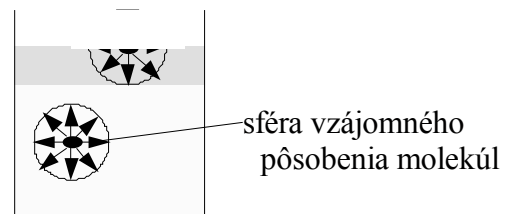


11 Štruktúra a vlastnosti kvapalín

- štruktúra kvapalných látok je podobná štruktúre amorfných látok
- každá častica kvapaliny kmitá okolo istej rovnovážnej polohy a po veľmi krátkom čase (rádovo 1 ns) zaujme novú rovnovážnu polohu. Keď sa teplota kvapaliny zvyšuje, čas zotrvania molekuly v rovnovážnej polohe sa znižuje. V pevnej látke každá častica kmitá okolo istej rovnovážnej polohy, ktorú za dlhé obdobie (hoci aj tisíce rokov) nezmení.
- zmena rovnovážnych polôh molekúl kvapaliny nastáva v dôsledku náhodných zmien kinetickej energie molekúl. Molekula získa náhodnými zrážkami so susednými molekulami takú energiu, že sa dostane z vplyvu silového poľa susedných molekúl a zaujme novú rovnovážnu polohu.
- kvapaliny sa na rozdiel od plynov vyznačujú malými vzájomnými vzdialenosťami medzi molekulami; tieto vzdialenosti sú približne rovnaké ako v pevných látkach, preto molekuly kvapaliny pôsobia na seba navzájom veľkými príťažlivými silami. Tieto sily majú vplyv na vlastnosti kvapaliny, najmä na vlastnosti jej povrchovej vrstvy.

11.1 povrchová vrstva kvapaliny

- voľný povrch kvapaliny sa správa podobne ako **tenká pružná blana**
 - o keď na voľný povrch vody položíme tenkú ihlu, žiletku alebo hliníkovú mincu, pozorujeme, že sa povrch kvapaliny prehne, akoby bol povrch vody pružný. Ihla, žiletka, minca sa nepotopia, hoci hustota látok, z ktorých sú vyrobené, je väčšia ako hustota vody.
- molekuly kvapaliny na seba navzájom pôsobia príťažlivými silami, ktorých veľkosť sa rýchlo znižuje s ich zväčšujúcou sa vzdialenosťou. Okolo každej molekuly možno myšlienkovito opísať guľu s takým polomerom r_m , že sily, ktorými na túto vybranú molekulu pôsobia molekuly ležiace mimo tejto guľe, sú zanedbateľné. Túto myšlenú guľu nazývame **sféra molekulového pôsobenia**. Jej polomer je rádovo 1 nm, čo je niekoľko medziatómových vzdialeností.
- keď je molekula a jej sféra molekulového pôsobenia vnútri kvapaliny, potom výslednica príťažlivých síl, ktorými molekuly v tejto sfére pôsobia na uvažovanú molekulu, je nulová
- v inej situácii sú však molekuly, ktorých vzdialenosť od voľného povrchu kvapaliny je menšia ako r_m . Výslednica \vec{F} príťažlivých síl, ktorými pôsobia molekuly v sfére molekulového pôsobenia vybranej molekuly, je kolmá na voľný povrch kvapaliny a má smer dovnútra kvapaliny. Molekuly plynu v hornej časti sféry pôsobia na uvažované molekuly príťažlivou silou \vec{F}' ; opačného smeru, ako je sila \vec{F} . Keďže hustota molekúl plynu je v porovnaní s hustotou molekúl kvapaliny vo väčšine prípadov veľmi malá, je veľkosť F' zanedbateľná v porovnaní s veľkosťou F .
- vrstva molekúl, ktorých vzdialenosť od voľného povrchu kvapaliny je menšia ako polomer sféry molekulového pôsobenia, nazýva sa **povrchová vrstva kvapaliny**. Na každú molekulu, ktorá leží v povrchovej vrstve kvapaliny, pôsobia susedné molekuly výslednou príťažlivou silou, ktorá má smer dovnútra kvapaliny
- pri posunutí molekuly zvnútra kvapaliny do jej povrchovej vrstvy treba vykonať prácu, preto molekula v povrchovej vrstve má väčšiu potenciálnu energiu vzhľadom na susedné molekuly, ako by mala, keby bola vnútri kvapaliny. Povrchová vrstva má energiu, ktorá sa nazýva **povrchová energia E** ; je jednou zo zložiek vnútornej energie kvapaliny.
 - o keď sa zmení povrch kvapaliny daného objemu o hodnotu ΔS , zmení sa povrchová energia o hodnotu
 - $\Delta E = \sigma \cdot \Delta S$, kde σ je **povrchové napätie** (závisí od druhu kvapaliny a prostredia nad voľným povrchom kvapaliny), jednotkou povrchového napätia je $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$



