

## 8 Základné poznatky molekulovokinetickej teórie látok

- metódy skúmania vlastností látok:
  - o **termodynamická metóda (fenomenologická)**: vychádza z opisu javov, z meraní veličín a neopiera sa o nijaký model časticového zloženia látok
  - o **štatistická metóda**: vychádza z vnútornej štruktúry látok a ich vlastnosti vysvetľuje ako dôsledok pohybu a vzájomného pôsobenia častíc (využíva poznatky z teórie pravdepodobnosti a matematickej štatistiky)

### 8.1 kinetická teória stavby látok

- kinetická teória sa zakladá na troch experimentálne overených poznatkoch:
  - o látka akéhokoľvek skupenstva sa skladá z častíc – **molekúl, atómov alebo iónov**. priestor, ktorý teleso z danej látky zaberá, nie je týmito časticami bez zvyšku vyplnený – hovoríme o **nespojitej (diskrétnej)štruktúre látky**
  - o častice sa v látke pohybujú, ich pohyb je **ustavičný a neusporiadaný (chaotický)**. Pri posuvnom, otáčavom alebo kmitavom pohybe častíc (pri telese, ktoré je v pokoji) neprevláda v danom okamihu žiadny smer (častice sa v látke pohybujú rýchlosťami rozličných smerov a veľkostí) – táto forma pohybu sa volá **tepelný pohyb**
  - o častice na seba navzájom pôsobia príťažlivými a súčasne odpudivými silami; veľkosť týchto síl závisí od vzdialenosti medzi časticami
- častice majú kinetickú aj potenciálnu energiu; pre vnútornú energiu neusporiadaného (chaotického) pohybu častíc platí:

$$U = \sum_{i=1}^n E_{ki} + \sum_{i=1}^n E_{pi}$$

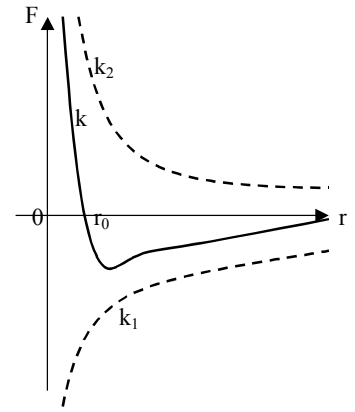
#### 8.1.1 dôkazy neusporiadaného pohybu častíc v látkach

- **difúzia**:
  - o samovoľné prenikanie častíc jednej tekutiny medzi častice druhej tekutiny
  - o difúzia sa vysvetľuje neustálym a neusporiadaným pohybom častíc, z ktorých sú tekutiny zložené; pri vyššej teplote difundujúcich tekutín pozorujeme rýchlejší priebeh difúzie
- **tlak plynu**:
  - o neustály pohyb molekúl plynu uzavretého v nádobe spôsobuje ustavičné zrážky týchto molekúl s molekulami vnútorných stien nádoby (príp. s molekulami povrchu telesa, ktoré sú vnútri plynu); tento jav je príčinou tlakových síl a tlaku plynu
- **Brownov pohyb**:
  - o v štruktúre látky si vyberieme jednu časticu a pozorujeme jej pohyb
  - o keď je rozmer častice veľmi veľký, naráža na ňu súčasne v rozličných smeroch veľký počet molekúl, preto sa ich silové pôsobenie na Brownovu časticu ruší a častica sa znateľne nepohybuje
  - o keď je rozmer Brownovej častice malý, naráža na ňu súčasne menší počet molekúl a silové pôsobenie sa už nemôže vyrovnáť, preto na častice pôsobí v každom okamihu výsledná tlaková sila, ktorá spôsobuje, že častica koná nepravidelné posuvné i otáčavé pohyby

#### 8.1.2 častice v silovom poli susedných častíc

- atómy toho istého prvku alebo rozličných prvkov môžu tvoriť molekulu, ktorej atómy sú navzájom viazané silami, ktoré nazývame **väzbové sily**
- väzbové sily existujú aj medzi molekulami v kvapalinách; tieto sily sú zvyčajne menšie, ako väzbové sily medzi atómami tvoriacimi molekulu

