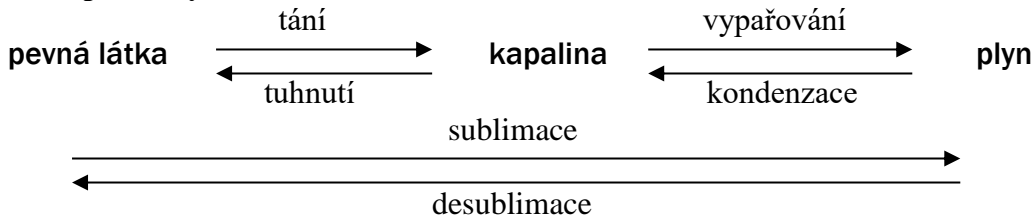


13. Skupenské změny látek

Skupenství je konkrétní forma látky, charakterizovaná především uspořádáním částic v látce a projevující se typickými fyzikálními a chemickými vlastnostmi.

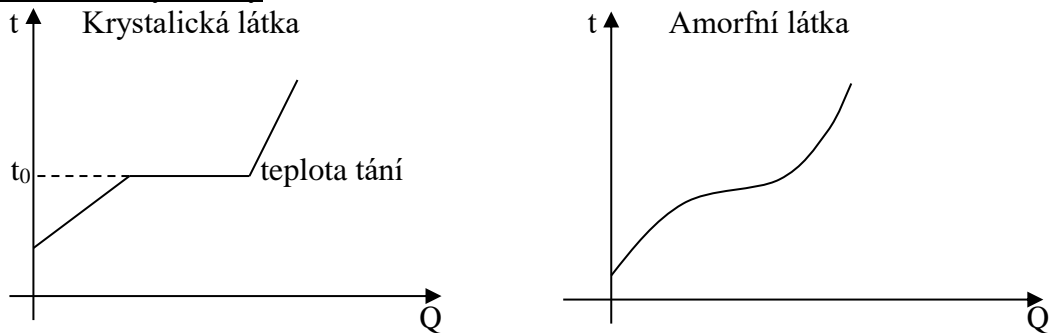
Pro označení skupenství se také používá pojem **fáze**, který je však obecnější než skupenství, neboť látka může za různých teplot a tlaků existovat v jednom skupenství, ale v různých fázích, lišících se např. krystalovou stavbou.

Skupenské přeměny:



Tání a tuhnutí

a) z hlediska termodynamiky



Pozn.: Tání má jiný průběh pro krystalické látky a amorfní látky. Krystalické látky tají při konkrétní hodnotě teploty tání, zatímco amorfní látky přechází do kapalného skupenství spojitě v určitém intervalu teplot. Nemají tedy přesně daný bod tání, ale při zvyšování teploty postupně měknou. U amorfních látek tedy nelze určit přesnou hranici mezi tím, kdy je látka ve skupenství pevném, a kdy je ve skupenství kapalném.

Skupenské teplo tání je teplo, které musíme dodat pevnému tělesu dané hmotnosti m zahřátému na teplotu tání, aby se změnilo na kapalné těleso téže hmotnosti i teploty:

