MOLEKULÁRNĚ KINETICKÁ TEORIE LÁTEK ~
ZÁKLADNÍ POZNATKY MOLEKULOVÉ FYZIKY A TERMODYNAMIKY

→ Kinetická teorie látek

1) látky všech skupenství se skládají z částic
   → atomy, molekuly, ionty
   → diskrétní struktura: částice nevyplňují prostor beze zbytku

2) částice se neustále neuspořádaně pohybují
   → tepelný pohyb – posuvný, kmitavý, otáčivý
   → difuze → částice 1. látky samovolně pronikají mezi č. 2. látky
      → ve všech skupenstvích
   → Brownův pohyb → náhodný, chaotický pohyb mikroskopických částic v kapalině nebo plynu
      → např. pylová zrna na vodě
   → tlak plynu na stěnu nádoby → působení částic na stěny

3) částice na sebe navzájem působí silami, při malých vzdálenostech odpudivými, při větších přitažlivými
   ⇒ pevnost pevných těles
   → nestlačitelnost kapalin…

→ Relativní atomová hmotnost – A_R

$A_R = \frac{m_a}{m_u}$ – m_a – hmotnost atomu, m_u – atomová hmotnostní konstanta $= \frac{1}{12}$ hmotnosti ${}^{12}_{6}C$

$\Rightarrow m_a = A_R \cdot m_u \quad \wedge \quad m_u = 1{,}66 \cdot 10^{-27}\ kg$

→ Relativní molekulová hmotnost – M_R

$M_R = \frac{m_m}{m_u}$ → hmotnost molekuly = suma hmotností atomů

$m = N \cdot m_m$

→ Látkové množství – n

$[n] = mol$ $\quad n = \frac{N}{N_a}$ – N – počet částic v daném objemu, N_a – Avogadrova konstanta $N_a = 6{,}022 \cdot 10^{23}\ mol^{-1}$

→ počet molů

v 1 molu látky je tolik částic

→ Molární hmotnost – M_m

→ hmotnost 1 molu dané látky → $[M_m] = kg \cdot mol^{-1}$

$$M_m = \frac{m}{n} = \frac{1}{n} \cdot (N \cdot m_m) = \frac{N_a}{N} \cdot N \cdot M_R \cdot m_u = M_R \cdot N_a \cdot m_u$$

$$M_m = M_R \cdot 6{,}022 \cdot 10^{23} \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}\ kg \cdot mol^{-1} \quad - 6{,}022 \cdot 1{,}66 \doteq 10$$

$$M_m \doteq M_R \cdot 10^{-3}\ kg \cdot mol^{-1} = M_R\ g \cdot mol^{-1}$$

→ Molární objem – V_m

→ objem 1 molu dané látky

$$V_m = \frac{V}{n} = \frac{\frac{m}{\rho}}{n} = \frac{m}{n} \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{M_m}{\rho} \Rightarrow \rho = \frac{M_m}{V_m} \qquad [V_m] = m^3 \cdot mol^{-1}$$

⇒ V_m plynných látek: $V_m = 22{,}4\ l \cdot mol^{-1}$

→ Struktura látek

• Plynné látky – mění tvar i objem

→ střední vzdálenost molekul plynu je daleko větší než jejich rozměry

⇒ slabé přitažlivé síly ⇒ celková vnitřní E_p je malá

→ rychlost částic je velká ⇒ celková vnitřní E_k je velká

⇒ $E_p < E_k$

• Pevné látky – nemění tvar ani objem

→ částice kmitají kolem rovnovážné polohy, která je pevně daná

⇒ vzdálenost mezi nimi je malá ⇒ velká E_p

⇒ téměř se nehýbou ⇒ celková vnitřní E_k je malá

⇒ $E_p > E_k$

• Kapalné látky – mění tvar, ale nemění objem

→ střední vzdálenost částic není tak velká jako u plynů, ani tak malá jako u pevných látek

→ částice kmitají kolem rovnovážných poloh, ale ty se časem mění

⇒ celková vnitřní E_p je srovnatelná s E_k

⇒ $E_p = E_k$

→ Termodynamická soustava

→ tělesa v molekulové fyzice nazýváme termodynamické soustavy

→ každá soustava se nachází v určitém stavu a ten popisujeme stavovými veličinami

→ soustava je v rovnovážném stavu, pokud se stavové veličiny delší dobu nemění

→ Stavové veličiny

• vnější → objem, hmotnost, látkové množství, vnitřní energie
→ entropie = míra neuspořádanosti/neurčitosti

