

Meno a priezvisko:

Škola:

Školský rok/blok:

Predmet:

Trieda:

Dátum:

Teória

Škola pre mimoriadne nadané deti a Gymnázium

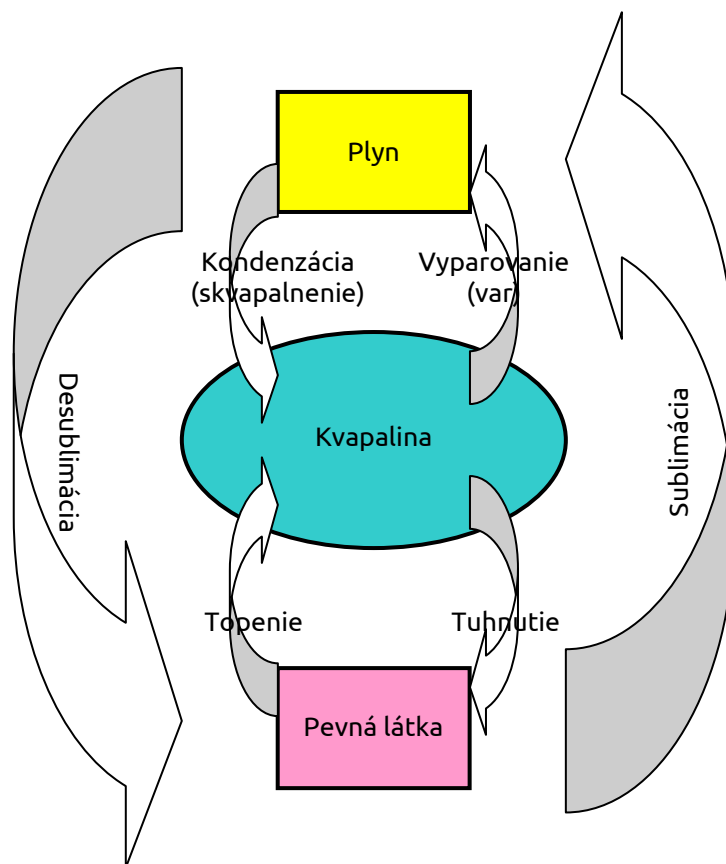
Fyzika

Molekulová fyzika a termodynamika

Zmeny skupenstva látok

3.1 Zmeny skupenstva látok

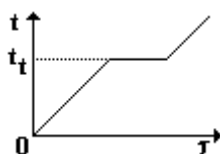
Jedna látka sa môže vyskytovať ako plynná, kvapalná alebo pevná. Tieto tri stavy rovnakej látky (materiálu) nazývame skupenstvo plynné, kvapalné a pevné. Pod zmenou skupenstva rozumieme fyzikálny dej, pri ktorom sa mení skupenstvo látky. Obrázok znázorňuje prehľad skupenských zmien.



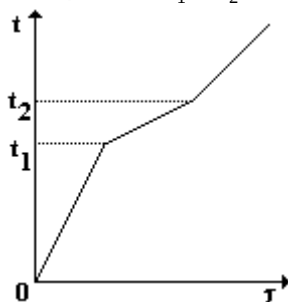
3.1.1 Topenie

Ak zahrievame teleso z kryštalickej látky (ľad, kryštály sódy, kov, ...), zvyšuje sa jeho teplota a po dosiahnutí **teploty topenia** t_t sa pevná látka zmení na kvapalinu rovnakej teploty. Kryštalická látka sa topí. Rôzne kryštalické látky majú rôznu teplotu topenia, ktorá navyše závisí od vonkajšieho tlaku, pri ktorom topenie prebieha.

Tabuľkové hodnoty sa udávajú pri normálnom tlaku, a preto sa nazývajú **normálne teploty topenia**. Graf závislosti teploty t od času τ je na nasledujúcom obrázku:



Pevné amorfne látky (vosk, sádlo, sklo, plasty, ...) pri zahrievaní postupne meknú až sa premenia na kvapalinu (tj. topenie prebieha medzi dvomi teplotami t_1 a t_2 .



Nemajú teda žiadnu konkrétnu teplotu topenia. Existujú látky (drevo, mramor, ...), ktoré sa nemôžu zahriať až na teplotu topenia, pretože už pri nižších teplotách dochádza k ich rozkladu. Zliatiny kovov sa topia pri teplote nižšej ako je priemer teplôt, pri ktorých sa topia jednotlivé zložky zliatiny.

Prečo sa kryštalické látky správajú inak ako amorfne ?