$$L_t = l_t \cdot m, \text{ kde } l_t \text{ je měrné skupenské teplo tání}$$

b) z hlediska změn vnitřní struktury

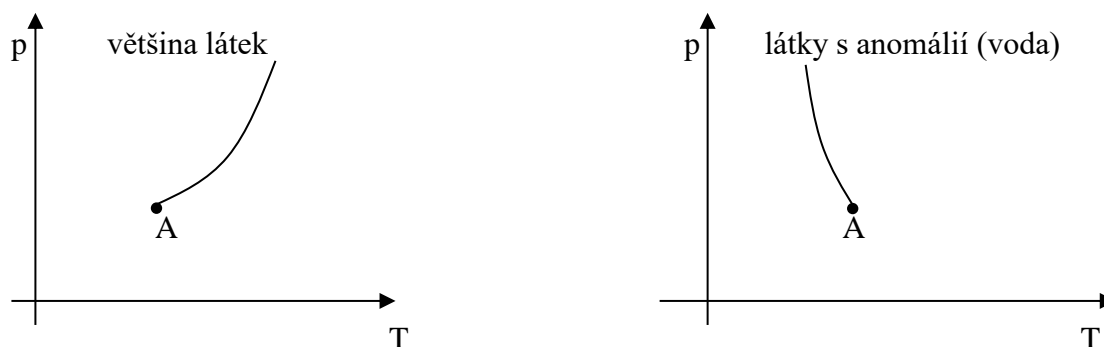
Tání: Pevnému tělesu dodáno teplo \rightarrow růst intenzity kmitání částic \rightarrow postupné uvolňování částic z krystalické struktury \rightarrow kapalina.

Tuhnutí: Vznik krystalizačních jader \rightarrow pravidelné seskupování částic kolem nich \rightarrow dokončení tuhnutí – krystalky se vzájemně dotýkají (zrna) *polykrystalická látka*.

Pozn.1: Pokud se v tavenině vytvoří jen jeden zárodek, vznikne *monokrystal*.

Pozn.2: Při tuhnutí čisté látky se často krystalizační jádra začnou tvořit až za teploty nižší než je teplota tuhnutí (*přechlazená* či *podchlazená kapalina*) – např. thiosíran sodný ($t_0 = 48^\circ\text{C}$) může být tekutý i při 20°C . Pak po vhození několika krystalků této látky – rychlý přechod v pevnou fázi.

Souvislost teploty tání a tlaku - křivka tání:



Změna objemu těles při tání a tuhnutí

- Většina látek při tání zvětšuje svůj objem a při tuhnutí ho zmenšuje. Existují ale látky (led, antimon, bismut, některé slitiny, ...), které při tání svůj objem zmenšují a při tuhnutí zvětšují.

Pozn. 3: U ledu je relativní zvětšení objemu největší - asi 9 %, což souvisí s jeho krystalovou strukturou. Při tání se krystalová mřížka bortí a volný prostor postupně zaplňují molekuly vody. Odtud je tedy zřejmé, že neuspořádanému rozložení molekul vody odpovídá menší objem než uspořádanému rozložení v krystalové mřížce ledu.

Závislost teploty tání na tlaku

- Teplota tání krystalické látky závisí také na vnějším tlaku. U látek, u nichž je tání doprovázeno zvětšením objemu, roste při zvýšení tlaku také teplota tání. Je-li tání doprovázeno zmenšením objemu, pak se při zvýšení vnějšího tlaku sníží teplota tání látky (např. voda).

Pozn. 4: *Regelací ledu (znovuzamrznáním ledu)* Pomocí tohoto jevu bývá často vysvětlována kluzkost ledu (při bruslení, ...): v důsledku zvýšeného tlaku klesá teplota tání a led částečně odtává (důležité je i tření brusle a ledu).

Pozn. 5: Zvětšení objemu při tuhnutí vody má značný význam v přírodě. Led má menší hustotu než voda a proto plave na vodě a svou malou tepelnou vodivostí zabraňuje zamrznání vody do větších hloubek. Led vzniklý při zamrznutí způsobuje také rozrušování skal, praskání zdiva, ...

Vypařování a kondenzace

Vypařování probíhá na povrchu kapaliny při každé teplotě, při které může látka existovat v kapalném skupenství. Kapalina přitom přijímá teplo.

- Různé kapaliny se vypařují různě rychle (nejrychleji např. éter, pak líh, voda, rtuť, ...).
- Rychlost vypařování se zvýší, zvýší-li se teplota kapaliny, zvětší-li se obsah volného povrchu a odstraňují-li se vzniklé páry nad kapalinou (odsáváním, foukáním, větrem, ...).

