

Základy molekulové fyziky a termodynamiky

Molekulová fyzika je částí fyziky, která zkoumá vlastnosti látek na základě jejich vnitřní struktury, pohybu a vzájemného silového působení částic, z nichž jsou látky složeny.

- Využívá tzv. **statistickou metodu** zkoumání, která se opírá o modely mikrostruktury látek a k popisu souborů o obrovském počtu částic využívá poznatků teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky.
- Teoretickým základem molekulové fyziky je **kinetická teorie látek (KTL)**, která je postavena na třech základních, dnes již teoreticky i experimentálně potvrzených, faktech:
 - 1) Látky všech skupenství jsou složeny z částic (atomů, iontů molekul), které se pohybují neustálým chaotickým pohybem, tzv. *tepelným pohybem*.
 - 2) Mezi částicemi v látkách jsou mezery.
 - 3) Částice na sebe v látkách vzájemně působí *mezimolekulárními silami*.
 - odpudivými – ty se projeví např. při snaze o stlačení tělesa
 - přitažlivými - ty se projeví např. při snaze o přetržení tělesa

Poznámka 1: Platnost uvedených faktů potvrzuje nepřímě celá řada jevů, např. Brownův pohyb, difúze, osmóza kapalin, tlak plynu, ...

Poznámka 2: Existenci mezer mezi částicemi lze dokázat jednoduchým experimentem. Když slijeme 1 litr vody s 1 litrem líhu, dostaneme vždy méně než 2 litry směsi.

Poznámka 3: Mezimolekulární síly působí do vzdáleností řádově 10^{-9} m.

Poznámka 4: Za přímý důkaz správnosti KTL lze považovat pozorování elektronovým mikroskopem, který umožňuje „vidět“ jednotlivé atomy.

Termodynamika je částí fyziky, která zkoumá vlastnosti látek a jevy spojené s teplem a s jeho přenosem, zabývá se zákony přeměny různých forem energie na energii vnitřní a naopak, a důsledky, které z toho vyplývají.

- Používá tzv. **termodynamickou metodu** zkoumání, která se neopírá o modely mikrostruktury látek jako metoda statistická, ale je postavena na fyzikálních měřeních, z jejichž výsledků hledá vzájemné vztahy mezi fyzikálními veličinami, popisuje stavy fyzikálních soustav a procesy, které v nich probíhají.
- Základem termodynamiky jsou tři termodynamické zákony:
 - 1) **První termodynamický zákon:** $\Delta U = W + Q$
Změna vnitřní energie soustavy ΔU je rovna součtu práce W vykonané soustavou nebo okolními tělesy působícími na soustavu silami a tepla Q odevzdaného soustavou okolním tělesům nebo přijatého soustavou od okolních těles. Jde v podstatě o zákon zachování energie.
Znaménková konvence:

$\Delta U > 0$	$(\Delta U < 0)$... vnitřní energie soustavy roste	(klesá)
$W > 0$	$(W < 0)$... práci koná okolí	(soustava)
$Q > 0$	$(Q < 0)$... soustava teplo přijímá	(odevzdává)

Důsledek: Nelze vyrobit perpetuum mobile prvního druhu, tj. stroj, který by trvale konal práci, aniž by přijímal tomu odpovídající teplo (energii) od okolí.

- 2) **Druhý termodynamický zákon:** Nelze sestrojít perpetuum mobile druhého druhu, tj. periodicky pracující stroj, který by jen přijímal teplo od ohřívače a vykonával stejně velkou práci.
Jiná formulace tohoto zákona – Při tepelné výměně nemůže těleso s vyšší teplotou samovolně přijímat teplo od tělesa s nižší teplotou.
- 3) **Třetí termodynamický zákon:** Nelze dosáhnout teploty 0 K.

Charakteristika jednotlivých skupenství látek z hlediska molekulové fyziky:

Poznámka: V následujících řádcích značí E_k vnitřní kinetickou energii částic v tělese a E_p vnitřní polohovou energii těchto částic, která se v tomto případě nazývá **vazebná energie**. Pro jednu částici je vazebná energie rovna práci, kterou musíme vykonat, abychom částici z vazby uvolnili.