- Kryštalická látka – všetky väzby sú rovnaké – rozpadajú sa pri rovnakej teplote.
- Amorfná látka – väzby sa líšia – rôzne väzby sa rozpadajú pri rôznych teplotách.

Častice sa v rôznych pevných kryštalických látkach viažu rôznymi väzbami → preto majú rôzne teploty topenia.

Teplotu topenia ovplyvňuje:

- vonkajší tlak,
- chemické prísady (sol' znižuje teplotu topenia vody - solenie chodníkov, voda sa topí už pri -6°C).

Teplota topenia ľadu sa znižuje rozpúšťaním solí (ak posypeme soľou v zime ľad na chodníku, zníži sa teplota topenia ľadu tak, že ľad sa roztopí aj pri okolitej teplote nižšej ako 0°C .

Teplu, ktoré prijme pevné teleso zahriate na teplotu topenia aby sa zmenilo na kvapalinu rovnakej teploty, sa nazýva **skupenské teplo topenia** L_t . Pritom predpokladáme, že **nenastávajú iné premeny energie** a vonkajší tlak nad topiacou sa látkou je stály.

Skupenské teplo topenia závisí nielen od materiálu, ale tiež od jeho množstva. Preto sa definuje **merné**

skupenské teplo topenia $l_t = \frac{L_t}{m}$, kde m je hmotnosť telesa z danej látky; $[l_t] = \text{J.kg}^{-1}$. Je to teda teplo, potrebné na roztopenie 1kg látky, ktorá je už zahriata na teplotu topenia. Množstvo tepla, ktoré musíme dodať topiacej sa látke, je priamo úmerné jej hmotnosti: $Q_t = L_t = m.l_t$.

Ľad má relatívne vysokú hodnotu merného skupenského tepla topenia, čo má v praxi pozitívne následky: na jar sa topí sneh postupne a pomaly (ak naň neprší), vzniknutá voda stihne vsakovať alebo vyparovať a minimalizuje sa tak vznik záplav. Na druhej strane, na zahnanie smädu sa nemá jesť sneh, pretože hrozí nebezpečenstvo umrznutia.

Ak prijme kryštalická látka teplo, vzrastá stredná kinetická energia kmitavého pohybu častíc. Častice zväčšujú rozkmity, pričom sa zväčšuje aj stredná vzdialenosť medzi nimi. Tým vzrastá **stredná potenciálna energia častíc**. Pri dosiahnutí teploty topenia sú už kmity častíc také, že sa poruší väzba medzi časticami mriežky – rozpadá sa a látka sa topí. **Väzobné sily** medzi časticami sa pre rôzne materiály líšia, preto sa rôzne látky topia pri rôznych teplotách a tlakoch.

V priebehu topenia kryštalická látka síce prijíma teplo, ale **nemení sa stredná kinetická energia častíc** (nemení sa ani teplota). Zväčšuje sa stredná potenciálna energia častíc, čo znamená, že pri teplote topenia je **vnútorná energia roztaveného telesa väčšia ako vnútorná energia toho istého telesa v kryštalickom stave** pri rovnakej teplote.

Ak sa roztopí všetka látka a prijíma ďalšie teplo, dochádza opäť k rastu strednej kinetickej energie častíc a tým sa teda zväčšuje teplota vzniknutej kvapaliny.

Chemicky čistá kryštalická látka sa topí za konštantnej tepoty. Ak sa má roztopiť kocka ľadu, ktorá má počiatočnú teplotu nižšiu ako teplota topenia (za daného tlaku), je potrebné ľad najprv ohriať na teplotu topenia (dodať teplo $Q_{\text{ľadu}} = m_{\text{ľadu}} c_{\text{ľadu}} (t_{\text{topenia}} - t_{\text{ľadu}})$), potom ho roztopiť (dodať teplo $L_{\text{topenia}} = m_{\text{ľadu}} l_{\text{ľadu}}$ - v priebehu topenia sa nemení teplota ľadu; teplo L_{topenia} sa premení na energiu nutnú na porušenie pevných väzieb v ľade) a potom prípadne vzniknutú vodu ohriať (dodať ďalšie teplo $Q_{\text{vody}} = m_{\text{ľadu}} c_{\text{vody}} (t_{\text{konečn}} - t_{\text{topenia}})$).

3.1.2 Tuhnutie

Nechávame chladnúť kvapalinu, ktorá vznikla zohriatím z kryštalickej látky → **pri určitej teplote** (v prípade chemicky čistých látok sa zhoduje s teplotou topenia) **kvapalina prestane chladnúť a začne sa meniť na pevnú látku** (kryštalizovať).

Ako prebieha tuhnutie ?