• vnitřní → tlak, teplota, hustota

→ Vnitřní energie tělesa - U

→ neustálý neuspořádaný pohyb částic ⇒ vnitřní kinetická energie

→ vzájemné silové působení částic ⇒ vnitřní potenciální energie

$$\Rightarrow U = E_K + E_P$$

→ změna vnitřní energie

• konání práce - posouvání tělesa po podložce
- stlačování plynu v nádobě

• tepelná výměna - nastává při styku dvou různě teplých těles

$$\Delta U = \Delta E$$

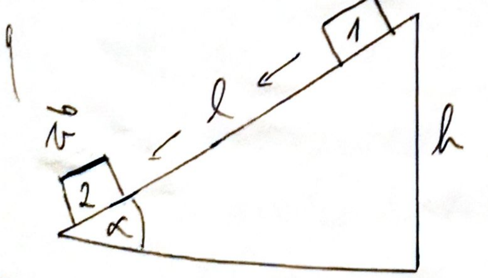
→ příklad

$m = 1\,kg$
$l = 2\,m$
$\alpha = 30°$
$v = 5\,m \cdot s^{-1}$
$\Delta U = ?$

třením se těleso i nakloněná rovina zahřívají, protože těleso ztrácí E

$E_{p1} = mgh \wedge E_{k1} = 0$
$E_{p2} = 0 \wedge E_{k2} = \frac{1}{2} m v^2$

$\sin(\alpha) = \frac{h}{l}$



$\Delta U = |E_1 - E_2| = |E_{p1} - E_{k2}|$
$\Delta U = |mgh - \frac{1}{2} m \cdot v^2|$
$\Delta U = |mg \cdot l \cdot \sin(\alpha) - \frac{1}{2} m \cdot v^2|$
$\Delta U = |10 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot 25|\,J = |10 - 12{,}5|\,J$
$\Delta U = 2{,}5\,J$

→ Teplota – t / T

→ jedna ze stavových veličin

→ Celsiova teplotní stupnice – t

→ 2 základní body

- teplota rovnovážného stavu led-voda → $0\,°C$
- teplota rovnovážného stavu voda-sytá pára → $100\,°C$

→ Termodynamická teplotní stupnice – T

→ 1 základní bod

- trojný bod vody – $T_{r} = 273{,}16\,K = 0{,}01\,°C$

⇒ 1 Kelvin je $\frac{1}{273{,}16}$ trojného bodu vody

→ absolutní nula

→ $0\,K$ → nikdy nebylo dosaženo – nejníž $1\,mK$

→ převodní vztah

$$\{t\} = \{T\} - 273{,}15$$

→ Změna teploty – $\Delta t = \Delta T$

$$\left.\begin{array}{l}\{t_1\} = \{T_1\} - 273{,}15 \\ \{t_2\} = \{T_2\} - 273{,}15\end{array}\right\} \Delta t = \{t_1\} - \{t_2\} = \{T_1\} - 273{,}15 - \{T_2\} + 273{,}15$$

$$= \{T_1\} - \{T_2\} = \Delta T$$

$$\Rightarrow \Delta t = \Delta T$$

→ Teplo – Q

→ Tepelná výměna

→ při doteku předávají částice teplejšího tělesa část své energie částicím chladnějšího tělesa

→ tepelná výměna skončí, až tělesa budou mít stejnou teplotu

⇒ celková předaná energie = teplo ⇒ $[Q] = J$

→ pokud jde o izolovanou soustavu 2 těles, pak odevzdané teplo = přijaté teplo

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow |\Delta U_1| = |\Delta U_2|$$

→ Tepelná kapacita tělesa – C – velké C

→ teplo, které musí těleso přijmout, aby se jeho T zvýšila o 1 K

$C = \frac{Q}{\Delta T}$ $[C] = J\cdot K^{-1}$ $\Rightarrow$ $Q = C\cdot\Delta T$