- na obr. je krivkou  $k_1$  znázornená zmena veľkosti príťažlivej sily  $F_1$  so vzdialenosťou  $r$  medzi časticami. Zmena veľkosti odpudivej sily  $F_2$  je znázornená krivkou  $k_2$ . Veľkosť príťažlivej sily sa nanáša pod vodorovnú os, veľkosť odpudivej sily nad ňu
- keďže na každú časticu látky pôsobí iná častica súčasne silami  $F_1$  a  $F_2$ , môžeme obe sily zložiť a dostaneme ich výslednicu; priebeh veľkosti výslednej sily je znázornený krivkou  $k$
- pri istej vzdialenosti  $r_0$  medzi časticami je výsledná pôsobiaca sila na každú časticu nulová; obe častice sú navzájom v rovnovážnej polohe
- vo vzdialenosti väčšej ako  $r_0$  je výsledná sila príťažlivá. Jej účinok sa so zväčšujúcou vzdialenosťou rýchlo znižuje, preto je každá častica príťahovaná iba najbližšími časticami vo svojom okolí – hovoríme, že na ňu pôsobia iba silové polia najbližších častíc
- vo vzdialenosti menšej ako  $r_0$  pôsobí na časticu výsledná odpudivá sila, ktorá sa so znižujúcou vzdialenosťou veľmi rýchlo zväčšuje
- sily, ktorými na seba pôsobia častice, určujú aj vzájomnú polohu častíc v molekulách
- sústava častíc má potenciálnu energiu; pri rovnovážnej polohe častíc sa táto energia nazýva väzbová energia



## 8.2 látkové množstvo

- **relatívna (pomerná) atómová hmotnosť  $A_r$ :**
  - o  $A_r = \frac{m_a}{m_u}$ , kde  $m_a$  je pokojová hmotnosť atómu a  $m_u$  je **atómová hmotnostná konštanta**, ktorá je definovaná ako  $\frac{1}{12}$  hmotnosti  $m_c$  atómu uhlíka  $^{12}_6C$ , teda  $m_u = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- **relatívna (pomerná) molekulová hmotnosť  $M_r$ :**
  - o molekula je sústava stabilne viazaných atómov schopná samostatnej existencie
  - o  $M_r = \frac{m_m}{m_u}$ , kde  $m_m$  je pokojová hmotnosť molekuly
  - o relatívna molekulová hmotnosť sa rovná súčtu relatívnych hmotností atómov, ktoré tvoria molekulu
- **látkové množstvo  $n$ :**
  - o  $n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M_m}$ , kde  $N$  je počet častíc;  $N_A$  je **Avogadrova konštanta**, pre ktorú platí  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ;  $m$  je hmotnosť telesa z rovnorodnej látky a  $M_m$  je molová hmotnosť
  - o sústava častíc má látkové množstvo 1 mol, ak obsahuje práve toľko častíc, koľko atómov je v nuklide uhlíka  $^{12}_6C$  s hmotnosťou 0,012 kg
  - o pre molovú hmotnosť platí:
    - $M_m = M_r \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$
- **molový objem  $V_m$ :**
  - o  $V_m = \frac{V}{n}$ , kde  $V$  je objem telesa za daných podmienok a  $n$  zodpovedajúce látkové množstvo

## 8.3 modely štruktúr látok rozličných skupenstiev

- **plynná látka:**
  - o molekuly plynu sa skladajú z jedného alebo niekoľkých atómov, majú rozličné tvary a rozmery. Za normálnych podmienok sú stredné vzdialenosti medzi molekulami plynu

v porovnaní s rozmermi molekúl veľké (3 nm); pri týchto vzdialenostiach sú príťažlivé sily medzi molekulami malé

- molekuly plynu sa ustavične pohybujú v rozličných smeroch a rôzne veľkými rýchlosťami; zmena smeru a veľkosti nastáva v dôsledku zrážok molekúl s inými molekulami (príčinou je odpudivá sila medzi molekulami pri malých vzdialenostiach). Medzi jednotlivými zrážkami sa molekuly pohybujú približne rovnomerne priamočiara. Viacatómové molekuly plynu okrem posuvného pohybu konajú aj rotačný pohyb a atómy vnútri týchto molekúl ustavične kmitajú.
- celková kinetická energia sústavy molekúl plynu zahŕňa kinetickú energiu molekúl, ktoré konajú neusporiadaný posuvný pohyb a rotačný pohyb a kinetickú energiu kmitajúcich atómov v molekulách. Absolútna hodnota celkovej potenciálnej energie je vždy oveľa menšia ako celková kinetická energia tohto istého plynu.