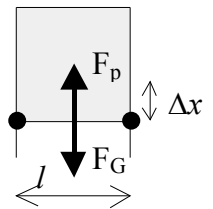
- kvapalina daného objemu má snahu nadobúdať taký tvar, aby jej povrch bol čo najmenší, a tým bola minimálna povrchová energia. Pri danom objeme má zo všetkých geometrických útvarov najmenší obsah povrch gule, preto voľné kvapky (napr. hmly, rosy) majú guľovitý tvar.

11.1.1 povrchová sila a povrchové napätie

- kvapalina má snahu nadobúdať taký tvar, aby mala čo najmenší povrch. Sila pôsobiaca v povrchu kvapaliny sa volá **povrchová sila**.
- keď na drôtenom rámečku, ktorého jedna strana je pohyblivá, utvoríme kvapalinovú blanu (blana má dva povrchy) z mydlového roztoku alebo kvapalinového saponátu, tak pozorujeme, že blana sa sťahuje a ťahá so sebou aj pohyblivú časť rámečka. Na rámeček pôsobí povrchová sila, ktorej veľkosť môžeme určiť experimentálne tým, že rámeček s blanou zaťažíme malým závažím tak, aby sústava bola v pokoji, potom platí:

$$F = \frac{G}{2}$$

- keď izotermicky zväčšíme pôsobením vonkajšej sily povrch blany, prechádza časť molekúl zvnútra kvapaliny na oba jej povrchy a povrchová energia blany sa zväčšuje. Práca W vykonaná pôsobením vonkajších síl sa rovná prírastku povrchovej energie ΔE blany. Pri znižovaní povrchu blany prechádza časť molekúl z oboch povrchových vrstiev dovnútra kvapaliny, povrchová energia sa znižuje a blana koná kladnú prácu.
- posunutím priečky s dĺžkou l o vzdialenosť Δx sa zväčší obsah oboch povrchov blany o $2\Delta S = 2l\Delta x$. Z rovnosti $\Delta E = W$ vyplýva veľkosť **povrchovej sily**:

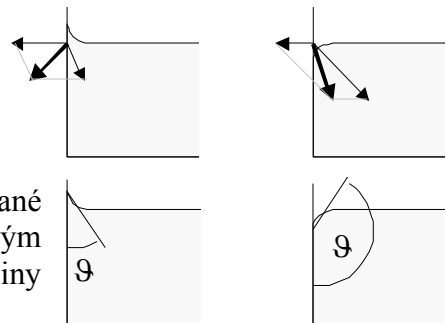


$$\Delta E = W \Rightarrow 2\sigma \cdot \Delta S = 2F \cdot \Delta x \Rightarrow 2\sigma l \cdot \Delta x = 2F \cdot \Delta x \Rightarrow F = \sigma l$$