→ Měrná tepelná kapacita látky – c – malé c

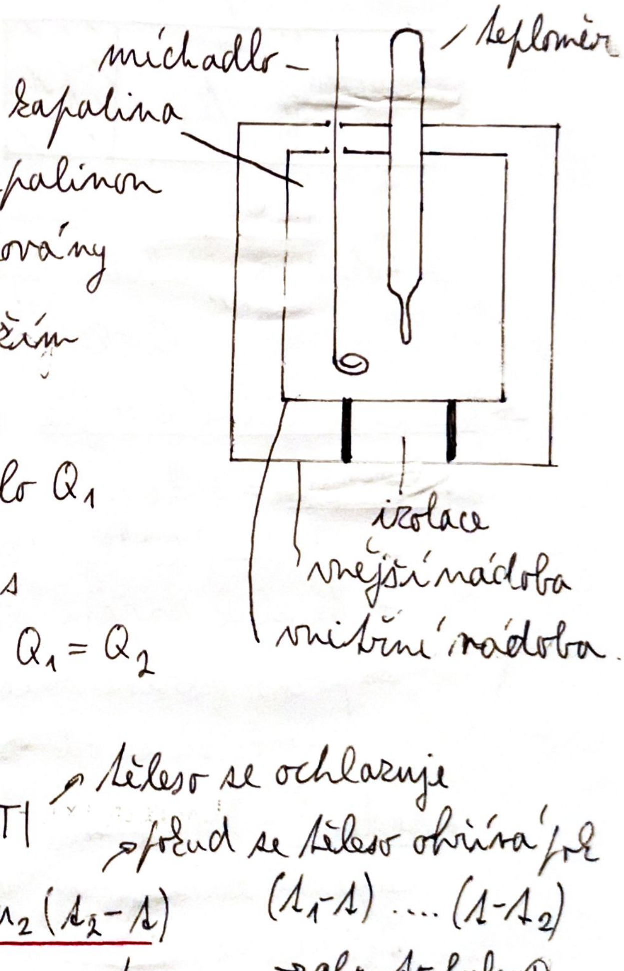
→ teplo, které musí přijmout 1 kg látky, aby se jeho T zvýšila o 1K

$C = c\cdot m$ $\Rightarrow$ $c = \frac{Q}{m\cdot\Delta T}$ $[c] = J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}$

$\Rightarrow$ $Q = c\cdot m\cdot\Delta T$ → $c(H_2O) = 4180\ J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}$

→ Kalorimetrická rovnice

→ kalorimetr



→ vnitřní nádoba společně s kapalinou v ní jsou vnější nádobou izolovány

→ do kapaliny o teplotě t_1 vložím těleso o teplotě t_2 $\wedge$ $t_2 > t_1$

$\Rightarrow$ těleso předává kapalině teplo Q_1

→ izolovaná soustava $\Rightarrow$ kapalina s nádobou přijímají teplo Q_2 $\wedge$ $Q_1 = Q_2$

$|\Delta U_1| = |\Delta U_2|$

$C_K\cdot\Delta T + c_k\cdot m_k\cdot\Delta T = c_t\cdot m_t\cdot|\Delta T|$ → těleso se ochlazuje

$C_K(t - t_1) + c_1\cdot m_1\cdot(t - t_1) = c_2\cdot m_2(t_2 - t)$ → pokud se těleso ohřívá pak $(t_1 - t)$ .... $(t - t_2)$

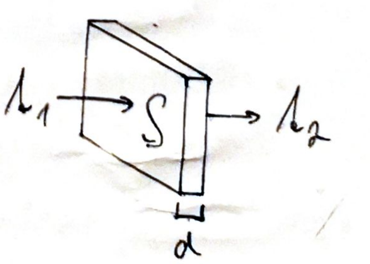
→ aby to bylo ⊕

$t_1 < t < t_2$

→ Tepelná vodivost – λ

→ teplo, které projde stěnou

$Q = \lambda\cdot S\cdot\frac{\Delta T}{d}\cdot\tau$ → S = obsah
→ d = tloušťka



λ = součinitel teplotní vodivosti

ΔT = rozdíl teplot po stranách stěny

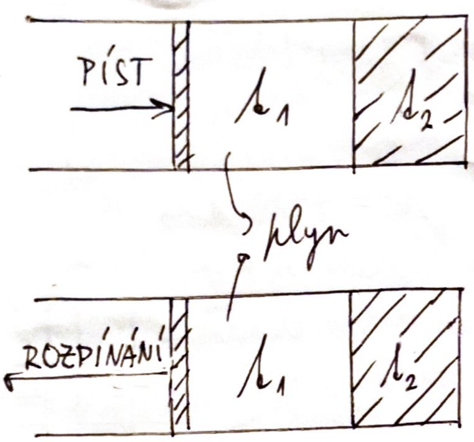
τ = čas, po který probíhá tepelná výměna

$[\lambda] = J\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}\cdot s^{-1}$

→ 1. Termodynamický zákon

→ Změna vnitřní energie tělesa je rovna součtu práce vykonané okolními tělesy na soustavě a tepla dodaného tělesu z okolí

→ $\Delta U = W + Q$ ⇒ $Q = \Delta U - W = \Delta U + W'$ ← práce vykonaná tělesem



