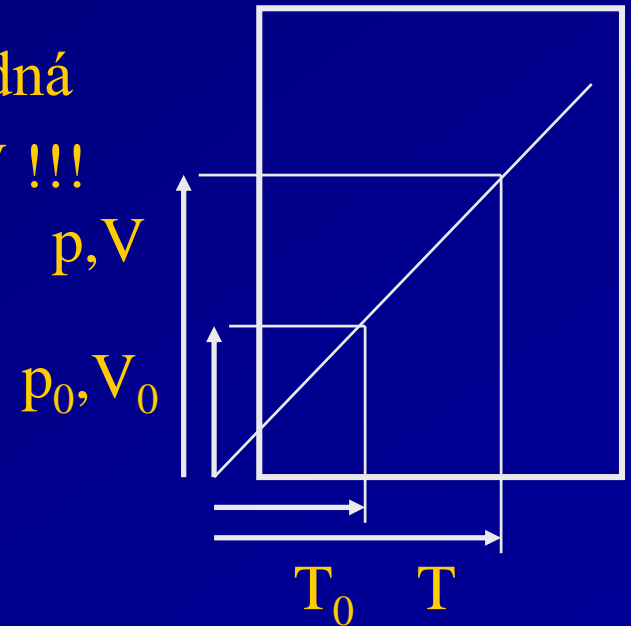
U plynů sledujeme tlak a nalézáme téměř přesnou **lineární závislost**
 - Plynové teploměry

$$p = p_0 (1 + \alpha T) \quad (V = \text{konst})$$

$$V = V_0 (1 + \alpha T) \quad (p = \text{konst})$$

α je shodná
 pro p i V !!!

Pro vhodně zvolenou teplotní
 stupnici musí platit:



$$\left(\frac{p}{p_0} = \frac{T}{T_0} \right)_{V, m = \text{konst}} \quad \left(\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0} \right)_{p, m = \text{konst}}$$

syntéza



Izochorický děj + Izobarický děj + Izotermický děj

$$\left(\frac{pV}{T} \right)_m = \text{konst.}$$

Stavová rovnice ideálního plynu

$$\left(\frac{pV}{T}\right)_{1mol} = R$$

U “všech“ plynů je tento podíl roven konstantě R – *univerzální plynová*
 $= 8,314\ 472(15)\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$

$$\frac{pV}{T} = R$$

Pro 1 mol

$$\frac{pV}{T} = NR$$

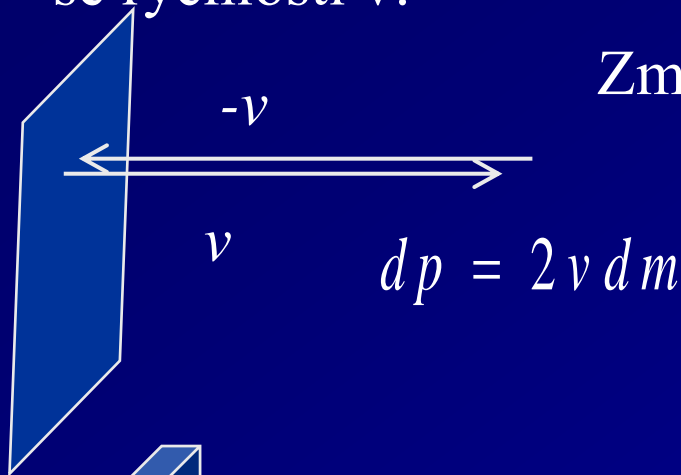
Pro N molů

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

Stavová rovnice ideálního
plynu

Kinetická teorie plynů – původ tlaku plynu

Molekuly plynu narážejí na stěnu nádoby rychlostí $-v$ a odrážejí se rychlostí v :



Změna velikosti hybnosti je tedy:

dm je celková hmotnost molekul, které dopadnou na stěnu za dt ,
 v je jejich střední rychlost

Síla, kterou působí na stěnu je dána změnou hybnosti mlul, které dorazí na stěnu za čas dt :

$$F = \frac{dp}{dt} = 2v m_M n S \frac{dx}{dt}$$

n je koncentrace mlul (m^{-3})
 m_M je hmotnost mluly

Mluly urazí za čas dt dráhu dx , ($S dx$ je objem)

dx

Kinetická teorie plynů – původ tlaku plynu

Tlak, který působí na stěnu:

$$F = \frac{dp}{dt} = 2v m_M n S \frac{dx}{dt} \quad \leftarrow \quad P = \frac{F}{S}$$

Pozor p / P

$$P = 2v^2 m_M n ?$$

Vzhledem k prostoru jde pouze 1/6 proti jedné stěně!!!

$$P = \frac{1}{3} v^2 m_M n$$

$$P = \frac{1}{3} n m_M \langle v^2 \rangle$$

Rychlosti nejsou stejné, musíme středovat:

$$v^2 \Rightarrow \langle v^2 \rangle$$

Z tlaku můžeme počítat s.k.r. !