Pevné látky - vlastnosti:

- $E_p \gg E_k$
- Vzdálenosti mezi částicemi jsou „malé“, řádově 10^{-10} m (tedy srovnatelné s rozměry částic), mezi částicemi působí proto „velké“ mezimolekulární síly a částice jsou pravidelně uspořádány
- Částice kmitají kolem stálých rovnovážných poloh
- Pevné těleso má stálý tvar a objem

Kapaliny - vlastnosti:

- $E_p \approx E_k$
- Vzdálenosti mezi částicemi jsou rovněž „malé“ řádově 10^{-10} m, mezi částicemi působí „velké“ mezimolekulární síly, částice jsou určitým způsobem pravidelně uspořádány, ale pouze na velmi krátké vzdálenosti. Proto kapalina drží pohromadě, je nestlačitelná, ale tekutá.
- Částice kmitají kolem nestálých rovnovážných poloh
- Kapalně těleso má stálý objem, ale nevlastní tvar nádoby, ve které se nachází.

Plyny - vlastnosti

- $E_p \ll E_k$
- Vzdálenosti mezi částicemi jsou mnohem větší než rozměry částic (např. za normálního tlaku jsou řádově 10^{-9} m), mezi částicemi působí kromě srážek zanedbatelné mezimolekulární síly, částice nejsou uspořádány, proto je plyn rozpínavý a stlačitelný.
- Částice se pohybují kromě srážek rovnoměrným přímočarým pohybem
- Plynné těleso má nestálý objem a nevlastní tvar nádoby, ve které se nachází.

Poznámka: Plazma považujeme za čtvrté skupenství látky. Jde o soustavu elektricky nabitých a neutrálních částic (při dostatečně vysoké teplotě může být složeno jen z volných jader a elektronů). Navenek je neutrální. Příklady plazmatu – plamen, blesk, polární záře, plazma mezihvězdného prostoru, plazma hvězd, umělé plazma vzniklé při výboji v plynech,...

Fyzikální veličiny používané v molekulové fyzice a termodynamice

- klidová hmotnost atomu m_a
- klidová hmotnost molekuly m_m
- atomová hmotnostní konstanta $m_u = \frac{1}{12} m_C = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Její hodnota je rovna $\frac{1}{12}$ hmotnosti atomu nuklidu uhlíku $^{12}_6\text{C}$

- relativní atomová hmotnost $A_r = \frac{m_a}{m_u}$ hodnoty A_r jsou uvedeny v MFCHT
- relativní molekulová hmotnost $M_r = \frac{m_m}{m_u}$ je součtem relativních atomových hmotností atomů, z nichž je molekula složena
- Avogadrova konstanta $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ udává počet částic v jednom molu látky
- látkové množství $n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M_m}$ [n] = mol
- molární hmotnost $M_m = \frac{m}{n} = M_r \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$
- molární objem $V_m = \frac{V}{n}$
- stavové veličiny
 - teplota termodynamická T [T] = K $\{T\} = \{t\} - 273,15$
 - Celsiova t [t] = °C $\{t\} = \{T\} + 273,15$

Poznámka 1: Teplotu měříme teploměrem. Teploměr převádí měření teploty na měření jiné fyzikální veličiny, která je na teplotě závislá, např. objem kapaliny (kapalinový teploměr), elektrický odpor (odporový teploměr), délka kovového pásku (bimetalový teploměr), tlak plynu v uzavřené nádobě (plynový teploměr),

Poznámka 2: Pro měření teploty používáme nejčastěji **Celsiovu teplotní stupnici** a **Termodynamickou teplotní stupnici**.

- Celsiova stupnice má dvě základní teploty:
 1. Teplota 0°C byla přiřazena rovnovážnému stavu led + voda za normálního tlaku.
 2. Teplota 100°C byla přiřazena r. s. voda + její sytá pára za normálního tlaku.
 1°C získáme rozdělením uvedených teplot na 100 dílků
- Termodynamická teplotní stupnice má jednu základní teplotu.

Teplota 273,16K byla přiřazena trojnému bodu vody, což je r.s. led+voda+sytá pára.

 1K získáme jako 1/273,16 část teploty trojného bodu vody.

- tlak p [p] = Pa
- objem V [V] = m³
- teplo Q [Q] = J

Poznámka: Teplo definujeme jako část vnitřní energie, kterou těleso přijme nebo odevzdá při tepelné výměně s jiným tělesem. Nelze se tedy ptát: „Jaké teplo má těleso? Správná otázky jsou: „Jaké teplo přijalo těleso? Jaké teplo odevzdalo těleso?“

Teplo Q, které je třeba dodat chemicky stejnorodému tělesu hmotnosti m při tepelné výměně, je přímo úměrné přírůstku teploty Δt : $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$, kde c je měrná tepelná kapacita látky, m je hmotnost tělesa a Δt je přírůstek teploty tělesa.