→ píst se stlačuje ⇒ koná práci ⇒ $W > 0$

→ $t_2 > t_1$ ⇒ plyn se ohřívá ⇒ $Q > 0$

⇒ $\Delta U > 0$

→ plyn se rozpíná ⇒ koná práci ⇒ $W < 0$

→ $t_2 < t_1$ ⇒ plyn se ochlazuje ⇒ $Q < 0$

⇒ $\Delta U < 0$

→ pokud neprobíhá tepelná výměna, pak jde o Adiabatický děj a $Q = 0$

→ Přenos vnitřní energie

- **záření** = sálání = radiace
  - → všechny látky
  - → tepelné záření vzniká při tepelném pohybu částic
  - → pokud záření něco zasáhne
    - → část se odrazí, část projde, část se vstřebá – přenos E
- **vedení** = kondukce
  - → pevné látky – v rámci 1 tělesa
  - • elektricky nevodivá tělesa
    - → pohyb částic v zahřáté části tělesa je intenzivnější
    - ⇒ větší E ⇒ předávání sousedním částicím
  - • elektricky vodivá tělesa
    - → E přenášejí volné e^- → Elektronový plyn ⇒ snadné prohřátí
- **proudění** = cirkulace = konvekce
  - → kapaliny a plyny
  - → ↑ teplota ⇒ ↓ hustota ⇒ chladnější klesají, teplejší stoupají

1) V PET lahvi je 1,5 kg vody. Vypočítejte počet molekul vody v lahvi a hmotnost molekuly vody. (Relativní molekulová hmotnost vody je 18.)

$\left(N = \frac{m}{M_r m_u} \doteq 5.10^{25};\ m_m = M_r m_u \left(= \frac{m}{N}\right) \doteq 3.10^{-26} kg\right)$

2) Při posunování vagonů po vodorovné trati se vagon o hmotnosti 20 t pohyboval rychlostí 1,5 m.s^{-1} a narazil do stojícího vagonu o hmotnosti 40 t. Při srážce se oba vagony spojily a dále se pohybovaly společně. Vypočítejte přírůstek vnitřní energie vagonů při srážce.

$\left(\Delta U = \frac{m_1 m_2 v^2}{2(m_1+m_2)} = 15\ kJ\right)$

3) V kalorimetru o tepelné kapacitě 90 J.K^{-1} je 400 g oleje, jehož měrná tepelná kapacita je 1,8 kJ.kg^{-1}.K^{-1}. Teplota soustavy kalorimetru s olejem je 23 °C. Pevné těleso o hmotnosti 50 g mělo před vložením do kalorimetru teplotu 94 °C. Po vložení tělesa do oleje v kalorimetru se teplota ustálila na hodnotě 25 °C. Vypočítejte měrnou tepelnou kapacitu látky, ze které bylo těleso vkládané do kalorimetru, výsledek v J.kg^{-1}.K^{-1} zaokrouhlete na celky.

$\left(c_2 = \frac{(m_1 c_1 + C).(t-t_1)}{m_2(t_2-t)} \doteq 470\ J.kg^{-1}.K^{-1}\right)$

4) Do 600 g vody v kalorimetru o tepelné kapacitě 120 J.K^{-1} byl vložen mosazný váleček hmotnosti 0,15 kg. Původní teplota kalorimetru a vody byla 20,2 °C, po ustálení byla teplota vody, mosazného válečku i kalorimetru 19,4 °C. Měrná tepelná kapacita vody je 4,18 kJ.kg^{-1}.K^{-1}, mosazi 380 J.kg^{-1}.K^{-1}. Jakou teplotu měl mosazný váleček před ponořením do vody v kalorimetru?

$\left(t_2 = t - \frac{(m_1 c_1 + C).(t_1 - t)}{m_2 c_2} \doteq -\ 17{,}5\ °C\right)$

5) Do kalorimetru obsahujícího 0,30 kg vody o teplotě 18 °C jsme nalili 0,20 kg vody o teplotě 60 °C. V kalorimetru se ustálila výsledná teplota 34 °C. Vypočítej tepelnou kapacitu kalorimetru.

MOLEKULÁRNĚ KINETICKÁ TEORIE LÁTEK

1, $m = 1{,}5\ kg$
$M_R = 18$
$m_u = 1{,}66 \cdot 10^{-27}\ kg$
$N, m_m = ?$

$$M_R = \frac{m_m}{m_u} \Rightarrow m_m = M_R \cdot m_u$$
$$m_m = 18 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}\ kg$$
$$m_m \doteq 3 \cdot 10^{-26}\ kg$$

$$m = N \cdot m_m \Rightarrow N = \frac{m}{m_m} = \frac{m}{M_R \cdot m_u} = \frac{1{,}5}{18 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}} \doteq 5 \cdot 10^{25}$$

2, $m_1 = 20\ t = 2 \cdot 10^4\ kg$
$v_1 = 1{,}5\ m \cdot s^{-1}$
$m_2 = 40\ t = 4 \cdot 10^4\ kg$
$v_2 = 0$
$\Delta U = ?$

ubyde E_K ⇒ rozšíří se vnitřní E
WZZME
⇒ jde to do tření / tepla...