- veľkosť povrchovej sily pri danom povrchovom napätí je priamo úmerná dĺžke okraja povrchovej blany
- pre **povrchové napätie** platí:
 - $\sigma = \frac{F}{l}$
 - povrchové napätie sa rovná podielu veľkosti povrchovej sily a dĺžky okraja povrchovej blany, na ktorý sila pôsobí kolmo v povrchu kvapaliny
- keď je povrch kvapaliny zakrivený, potom povrchová sila má smer dotýčnice k povrchu kvapaliny v danom bode

11.1.2 javy na rozhraní pevného telesa a kvapaliny

- kvapalina v nádobe vytvára dva typy povrchov:
 - o **dutý** (voda alebo lieh v sklenej nádobe – hovoríme, že v týchto prípadoch kvapaliny **zmáča** steny nádoby)
 - o **vypuklý** (ortuť v sklenej nádobe – hovoríme, že kvapalina steny nádoby **nezmáča**)
- zakrivenie voľného povrchu kvapaliny spôsobuje skutočnosť, že molekuly kvapaliny, ktoré sú na jej voľnom povrchu a súčasne v blízkosti steny nádoby, vzájomne pôsobia nielen medzi sebou, ale aj s časticami pevného telesa a plynu nad voľným povrchom kvapaliny
- veľkosť sily, ktorou pôsobia molekuly plynu na vybrané molekuly, je veľmi malá. Výsledná sila je daná vektorovým súčtom príťažlivej sily medzi molekulami kvapaliny a príťažlivej sily medzi molekulami kvapaliny a nádoby
- kvapalina je v rovnovážnom stave, ak výsledná príťažlivá sila má smer kolmý na voľný povrch kvapaliny, inak by nastal šmyk vrstiev kvapaliny, preto sa pri stenách nádoby tvorí zakrivený povrch. Keď výslednica síl smeruje von z kvapaliny, potom je voľný povrch kvapaliny pri stene nádoby dutý; keď výslednica smeruje dovnútra kvapaliny, je voľný povrch vypuklý.



- uhol ϑ , ktorý zvierá povrch kvapaliny s povrchom steny, nazýva sa **stykový uhol**. (pri dutom povrchu je od 0° do 90° ; pri vypuklom povrchu je od 90° do 180°); ak stykový uhol sa rovná nule, kvapalina dokonale zmáča steny nádoby; ak uhol je 180° , kvapaliny dokonale nezmáča steny nádoby

11.1.3 kapilarita

- zakrivenie voľného povrchu kvapaliny v úzkych rúrkach (kapilárach) spôsobuje, že výslednicou povrchových síl je nenulová sila, ktorá pôsobí kolmo na voľný povrch kvapaliny; táto sila vyvoláva **kapilárny tlak p_k**
- pre voľný povrch kvapaliny guľového tvaru je kapilárny tlak daný vzťahom:

$$\circ p_k = \frac{2\sigma}{R}, \text{ kde } R \text{ je polomer guľového povrchu}$$

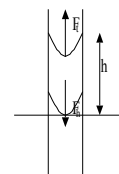
- keď kapiláru ponoríme do nádoby s kvapalinou, ktorá zmáča steny nádoby, tak v kapiláre vystúpi kvapalina do istej výšky h nad voľnou hladinou kvapaliny v nádobe; toto zvýšenie voľnej hladiny v kapiláre sa volá **kapilárna elevácia**
- keď kapiláru ponoríme do kvapaliny, ktorá nezmáča steny nádoby (napr. ortuť), tak voľná hladina kvapaliny v kapiláre bude nižšie, ako je voľná hladina kvapaliny v nádobe; toto zníženie hladiny kvapaliny v kapiláre sa volá **kapilárna depresia**
- **kapilárna elevácia:**