V kvapaline vznikajú zárodočné (kondenzačné) kryštalické jadrá → k jadram sa pridávajú ďalšie častice → kryštáliky postupne rastú → v okamihu stuhnutia tvoria látku dotýkajúce sa polykryštalické zrná:

http://www.youtube.com/watch?v=4E_5r1r6pfM
<http://www.youtube.com/watch?v=2Kud9eVbmRY>
<http://www.youtube.com/watch?v=BLq5NibwV5q>
<http://www.youtube.com/watch?v=Jd9C40Svt5g&feature=related>

Ak je zárodočné jadro len jedno, vytvorí sa monokryštál. Pre technickú prax je dôležitá výroba kremíkových monokryštálov (Czochralského proces: Do točiaceho kelímku s veľmi čistým roztaveným kremíkom je vložený zárodočný chladený kryštál – točí sa opačne ako kelímok. Vďaka chladeniu sa naň postupne nabaľujú ďalšie vrstvy kryštálu → monokryštál kremíku s priemerom až 30cm a výšky 2m.

<http://www.youtube.com/watch?v=xftnhfa-Dmo>

A čo sa stane, keď v kvapaline nebude žiadne kryštalizačné jadro ? V prípade niektorých kvapalín môže pokračovať ochladzovanie. Akonáhle pridáme kryštalizačné jadro, začne rýchlo kryštalizovať.

http://www.youtube.com/watch?v=czmQ2_ymaOo&feature=related
<http://www.youtube.com/watch?v=aC-KOYQslvU&feature=fvw>

Môžeme rozlíšiť dva druhy látok

- oceľ, olovo, vosk a väčšina ďalších látok: pri topení objem zväčšujú,
- ľad, germánium, miektoré zliatiny: pri topení objem zmenšujú.

Ak ochladzujeme **kvapalinu**, ktorá vznikla **topením kryštalickej látky**, mení sa pri teplote tuhnutia na pevné teleso rovnakej teploty. Hovoríme o tuhnutí látky. **Pre chemicky čisté látky je teplota tuhnutia látky rovnaká teplota topenia za podmienky rovnakého tlaku.**

Pri tuhnutí nevzniká pevné skupenstvo okamžite. Ak dosiahne kvapalina teplotu tuhnutia, začnú sa v kvapaline vytvárať vplyvom väzobných síl **kondenzačné jadrá (zárodok)**. K nim sa postupne pripájajú a pravidelne usporiadávajú ďalšie častice látky. V tavenine tak vzniká pri kryštalizácii sústava voľne sa pohybujúcich kryštálikov nepravidelného tvaru. V okamihu, keď všetka látka stuhne, sa kryštáliky vzájomne dotýkajú a vytvárajú zrná. Týmto spôsobom vzniká kryštalizáciou polykryštalická látka, ktorej vlastnosti sú ovplyvnené veľkosťou zrn.

Pokiaľ sa v tavenine vytvorí len jeden zárodok, ku ktorému sa postupne pripájajú ďalšie častice látky, vzniká **monokryštál**. V technickej príprave monokryštálov sa ako zárodok používa malý monokryštál rovnakej látky, ktorý sa vnorí do taveniny. Ak sa pomaly ťahá zárodočný kryštál z taveniny a zaistí sa dostatočný odvod energie (chladenie) na rozhraní pevného a kvapalného skupenstva, vyrastie z taveniny monokryštál väčších rozmerov.

Pri tuhnutí čistej látky sa často stáva, že zárodok pevného skupenstva sa vytvorí až pri nižšej teplote ako je teplota tuhnutia danej látky. Kvapalinu, ktorá má nižšiu teplotu, ako je teplota tuhnutia danej látky, nazývame **podchladená kvapalina (prechladená kvapalina)**. Prechladenú kvapalinu je možné opäť previesť do pevného skupenstva vhođením niekoľkých kryštálikov danej pevnej látky, čím prejde rýchle do pevného skupenstva a teplota vzrastie na teplotu tuhnutia. Niekedy stačí tiež prudko trhnúť nádobu s danou kvapalinou.

Pri tuhnutí odovzdáva kvapalina svojmu okoliu **skupenské teplo tuhnutia**, ktoré je rovnaké ako **skupenské teplo topenia** pevného telesa z rovnakej látky a rovnakej hmotnosti. Samozrejme, že tiež je **merné skupenské teplo tuhnutia** rovnaké ako **merné skupenské teplo topenia**.