- **pevná látka:**

- väčšina pevných látok je zložená z častíc s pravidelným usporiadaním – častice tvoria kryštalickú štruktúru. Niektoré látky nemajú pravidelné usporiadanie – sú to *amorfné látky*.
- stredná vzdialenosť medzi časticami pevnej látky je asi 0,2 nm až 0,3 nm. Vzájomné príťažlivé sily medzi časticami spôsobujú, že pevná látka na rozdiel od plynu tvorí teleso istého tvaru a objemu. Ak na teleso nepôsobí vonkajšia sila a ak sa nemení teplota, zostáva tvar aj objem telesa z pevnej látky zachovaný.
- častice, ktoré tvoria pevnú látku, konajú okolo svojich rovnovážnych polôh kmitavé pohyby. Absolútna hodnota celkovej potenciálnej energie sústavy častíc je väčšia ako celková kinetická energia častíc, ktoré konajú kmitavý pohyb.

- **kvapalná látka:**

- molekuly kvapaliny sa nepohybujú tak voľne ako molekuly plynu. Stredná vzdialenosť medzi časticami je približne 0,2 nm. Vzájomné pôsobenie molekúl nie je také silné, aby všetky molekuly boli navzájom viazané.
- každá molekula kvapaliny v silovom poli susedných molekúl kmitá okolo rovnovážnej polohy, ktorá sa s časom mení. Keď je kvapalina v pokoji, preskoky molekúl z jednej rovnovážnej polohy do druhej sa dejú všetkými možnými smermi. Preto kvapalina je tekutá, nezachováva si svoj smer.
- absolútna hodnota potenciálnej energie je rádovo porovnateľná s celkovou kinetickou energiou častíc

- **plazma:**

- považujeme ju za štvrté skupenstvo
- je to sústava elektricky nabitých častíc (elektrónov, iónov) a neutrálnych častíc; súbor častíc je navonok neutrálny

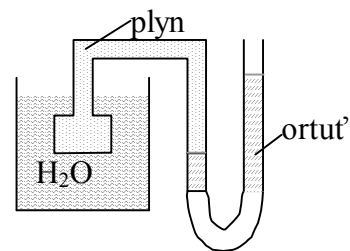
## 8.4 rovnovážny stav termodynamickkej sústavy

- teleso alebo skupina telies, ktorých stav skúmame, nazýva sa **termodynamická sústava**. Veličiny, ktorými je určený stav, napr. tlak, teplota, objem energia, sú **stavové veličiny**
- sústava, v ktorej neprebíha výmena energie s okolím a ktorej chemické zloženie a hmotnosť zostávajú konštantné, nazýva sa **izolovaná sústava**
- každá sústava, ktorá je od istého okamihu v nemenných vonkajších podmienkach, prejde po istom čase samovoľne do rovnovážneho stavu, v ktorom zotrúva, kým sa podmienky nezmenia

## 8.5 termodynamická teplota

- **teplota** je funkcia stavu látky
- **Celziusova teplotná stupnica:**
  - má dve základné teploty: 0 °C (rovnovážny stav sústavy ľad + voda) a 100 °C (rovnovážny stav sústavy voda + nasýtený vodná para)