Pozn. 6: *Pohledem molekulové fyziky*

Molekuly kapaliny konají tepelný pohyb. Mají-li některé molekuly na volném povrchu kapaliny takovou energii, že jsou schopny překonat síly poutající je k ostatním molekulám, pak mohou uniknout do prostoru nad kapalinou a vytvoří páru. Je-li volný povrch kapaliny ve styku se vzduchem, difunduje vzniklá pára do okolí. Některé molekuly páry se v důsledku tepelného pohybu vracejí zpět do kapaliny. Počet těchto vracejících se molekul je při vypařování kapaliny v otevřené nádobě vždy menší než počet molekul, které v čase unikají z kapaliny. Tím tedy ubývá kapaliny a zvětšuje se hmotnost páry.

Vzhledem k tomu, že kapalinu při vypařování opouštějí ty nejrychlejší molekuly, snižuje se střední kinetická energie molekul kapaliny a tím i teplota. Teplota vzniklé páry je však rovna teplotě kapaliny, protože molekuly při opuštění kapaliny ztrácejí část své kinetické energie na úkor překonání přitažlivých sil. Mají ale větší energii potenciální. Z toho důvodu je vnitřní energie páry dané hmotností větší než vnitřní energie kapaliny téže hmotnosti a teploty.

Var je stav, kdy probíhá vypařování v celém objemu kapaliny. Veškeré teplo dodávané kapalině při varu se spotřebuje na přeměnu skupenství, teplota se nemění.

Teplota varu = teplota kapaliny, při které tlak její syté páry je roven vnějšímu tlaku.

- Teplota varu roste s rostoucím vnějším tlakem.
- Použití: Papinův hrnec, nižší teplota varu na horách

Sytá a přehřátá pára

Sytá pára – je v rovnovážném stavu se svojí kapalinou. Její tlak závisí pouze na chemickém složení a na teplotě, nezávisí na objemu páry. Vzniká v uzavřené nádobě nad kapalinou nebo v tenké vrstvě nad hladinou kapaliny ve volném prostoru.

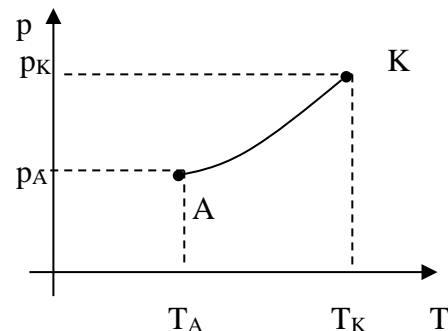
Přehřátá pára – má tlak menší než odpovídá syté páře téže teploty. Tento tlak závisí na objemu páry (zmenšení objemu → zvětšení tlaku). Přehřátá pára se dá získat z páry syté buď zvětšením jejího objemu, nebo zahříváním (odtud název), příp. oběma ději současně bez přítomnosti kapaliny.

Skupenské teplo vypařování (varu) je teplo, které musíme dodat kapalině hmotnosti m , aby se změnila na plyn (páru) téže teploty:

$L_v = l_v \cdot m$, kde l_v je měrné skupenské teplo vypařování (varu).

Souvislost teploty varu a tlaku – **křivka syté páry**:

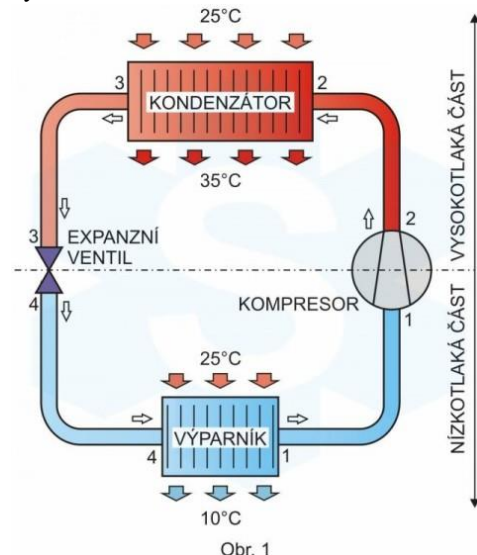
- A – trojný bod
- K – kritický bod



Pozn. 7: Při zvětšování teploty rovnovážné soustavy kapalina + sytá pára roste hustota ρ_s syté páry a klesá hustota ρ_k kapaliny. Při kritické teplotě T_K je $\rho_s = \rho_k$, a proto mizí rozhraní mezi kapalinou a její sytou párou. Při teplotě $T > T_K$ již látka neexistuje v kapalné fázi. Proto křivka syté páry končí v bodě K.