- o po ponorení kapiláry do kvapaliny sa v kapiláre s polomerom R utvorí dutý povrch, ktorý má tvar polgule s polomerom R . Zakrivený dutý povrch kvapaliny v kapiláre pôsobí na kvapalinu silou \vec{F}_t v smere von z kvapaliny, teda proti hydrostatickej sile \vec{F}_h . To má za následok, že v kapiláre vystúpi kvapalina do výšky h , pri ktorej je hydrostatický tlak zodpovedajúci stĺpcu h rovnaký ako kapilárny tlak zodpovedajúci zakrivenému povrchu. Ak kvapalina má hustotu ρ , tak pre výšku h pri kapilárnej elevácii platí:

$$\blacksquare h\rho g = \frac{2\sigma}{R} \Rightarrow h = \frac{2\sigma}{\rho g R}$$

- výška, do ktorej vystúpi kvapalina je nepriamo úmerná polomeru kapiláry

- kapilárne javy majú veľký význam v praxi. Napríklad voda vystupuje z hĺbky do povrchových vrstiev pôdy a vyparuje sa – tento jav sa volá **vzlínavosť**

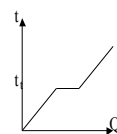


11.2 zmeny skupenstva látok

- pevná látka, kvapalina a plyn sú sústavy, ktoré sa skladajú z veľmi veľkého počtu častíc. Keď má sústava v rovnovážnom stave vo všetkých častiach rovnaké fyzikálne a chemické vlastnosti, nazýva sa **fáza**. Fázy sú napr. jednotlivé skupenstva látky (napr. ľad, voda, vodná para), rôzne kryštálové štruktúry tej istej pevnej látky (napr. diamant a grafit); skúmaná sústava môže obsahovať viac fáz (napr. ľad + vodná para + voda).
- prechod z jednej fázy do druhej sa volá **fázová premena**; jednu časť fázových premien tvoria zmeny skupenstiev

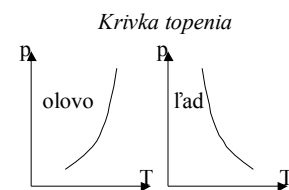
11.2.1 topenie a tuhnutie

- keď zohrievame teleso z kryštalickej látky, zvyšuje sa jeho teplota a po dosiahnutí **teploty topenia t_t** sa premieňa na kvapalinu s tou istou teplotou – topí sa
- keď sa teleso s hmotnosťou m a s teplotou topenia premení na kvapalinu s tou istou teplotou, prijme **skupenské teplo topenia L_t** . Pre telesá z rozličných látok tej istej hmotnosti je táto veličina rôzna, a preto sa zavádza **merné skupenské teplo topenia l_t** :