- medzi týmito teplotami je stupnica rozdelená na rovnakých dielikov; jeden dielik na stupnici zodpovedá jednému **Celziovmu stupňu** – °C
- voľba teplotnej stupnice závisí od voľby teplomernej látky
- **termodynamická teplotná stupnica:**
  - má jednu základnú teplotu, a to teplotu rovnovážneho stavu sústavy ľad + voda + nasýtená para; tento rovnovážny stav sa volá **trojný bod vody** a dohodou sa mu priradila termodynamická teplota  $T_r=273,16\text{ K}$
  - jednotkou termodynamickéj teploty je **Kelvin** (Kelvin definujeme ako 273,16 časť termodynamickéj teploty trojného bodu vody)
  - pre Celziovu teplotu platí:
    - $t = (\{T\} - 273,15)^\circ\text{C}$
  - termodynamickú teplotu môžeme merať pomocou *plynového teplomera*
    - skladá sa z nádoby naplnenej plynom, ktorá je spojená úzkou rúrkou s otvoreným kvapalinovým manometrom. Manometer má jedno rameno pohyblivé v zvislom smere, aby sa udržiaval stály objem plynu
    - pre termodynamickú teplotu platí:
      - $T = \frac{T_r}{p_r} p$ , kde  $T_r$  a  $p_r$  je teplota a tlak trojného bodu vody



## 8.6 vnútorná energia telesa

- každé teleso má energiu, ktorá súvisí s jeho vnútornou časticovou štruktúrou, preto sa volá **vnútorná energia telesa**
- vnútornou energiou  $U$  telesa (sústavy) nazývame súčet celkovej kinetickej energie neusporiadane sa pohybujúcich častíc telesa (molekúl, atómov a iónov) a celkovej potenciálnej energie vzájomnej polohy týchto častíc
- vnútorná energia telesa nie je všeobecne konštantnou veličinou. Deje, pri ktorých mení vnútorná energia telesa, možno rozdeliť do dvoch skupín:
  - deje, pri ktorých sa mení vnútorná energia **konaním práce**
    - napr. trenie dvoch telies, stláčanie plynu
    - pri dejoch, ktoré prebiehajú v izolovanej sústave telies, zostáva súčet kinetickej, potenciálnej a vnútornej energie telies konštantný
  - deje, pri ktorých zmena vnútornej energie nastáva **tepelnou výmenou**
    - tepelná výmena je dej, pri ktorom neusporiadane sa pohybujúce častice teplejšieho telesa narážajú na častice studenšieho telesa a odovzdávajú im časť svojej energie (tepelná výmena prebieha medzi telesami, ktoré sa dotýkajú, ale môže prebiehať aj medzi telesami, ktoré sa nedotýkajú – prostredníctvom tepelného žiarenia)
    - keď teplejšie teleso odovzdá studenšiemu tepelnou výmenou energiu, hovoríme, že teplejšie teleso studenšiemu odovzdalo **teplo** (teplo je zmena vnútornej energie molekulovej sústavy); jednotkou tepla je **joule**

### 8.6.1 merná tepelná kapacita

- keď teleso prijme teplo  $Q$  tepelnou výmenou, zväčší sa jeho vnútorná energia o hodnotu  $\Delta U$ ; ak nenastane súčasne zmena skupenstva látky, zvýši sa teplota o  $\Delta T$ , potom pre **tepelnú kapacitu** telesa platí:
  - $C = \frac{Q}{\Delta T}$ ,  $[C] = \text{J.K}^{-1}$
- pre **mernú tepelnú kapacitu** platí:
  - $c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$ ,  $[c] = \text{J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , kde  $m$  je hmotnosť telesa

- z toho platí:
  - o  $Q = cm\Delta T$
  - o teplo, ktoré prijme teleso, je priamo úmerné hmotnosti  $m$  telesa a prírastku teploty
- **zmiešavací kalorimeter** je tepelne izolovaná nádoba s miešačkou a teplomerom
  - o keď v kalorimetri je voda s hmotnosťou  $m_2$ , teplotou  $t_2$  a mernou tepelnou kapacitou  $c_2$  vložíme teleso s hmotnosťou  $m_1$ , teplotou  $t_1$  (pričom  $t_1 > t_2$ ) z materiálu s mernou tepelnou kapacitou  $c_1$ , tak po určitom čase nastane tepelná rovnováha; platí:
    - $Q_1 = Q_2 \Rightarrow c_1 m_1 (t_1 - t) = c_2 m_2 (t - t_2)$
  - o počas tepelnej výmeny sa zohreje aj kalorimeter a jeho súčasti, potom pre upravenú rovnicu platí:
    - $c_1 m_1 (t_1 - t) = c_2 m_2 (t - t_2) + C(t - t_2)$ , kde  $C$  je tepelná kapacita kalorimetra