Pozn. 8: *Princip kompresorové ledničky*

Základem je okruh s chladivem (kapalina s teplotou varu, která se mění s tlakem v rozsahu několika desítek stupňů kolem 0°C) a kompresor. Kompresor vtlačuje chladivo v plynném stavu do výměníku (kondenzátoru), který je tvořen dlouhou tlustostěnnou kovovou trubicí (černá mřížka na zadní straně ledničky). Ve výměníku se plyn ochladí a změní na kapalinu (kondenzace). Přebytečné teplo odevzdává kapalinu okolí. Pak se kapalina dostává do výparníku, který má ve svých stěnách trubici s větším průřezem než byl ve výměníku. V tomto prostoru se pro kapalinu prudce sníží tlak, tím i teplota varu, a kapalina se začne vypařovat. Potřebné skupenské teplo odebírá z vnitřku ledničky. Pak je plyn přiváděn zpět ke kompresoru a cyklus se opakuje.



Obr. 1

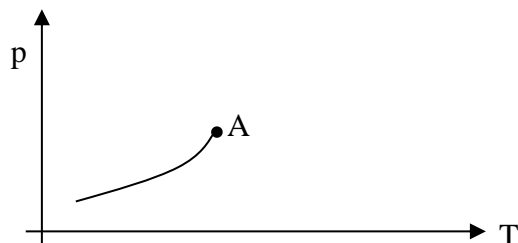
Sublimace a desublimace

Sublimace je proces vypařování pevných těles. Za normálního tlaku sublimují všechny vonící nebo páchnoucí pevné látky – např. jod, naftalen, kafr, ale také pevný oxid uhličitý, led nebo sníh.

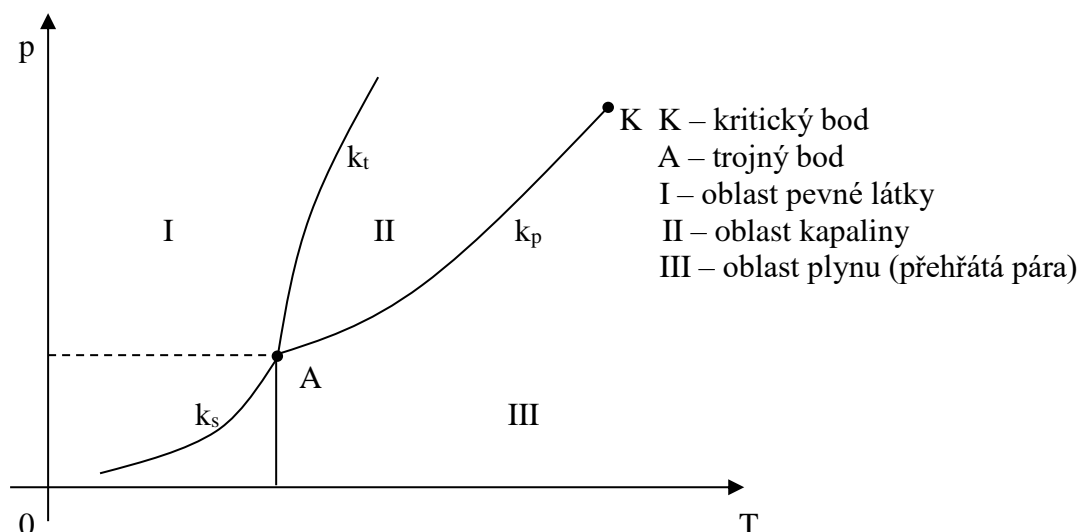
Skupenské teplo sublimační je teplo přijaté tělesem hmotnosti m při jeho sublimaci za dané teploty:

$$L_s = l_s \cdot m, \text{ kde } l_s \text{ je měrné skupenské teplo sublimační.}$$