$$\circ l_t = \frac{L_t}{m}, [l_t] = J.kg^{-1}$$

- keď kvapalinu, ktorá vznikla topením kryštalickej látky, ochladzujeme, mení sa pri **teplote tuhnutia** (rovnajúcej sa teplote topenia) na pevné teleso – tuhne; pritom odovzdá okoliu **skupenské teplo tuhnutia** rovnajúce sa L_t
- pevné amorfné látky pri zohrievaní postupne mäknú, až sa premenia na kvapalinu, preto nemajú stálu teplotu topenia
- **topenie a tuhnutie z hľadiska molekulovej fyziky:**
 - o keď kryštalická látka prijíma teplo, zväčšuje sa stredná kinetická energia kmitavého pohybu častíc. Častice zväčšujú svoje rozkmity, čím sa zväčšuje aj stredná vzdialenosť medzi nimi. V dôsledku toho sa zväčšuje aj stredná potenciálna energia častíc. Keď látka dosiahne teplotu topenia, nadobúdajú rozkmity také hodnoty, že sa narušuje väzba medzi časticami mriežky; mriežka sa začne rozpadávať, látka sa topí. Hoci kryštalická látka pri topení prijíma teplo, nemení sa stredná kinetická energia častíc, a tým ani teplota látky; zväčšuje sa však stredná potenciálna energia častíc. Keď sa však látka roztopí a prijíma ďalšie teplo, opäť sa zväčšuje stredná kinetická energia častíc, a preto sa teplota kvapaliny zvyšuje.
 - o keď kvapalina, ktorá vznikla topením kryštalickej látky, odovzdá teplo chladnejším telesám, ktoré ju obklopujú, zmenší sa stredná kinetická energia častíc, a tým aj teplota látky. Ak dosiahne teplotu tuhnutia, začnú sa v kvapaline vplyvom väzbových síl tvoriť **kryštalizačné jadrá**, tzv. zárodoky. K týmto zárodkom sa pripájajú a pravidelne usporadúvajú ďalšie častice látky. Tak vzniká v tavenine pri **kryštalizácii** sústava voľne sa pohybujúcich kryštálikov nepravidelného tvaru. V okamihu, keď všetka látka stuhne, kryštáliky sa navzájom dotýkajú a tvoria zrná – polykryštalická látka. Keď sa v tavenine utvorí iba jeden zárodok, na ktorý sa postupne pripájajú častice látky, vznikne monokryštal.
- pri väčšine látok sa so zväčšujúcim tlakom zvyšuje teplota topenia (napr. olovo) – tieto látky svoj objem pri topení zväčšujú a pri tuhnutí znižujú
- druhú skupinu tvoria látky, ktoré so zvyšujúcim tlakom majú nižšiu teplotu topenia (napr. ľad, antimón, bizmut) – tieto látky svoj objem pri topení znižujú a pri tuhnutí zväčšujú



11.2.2 sublimácia

- premena látky z pevného skupenstva priamo na plynné skupenstvo sa volá **sublimácia**; opačný dej je **desublimácia**, (pri normálnom tlaku sublimuje jód, gáfor, tuhý oxid uhličitý, ľad alebo sneh)
- **merné skupenské teplo sublimácie** l_s závisí od teploty, pri ktorej látka sublimuje:

$$\circ l_s = \frac{L_s}{m}$$

- keď je sublimujúca látka s dostatočnou hmotnosťou v uzavretej nádobe, sublimuje tak dlho, až sa medzi pevnou fázou a parou utvorí rovnovážny stav. Vzniknutá para sa nazýva **nasýtená para**. Keď je teplota konštantná, pomer hmotnosti plynného a pevného skupenstva zostáva konštantný a tlak nasýtenej pary vzniknutý sublimáciou na nemení.
- závislosť tlaku nasýtenej pary od teploty vyjadruje **sublimačná krivka**. Každý bod krivky znázorňuje rovnovážny stav medzi pevnou látkou a nasýtenou parou.



11.2.3 vyparovanie, var, kvapalnenie

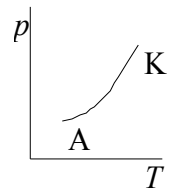
- je to premena kvapaliny na paru; vyparovanie z voľného povrchu prebieha pri každej teplote
- **merné skupenské teplo vyparovania** závisí od teploty (so zvyšujúcou teplotou merné skupenské teplo vyparovania klesá):