Ako jedným klepnutím zmraziť pivo (reportáž o podchladenej kvapaline):

<http://tn.nova.cz/vase-zpravy/jak-jednim-klepnutim-zmrazit-pivo.html>

Zmena objemu telies pri topení a tuhnutí, závislosť teploty topenia od tlaku

Väčšina látok pri **topení zväčšuje** svoj objem a pri **tuhnutí zmenšuje**. Existujú látky (ako ľad, antimón, bizmunt, niektoré zliatiny, ...), ktoré pri topení svoj objem zmenšujú a pri tuhnutí zväčšujú.

V prípade ľadu je relatívne zväčšenie objemu najväčšie – asi od 9%, čo súvisí s jeho kryštalickou štruktúrou. Kryštalická mriežka ľadu obsahuje priestorné kanáliky. Pri topení sa kryštálová mriežka bortí a voľný priestor postupne zaplňajú molekuly vody. Z toho je zrejmé, že neusporiadanému rozloženiu molekúl vody zodpovedá menší objem ako usporiadanému rozloženiu v kryštálovej mriežke ľadu.

Teplota topenia kryštalickej látky závisí tiež od vonkajšieho **tlaku**. Pri látkach, u ktorých je topenie sprevádzané zväčšením objemu, rastie pri zvýšení tlaku tiež teplota topenia. Ak je topenie sprevádzané zmenšením objemu, potom sa pri zvýšení vonkajšieho tlaku zníži teplota topenia látky.

V prípade ľadu spôsobí zvýšenie tlaku o 10^5 Pa pokles teploty o $7,5 \text{ mK}$. Tento jav je možné demonštrovať **regeláciou ľadu (znovuzamráním ľadu)**. Pomocou tohoto javu býva často vysvetľovaná klzkosť ľadu (pri korčuľovaní, ...): v dôsledku zvýšeného tlaku klesá teplota topenia a ľad sa čiastočne odtápa. Presnejšie pokusy ukázali, že tenká vrstva vody podmieňujúca klzkosť ľadu vzniká pri trení korčule o ľad – konaním práce sa zväčšuje vnútorná energia tenkej povrchovej vrstvy ľadu a tak sa ľad na povrchu topí.

Regelácia ľadu

<http://www.youtube.com/watch?v=F55ZAoKazxq>

Drôt má malý prierez a je zaťažený značnou hmotnosťou → pôsobí na ľad značným tlakom → znižuje sa teplota topenia ľadu pod drôtom → ľad sa topí → voda vyteká nad drôt, kde je opäť normálny tlak a ihneď mrzne.

Zväčšenie objemu pri tuhnutí vody má značný význam v prírode. Ľad má menšiu hustotu ako voda a preto pláva na vode a svojou malou tepelnou vodivosťou zabraňuje zamŕzanie vody do väčších hĺbok. Ľad vzniknutý pri zamŕzaní spôsobuje tiež rozrušovanie skál, praskanie muriva, ...

3.1.3 Vyparovanie a kvapalnenie

Z bežnej skúsenosti vieme, že objem kvapaliny v otvorenej nádobe sa časom zmenšuje, pretože časť kvapaliny sa mení na paru. Tento dej sa nazýva **vyparovanie**. Na rozdiel od topenia prebieha vyparovanie z voľného povrchu kvapaliny **za každej teploty**, pri ktorej kvapalné skupenstvo existuje.

Rôzne kvapaliny sa vyparujú rôzne rýchlo (najrýchlejšie napríklad **éter**, potom lieh, voda, ortuť, ...).

Rýchlosť vyparovania sa zvýši, ak sa

- zvýši teplota kvapaliny,
- zväčší sa obsah voľného povrchu
- odstraňujú vzniknuté pary nad kvapalinou (odsávaním, fúkaním, vetrom, ...).

Poznáme z praxe: ak jeme teplú polievku, „fúkame“ si ju. Tým odstraňujeme z priestoru nad voľným povrchom polievky pary. Ďalšie vyparovanie (a teda aj chladnutie polievky) môže prebiehať rýchlejšie.

Ak chceme kvapalinu s hmotnosťou m premeniť na paru rovnakej teploty, musí kvapalina prijať **skupenské teplo vyparovania** L_v . **Merné skupenské teplo vyparovania** l_v sa analogicky definuje

vzťahom $l_v = \frac{L_v}{m}$. S rastúcou teplotou kvapaliny klesá merné skupenské teplo vyparovania.