Souvislost teploty, při níž dochází k sublimaci a tlaku – **sublimační křivka**:



Fázový diagram



Poznámka 9: Pro vodu: $T_A = 273,16 \text{ K (} 0^\circ\text{C)}$ $T_K = 648 \text{ K (} 375^\circ\text{C)}$
 $p_A = 610 \text{ Pa}$ $p_K = 22,1 \text{ MPa}$
 $\rho_K = 315 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Rovnovážné stavy dané látky mezi různými skupenstvími můžeme znázornit do tzv. fázového diagramu.

Fázový diagram se skládá ze tří křivek: k_p – *křivka syté páry* znázorňuje rovnovážné stavy mezi kapalinou a její sytou párou; k_t – *křivka tání* znázorňuje rovnovážný stav mezi pevným a kapalným tělesem téže látky, křivka není ukončena; k_s – *křivka sublimační* znázorňuje rovnovážný stav mezi pevným tělesem a sytou párou z téže látky.

Všechny tři křivky se stýkají v jednom bodě A, který nazýváme *trojný bod*. Znázorňuje rovnovážný stav soustavy pevné těleso + kapalina + sytá pára. Např. voda má základní teplotu 273,16 K, helium nemá trojný bod. Teplota trojného bodu vody je základní teplota termodynamické teplotní stupnice.

Vodní pára v atmosféře

Vlhkost vzduchu: a) **absolutní** $\Phi = \frac{m}{V}$, kde V je objem vzduchu a m je hmotnost

vodních par obsažených v tomto objemu ... $[\Phi] = \text{kg.m}^{-3}$

b) **relativní** $\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_m}$, kde Φ je skutečná absolutní vlhkost vzduchu

při dané teplotě a Φ_m je maximální absolutní vlhkost, tj. taková, při níž jsou za dané teploty páry obsažené ve vzduchu syté ... $[\varphi] = \%$

Běžně používané hodnoty φ :

- suchý vzduch $\varphi = 0 \%$
- vzduch zcela nasycený vodní párou $\varphi = 100 \%$
- život a pracovní schopnosti člověka $\varphi = 50 \% - 70 \%$

Měření vlhkosti vzduchu – vlhkoměry.

Absolutní vlhkost vzduchu při normálním tlaku a dané teplotě

t [°C]	Φ_{\max} [g.m ⁻³]	t [°C]	Φ_{\max} [g.m ⁻³]	t [°C]	Φ_{\max} [g.m ⁻³]
-10	2,14	7	7,748	24	21,776
-9	2,33	8	8,268	25	23,042
-8	2,54	9	8,817	26	24,372
-7	2,76	10	9,397	27	25,766
-6	2,99	11	10,010	28	27,229
-5	3,24	12	10,658	29	28,762
-4	3,51	13	11,342	30	30,368
-3	3,81	14	12,064	31	32,052
-2	4,13	15	12,825	32	33,816
-1	4,47	16	13,647	33	35,661
0	4,847	17	14,475	34	37,591
1	5,192	18	15,366	35	39,610
2	5,558	19	16,302	36	41,722
3	5,947	20	17,291	37	43,929
4	6,359	21	18,330	38	46,234
5	6,795	22	19,422	39	48,643
6	7,259	23	20,570	40	51,156

Teplota rosného bodu je teplota, při které se původně přehřátá vodní pára ve vzduchu stane sytou párou.

- Při dalším snížení teploty pak sytá vodní pára kapalní.
- Z vodní páry vzniká na chladných předmětech rosa, nad povrchem se tvoří mlha, ve výšce mraky. Je-li $t_r < 0$, vzniká jinovatka nebo sníh.