$$\circ l_v = \frac{L_v}{m}$$

- keď kvapalinu zohrievame, pri dosiahnutí istej teploty pri danom okolitom tlaku sa vnútri kvapaliny tvoria bubliny pary, ktoré zväčšujú svoj objem a vystupujú na voľný povrch kvapaliny – nastáva **var**. Pri vare sa kvapalina vyparuje nielen na voľnom povrchu, ale aj vnútri.
- teplota t_v , pri ktorej za daného vonkajšieho tlaku nastáva var kvapaliny, nazýva sa **teplota varu**. Teplota varu závisí od vonkajšieho tlaku (so zvyšovaním tlaku sa zvyšuje). **Merné skupenské teplo varu** sa rovná mernému skupenskému teplu vyparovania pri teplote varu kvapaliny.
- **vyparovanie z hľadiska molekulovej fyziky**:
 - o molekuly kvapaliny konajú tepelný pohyb. Keď niektoré molekuly majú na voľnom povrchu takú energiu, že sú schopné prekonať sily, ktoré ich pútajú k ostatným molekulám, potom tieto molekuly uniknú do priestoru nad kvapalinou a utvoria paru. Keďže pri vyparovaní kvapalinu opúšťajú najrýchlejšie molekuly, znižuje sa stredná kinetická energia molekúl kvapaliny, čo má za následok zníženie teploty vyparujúcej sa kvapaliny. Teplota vznikutej pary sa však rovná teplote kvapaliny, lebo molekuly pri opustení kvapaliny vplyvom príťažlivých síl strácajú svoju prebytočnú kinetickú energiu; majú však väčšiu potenciálnu energiu.
- opačný dej k vyparovaniu je **kvapalnenie (kondenzácia)**. Pri tomto deji látka odovzdá svojmu okoliu **skupenské kondenzačné teplo**. **Merné skupenské kondenzačné teplo** sa rovná mernému skupenskému teplu vyparovania rovnakej látky pri rozdielnej teplote.

11.2.4 krivka nasýtenej pary

- pri vyparovaní kvapaliny v uzavretej nádobe je na začiatku tohto deja počet molekúl, ktoré opúšťajú povrch kvapaliny väčší, ako počet molekúl, ktoré sa za rovnaký čas vracajú späť do kvapaliny, preto sa objem kvapaliny znižuje a súčasne sa zväčšuje hustota a tlak pary nad kvapalinou. Po istom čase vznikne stav, keď počet molekúl, ktoré sa do kvapaliny za istý čas vracajú, rovná počtu molekúl, ktoré povrch kvapaliny za rovnaký čas opúšťajú. Objemy kvapaliny a pary sa nemenia, zostáva konštantný tlak pary a teplota sústavy kvapalina + para. Sústava je v rovnovážnom stave, ktorý sa niekedy volá **dynamická rovnováha**. Para, ktorá je v rovnovážnom stave so svojou kvapalinou, nazýva sa **nasýtená para**. Tlak nasýtenej pary nezávisí pri stálej teplote od objemu pary; no so zvyšovaním teploty stúpa tlak.
- pri zvyšovaní teploty rovnovážnej sústavy kvapalina + nasýtená para stúpa hustota nasýtenej pary a hustota kvapaliny klesá, a to až do **kritickej teploty**, keď hustota kvapaliny sa rovná hustote pary, a tak zmizne rozhranie medzi parou a kvapalinou – látka sa stane rovnírodou



11.2.5 fázový diagram

- krivku topenia k_t , sublimačnú krivku k_s a krivku nasýtenej pary k_p môžeme zobrazit' do jednej súradnicovej sústavy, a tak dostaneme **fázový diagram**, všetky tri krivky sa stýkajú v jednom bode – **trojný bod**, ktorý predstavuje rovnovážny stav pevnej, kvapalnej a plynnej fázy tej istej látky (napr. sústava ľad + voda + vodná para je v rovnováhe pri teplote 273,16 K a tlaku 610 Pa)
- krivky topenia, sublimácie a nasýtenej pary rozdeľujú fázový diagram na tri oblasti. Keď je bod určujúci stav látky v oblasti I, látka je v pevnom skupenstve; body v oblasti II znázorňujú rozličné stavy kvapaliny. Body oblasti III zodpovedajú plynnému skupenstvu látky, ktoré má nižší tlak a hustotu ako nasýtená para s rovnakou teplotou – toto plynné skupenstvo sa volá **prehriata para** (môžeme ju získať zväčšením objemu alebo zahriatím nasýtenej pary bez prítomnosti kvapaliny). Plynné skupenstvo s teplotou väčšou ako kritická teplota sa nazýva **plyn**.