Ze vztahu pro teplo lze vypočítat: $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$ Měrná tepelná kapacita látky je číselně rovna teplu, které je nutné dodat tělesu z této látky o hmotnosti 1 kg, aby se ohřálo o 1°C.

- vnitřní energie U [U] = J

Vnitřní energii soustavy tvoří její:

1. Celková E_k tepelného pohybu částic.
2. Celková E_p plynoucí ze vzájemného silového působení částic.
3. Energie elektronů v atomech a iontech.
4. Energie jader atomů

Poznámka: Neprobíhají-li chemické a jaderné reakce, 3) a 4) zanedbáváme.

Vnitřní energie lze přenášet:

- a) **vedením** ... tělesa se musí dotýkat, přičemž vnitřní energii vždy předává teplejší těleso tělesu studenějšímu – předává mu teplo. Látky, které dobře vedou (nevedou) teplo, jsou tepelné vodiče (izolanty).
- b) **prouděním** ... při proudění dochází k přenosu hmoty, je charakteristické pro kapaliny a plyny. Teplejší tekutina stoupá nahoru, čehož se využívá např. při vytápění budov, v meteorologii, ...
- c) **zářením** ... uplatňuje se např. při přenosu sluneční energie na Zemi přes vakuum mezi Sluncem a Zemí

Vnitřní energii lze měnit:

- a) konáním práce ... příklady – řezání pilou, pumpování hustilkou, ohýbání drátu, drcení, mletí, tření, ...
- b) tepelnou výměnou ... přesná měření je nutné provádět v kalorimetru
- c) současně a) i b) ... uplatňuje se 1. termodynamický zákon

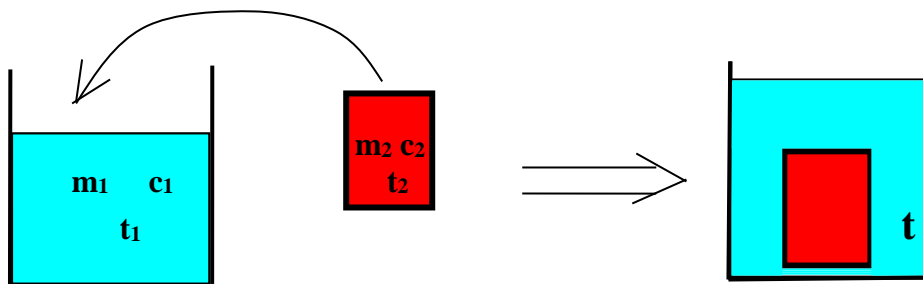
Kalorimetrická rovnice

vyjadřuje jednoduchou skutečnost, že v tepelně izolované soustavě je celkové teplo odevzdané teplejšími tělesy rovno celkovému teplu přijatému tělesy studenějšími.

Příklad tepelné výměny:

Kalorimetr:

Do chladné kapaliny teploty t_1 vložíme těleso vyšší teploty t_2 :



Tepelná výměna mezi kapalinou a tělesem probíhá až do okamžiku dosažení termodynamické rovnováhy, která je charakterizována dosažením společné teploty t : $t_1 < t < t_2$

$Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot (t - t_1)$... teplo přijaté kapalinou

$Q_2 = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t)$... teplo odevzdané tělesem

1) Považujeme-li soustavu *kapalina – těleso* za izolovanou, pak podle zákona zachování energie platí:

$$Q_1 = Q_2$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t - t_1) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t)$$

... kalorimetrická rovnice

2) Účastní-li se tepelné výměny i kalorimetr, pak je třeba na straně přijatého tepla uvažovat i $Q'_1 = C \cdot (t - t_1)$, kde C je tepelná kapacita kalorimetru. Kalorimetrická rovnice má pak tvar:

$$Q_1 + Q'_1 = Q_2$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t - t_1) + C \cdot (t - t_1) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t)$$

Pozn.: Složitost kalorimetrické rovnice závisí na druhu a počtu těles a na podmínkách, za kterých se tělesa tepelného děje účastní.

Poznámka: Lze vypočítat $C = \frac{Q'_1}{\Delta t}$ a odvodit, že tepelná kapacita kalorimetru je číselně rovna teplu, které je nutno dodat kalorimetru, aby se ohřál o 1°C .