Střední kvadratická rychlost

Kinetická teorie plynů – původ tlaku plynu

$$P = \frac{2}{3} n \langle E_K \rangle \quad \leftarrow \quad P = \frac{1}{3} n m_M \langle v^2 \rangle$$

$$P = \frac{2}{3} \frac{N N_A}{V} \langle E_K \rangle$$

Stavová rovnice ideálního plynu

$$\langle E_K \rangle = \frac{3}{2} \frac{PV}{N N_A} \quad \leftarrow \quad \frac{PV}{N} = RT$$

$$\langle E_K \rangle = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} T = \frac{3}{2} kT \quad \xrightarrow{E_K = \frac{1}{2} m v^2} \quad v(s.k.) = \sqrt{\frac{3kT}{m_M}}$$

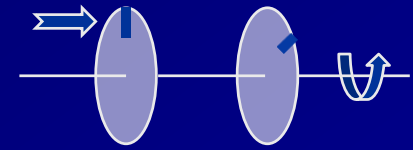
$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ je Boltzmanova konstanta

Teplota vyjadřuje vnitřní energii – energii částic

! teplota je úměrná energii částic, ne hybnosti částic = dokonale pružné srážky !

Proč shořela Columbie?

VIDEO Maxwellova rozdělovací funkce



thermodynamik

Rychlosti mlul nejsou stejné, a jsou rozděleny podle funkce

$$\varepsilon(v) = \frac{4v^2}{c^3 \sqrt{\pi}} e^{-\frac{v^2}{c^2}}$$

c je nejpravděpodobnější rychlost (kterou má nejvíc mlul) $c = \sqrt{\frac{2kT}{m_M}}$

Maxwellova rozdělovací funkce

Počet mlul s rychlostí v intervalu v až $v + dv$

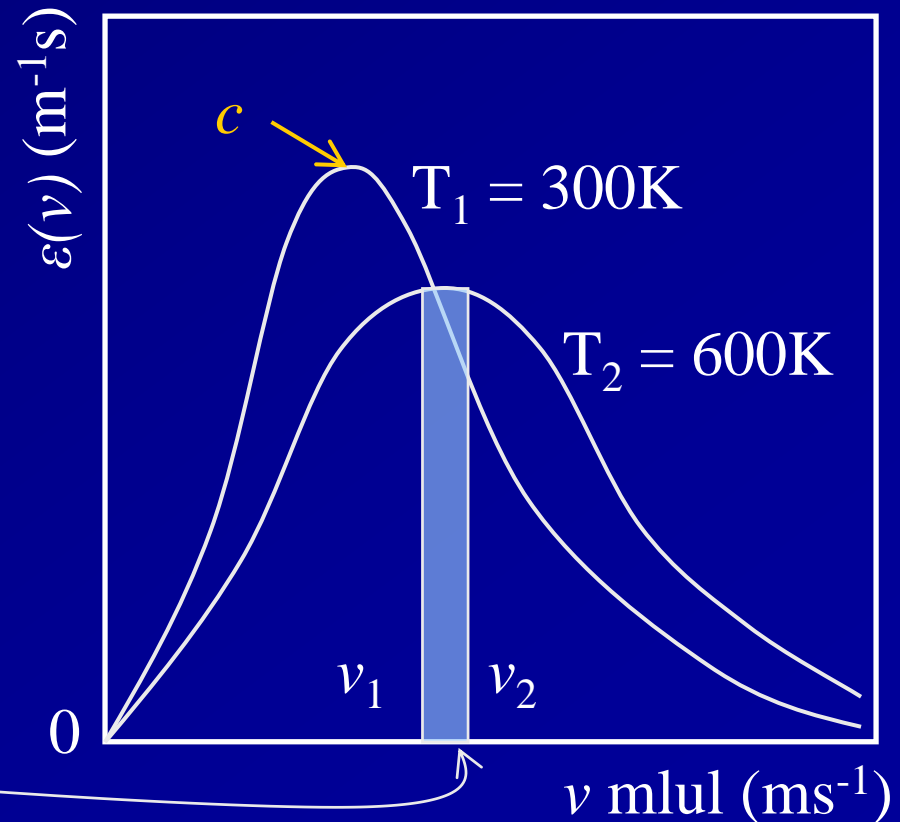
$$dn = n \cdot \varepsilon(v) dv = n \frac{4v^2}{c^3 \sqrt{\pi}} e^{-\frac{v^2}{c^2}} dv$$



Počet mlul v intervalu $v_1 - v_2$

Integrace od v_1 do v_2

Příklad rychlosti $v(s.k.) = \sqrt{\frac{3kT}{m_M}}$ $c = \sqrt{\frac{2kT}{m_M}}$



Měrné teplo, kalorimetrie

Zvýšení teploty tělesa je spojeno se zvyšováním **energie částic = tepelné energie Q** a je tedy spojeno s příjmem energie v jakékoli formě. Tepelnou energii Q nazýváme také **teplem**. **Teplo je forma energie, na kterou se často mění ostatní typy energie.**

$$[Q] = J$$

Zvýšení teploty tělesa s příjmem energie nezávisí pouze na množství energie, ale i na **druhu materiálu** a jeho **hmotnosti** . Proto zavádíme **měrnou tepelnou kapacitu c**

c je energie, kterou potřebujeme na ohřátí 1 kg/1 molu materiálu o 1 K.

c je sice teplotně závislá, ale je charakteristická pro daný materiál

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

c je energie, kterou potřebujeme na ohřátí 1 kg materiálu o 1 K.

Celkové teplo potřebné na ohřátí lze spočítat

$$dQ = m \cdot c \cdot dT$$

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

Pokud necháváme vyrovnat teplotu mezi několika tělesy, musí platit, že suma tepla, které odevzdají teplejší tělesa chladnějším, je stejná jako suma tepla, které přijmou chladnější tělesa od teplejších. Výsledná teplota je t .

$$\sum_i m_i \cdot c_i \cdot (t_i - t) = \sum_j m_j \cdot c_j \cdot (t - t_j)$$

Kalorimetrická rovnice, pro $c =$ konstantě