Ak zohrievame kvapalinu, pozorujeme, že pri dosiahnutí určitej teploty za daného tlaku sa vo vnútri kvapaliny vytvárajú bubliny pary. Bubliny postupne zväčšujú svoj objem a vystupujú k voľnému povrchu

kvapaliny. Tento zvláštny prípad vyparovania sa nazýva **var**. Pri vare sa kvapalina nevyparuje len na povrchu, ale tiež vo vnútri. Teplota, pri ktorej za daného (resp. normálneho) tlaku nastáva var kvapaliny, sa nazýva **(normálna) teplota varu** t_v . **Teplota varu je závislá od vonkajšieho tlaku – s rastúcim tlakom sa zväčšuje.**

Toto možno využiť v praxi: var za zvýšeného tlaku sa používa pri sterilizácii chirurgických nástrojov, výrobe papiera, varení v tlakovom hrnci, ...; var za zníženého tlaku sa využíva pri výrobe sirupov, práškoveho mlieka,

Merné skupenské teplo varu sa rovná **mernému skupenskému teplu vyparovania pri teplote varu kvapaliny**.

Poznámka: Dodané skupenské teplo varu je podľa prvého termodynamického zákona rovné prírastku vnútornej energie pary a práci, ktorú para vykoná pri zväčšení svojho objemu voči objemu kvapaliny. Vykonaná práca je ale väčšinou podstatne menšia ako prírastok vnútornej energie pary, takže ju spravidla neuvažujeme.

Molekuly kvapaliny konajú tepelný pohyb. **Ak majú niektoré molekuly na voľnom povrchu kvapaliny takú energiu, že sú schopné prekonať sily pútajúce ich k ostatným molekulám, potom môžu uniknúť do priestoru nad kvapalinou a vytvoria paru.** Ak je voľný povrch kvapaliny v kontakte vo vzduchu, **difunduje** vzniknutá para do okolia. Niektoré molekuly pary sa v dôsledku tepelného pohybu vracajú späť do kvapaliny. Počet týchto vracajúcich sa molekúl je pri vyparovaní kvapaliny v otvorenej nádobe vždy menší ako počet molekúl, ktoré v čase unikajú z kvapaliny. V dôsledku toho sa znižuje hmotnosť kvapaliny a zväčšuje hmotnosť pary.

Vzhľadom k tomu, že kvapalinu pri vyparovaní opúšťajú tie najrýchlejšie molekuly, znižuje sa stredná kinetická energia molekúl kvapaliny a tým aj teplota. Teplota vzniknutej pary je rovnaká ako teplota kvapaliny, pretože molekuly pri opustení kvapaliny strácajú časť svojej kinetickej energie na úkor prekonania príťažlivých síl. Majú ale väčšiu energiu potenciálnu. Z toho dôvodu je vnútorná energia pary danej hmotnosti väčšia ako vnútorná energia kvapaliny rovnakej hmotnosti a teploty.

Opačný dej kvyparovaniu sa nazýva **kvapalnenie (kondenzácia)**. Pri kondenzácii para v dôsledku zmenšovania svojho objemu alebo znížením teploty skvapalňuje. Pri tomto deji sa uvoľňuje **skupenské teplo kondenzačné**. **Merné skupenské teplo kondenzačné** je rovné **mernému skupenskému teplu vyparovania** rovnakej látky pri rovnakej teplote.

Kvapalnenie môže nastať na povrchu kvapaliny, na povrchu pevnej látky (napríklad poklička na hrnci), alebo vo voľnom priestore (napríklad oblaky). Vytváranie kvapiek, ktoré postupne rastú, uľahčujú drobné zrnká prachu alebo elektricky nabité častice (tzv. kondenzačné jadrá).

3.1.4 Sublimácia a desublimácia

Premena látky z pevného skupenstva priamo na skupenstvo plyné sa nazýva sublimácia. Za bežného atmosferického tlaku sublimuje napríklad jód, gáfor, pevný CO_2 (suchý ľad), ľad, sneh, ... , rovnako ako voňajúce alebo páchnuce látky.

Merné skupenské teplo sublimácie l_s je definované analogicky takto: $l_s = \frac{L_s}{m}$, kde L_s je **skupenské**

teplo sublimácie prijaté látkou s hmotnosťou m pri jej sublimácii za danej teploty. Merné skupenské teplo sublimácie závisí od teploty, pri ktorej látka sublimuje. Ak má sublimujúca látka dostatočnú hmotnosť v uzatvorenej nádobe, sublimuje tak dlho, pokiaľ sa nevytvorí **rovnovážny stav** medzi pevným skupenstvom a vzniknutou parou. Objemy pevnej látky a pary sa ďalej už nemenia, konštantný zostáva tlak pary a teplota sústavy.

Premena látky z plyného skupenstva priamo na pevné skupenstvo sa nazýva desublimácia (napríklad vytvorenie „sriene“ (inoväť) z vodnej pary pri teplote nižšej ako je $0^\circ C$).