• $p = p_1 + p_2$
$v(m_1 + m_2) = v_1 \cdot m_1 + 0$
$$\Rightarrow v = \frac{v_1 \cdot m_1}{m_1 + m_2}$$

$$\Delta E = E - (E_1 + \overset{0}{E_2}) \quad \wedge \quad \Delta U = |\Delta E|$$
$$= \frac{1}{2} m \cdot v^2 - \frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2$$
$$= \frac{1}{2}(m_1 + m_2) \cdot \frac{v_1^2 \cdot m_1^2}{(m_1 + m_2)^2} - \frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2$$
$$= \frac{v_1^2 \cdot m_1^2}{2(m_1 + m_2)} - \frac{m_1 \cdot v_1^2}{2}$$

$$\Rightarrow \Delta E = \frac{v_1^2 \cdot m_1^2 - m_1^2 v_1^2 - m_1 \cdot m_2 \cdot v_1^2}{2(m_1 + m_2)}$$

$$\Delta E = -\frac{m_1 \cdot m_2 \cdot v_1^2}{2(m_1 + m_2)} = -\frac{8 \cdot 10^8 \cdot 2{,}25}{12 \cdot 10^4} = -\frac{18}{12} \cdot 10^4 = -15 \cdot 10^3\ J = -15\ kJ$$

$\Rightarrow \Delta U = 15\ kJ$

3, $C_K = 90\ J \cdot K^{-1}$
$m_1 = 4 \cdot 10^{-1}\ kg$
$c_1 = 1800\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$
$t_1 = 23°C$
$m_2 = 5 \cdot 10^{-2}\ kg$
$t_2 = 94°C$
$t = 25°C$
$c_2 = ?$

$$C_K(t - t_1) + c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 \cdot m_2 \cdot (t_2 - t)$$
$$c_2 = \frac{(t - t_1)(C_K + c_1 \cdot m_1)}{(t_2 - t) \cdot m_2}$$
$$c_2 = \frac{2(90 + 18 \cdot 10^2 \cdot 4 \cdot 10^{-1})}{69 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$$
$$c_2 = \frac{180 + 1440}{345 \cdot 10^{-2}}\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$$
$$c_2 \doteq 470\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$$

4)

$C_K = 120\ J\cdot K^{-1}$

$m_1 = 0{,}6\ kg$

$m_2 = 15\cdot 10^{-2}\ kg$

$t_1 = 20{,}2\,°C$

$t = 19{,}4\,°C$

$c_1 = 4180\ J\cdot K^{-1}\cdot kg^{-1}$

$c_2 = 380\ J\cdot K^{-1}\cdot kg^{-1}$

$t_2 = ?$

$$C_K(t_1 - t) + c_1 m_1 (t_1 - t) = c_2 m_2 (t - t_2)$$

$$\frac{C_K(t_1 - t) + c_1 m_1 (t_1 - t)}{c_2 m_2} = t - t_2$$

$$t_2 = t - \frac{(t_1 - t)(C_K + c_1\cdot m_1)}{c_2\cdot m_2}$$

$$t_2 = 19{,}4 - \frac{0{,}8\cdot(120 + 4180\cdot 0{,}6)}{380\cdot 15\cdot 10^{-2}}\ °C$$

$$t_2 = 19{,}4 - \frac{0{,}8(120 + 6\cdot 418)}{1{,}5\cdot 38}\ °C$$

$$\underline{\underline{t_2 \doteq -17{,}5\,°C}}$$

5)

$m_1 = 0{,}3\ kg$

$t_1 = 18\,°C$

$m_2 = 0{,}2\ kg$

$t_2 = 60\,°C$

$t = 34\,°C$

$c_1 = c_2 = c = 4180\ J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}$

$C_K = ?$

$$C_K(t - t_1) + c\cdot m_1 (t - t_1) = c\cdot m_2 (t_2 - t)$$

$$C_K = \frac{c\cdot m_2 (t_2 - t) - c\cdot m_1 (t - t_1)}{t - t_1}$$

$$C_K = \frac{418\cdot 2\cdot 26 - 418\cdot 3\cdot 16}{16}\ J\cdot K^{-1}$$

$$\underline{\underline{C_K = 104{,}5\ J\cdot K^{-1}}}$$