## 8.6.2 prvý termodynamický zákon

- **prvý termodynamický zákon**: zmena vnútornej energie sústavy  $\Delta U$  sa rovná súčtu práce  $W$  vykonanej okolitými telesami, ktoré pôsobia na sústavu silami a tepla  $Q$  odovzdaného okolitými telesami sústave
  - o  $U = W + Q$
  - o keď konaním práce alebo tepelnou výmenou sústava energiu prijíma, považujeme prácu vykonanú okolitými telesami pôsobiacimi na sústavu silami a teplo prijaté sústavou za kladné veličiny
  - o keď sústava konaním práce alebo tepelnou výmenou okolitým telesám energiu odovzdáva, považujeme prácu vykonanú okolitými telesami a teplo odovzdané okolitým telesám za záporné veličiny
- keď prácu  $W$ , ktorú vykonajú okolité telesa, nahradíme prácou  $W'$ , ktorú vykoná sústava tým, že pôsobí na okolité telesa rovnako veľkou silou opačného smeru, pričom platí  $W = W'$ , pre prvý termodynamický zákon platí:
  - o  $0 = \Delta U + W'$
  - o teplo  $Q$  dodané sústave sa rovná súčtu zmeny jej vnútornej energie  $\Delta U$  a práce  $W'$ , ktorú vykoná sústava

## 8.7 teplotná rozt'ažnosť

### 8.7.1 teplotná rozt'ažnosť pevných telies

- pri zmene teploty pevného telesa menia sa jeho rozmery
- **dĺžková rozt'ažnosť**:
  - o predpokladajme, že dané teleso v tvare tyče má začiatočnú teplotu  $t_1$  a začiatočnú dĺžku  $l_1$ . teplota tyče sa zmení na hodnotu  $t$ , takže zmena teploty je  $\Delta t = t - t_1$ . Zodpovedajúcu zmenu dĺžky tyče označíme  $\Delta l = l - l_1$ , potom pre zmenu dĺžky tyče platí:
    - $\Delta l = \alpha l_1 \Delta t \Rightarrow l = l_1 (1 + \alpha \Delta t)$ , kde  $\alpha$  je **súčiniteľ teplotnej dĺžkovej rozt'ažnosti**, jednotkou je  $K^{-1}$
- **obsahová rozt'ažnosť**:
  - o platí:
    - $S = S_0 (1 + 2\alpha \Delta t)$
- **objemová rozt'ažnosť**:
  - o platí:
    - $V = V_0 (1 + \beta \Delta t)$ , kde  $\beta$  je **súčiniteľ teplotnej objemovej rozt'ažnosti**, zároveň platí  $\beta = 3\alpha$

### 8.7.2 teplotná objemová rozt'ažnosť kvapalín

- pri väčšine kvapalín sa objem so zvyšujúcou teplotou zväčšuje

- pre nie veľmi veľké teplotné rozdiely je objem  $V$  kvapaliny za stáleho vonkajšieho tlaku určený vzťahom:
  - $V = V_0(1 + \beta \cdot \Delta t)$ , kde  $\beta$  je *súčiniteľ teplotnej objemovej rozťažnosti kvapaliny*
- pre väčšie teplotné rozdiely pre zmenu objemu platí:
  - $V = V_0(1 + \beta_1 \cdot \Delta t + \beta_2 (\Delta t)^2)$
- so zmenou teploty sa mení aj hustota kvapaliny:
  - $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_0(1 + \beta \cdot \Delta t)} = \frac{\rho_0}{1 + \beta \cdot \Delta t} = \frac{\rho_0(1 - \beta \cdot \Delta t)}{1 - \beta^2 \cdot (\Delta t)^2} = \rho_0(1 - \beta \cdot \Delta t)$
- jednou z výnimiek je voda v intervale od 0 °C do 3,98 °C; v tomto intervale so zvyšujúcou teplotou objem vody klesá; táto vlastnosť vody sa nazýva *anomália vody* (voda má pri 3,98 °C najväčšiu hustotu); pri ďalšom zvyšovaní teploty sa stredná vzdialenosť molekúl aj objem vody zväčšuje