



10 Skupenské zmeny

- **Ciele:**
- Vymenovať a definovať všetky skupenské zmeny a určiť pri ktorých rastie a klesá vnútorná energia.
- Definovať topenie a tuhnutie, uviesť 2 podmienky topenia. Definovať hmotnostné skupenské teplo topenia.
- Definovať vyparovanie, určiť miesto, kde prebieha a pri akej teplote, uviesť od čoho závisí rýchlosť vyparovania látky. Definovať kondenzáciu.
- Definovať var, uviesť podmienky varu. Porovnať vyparovanie a var a uviesť rozdiely medzi nimi.
- Znázorniť fázový diagram – pomenovať v ňom všetky krivky, body a oblasti.
- Charakterizovať kritický a trojný bod. Definovať absolútnu a relatívnu vlhkosť vzduchu. Charakterizovať rosný bod.

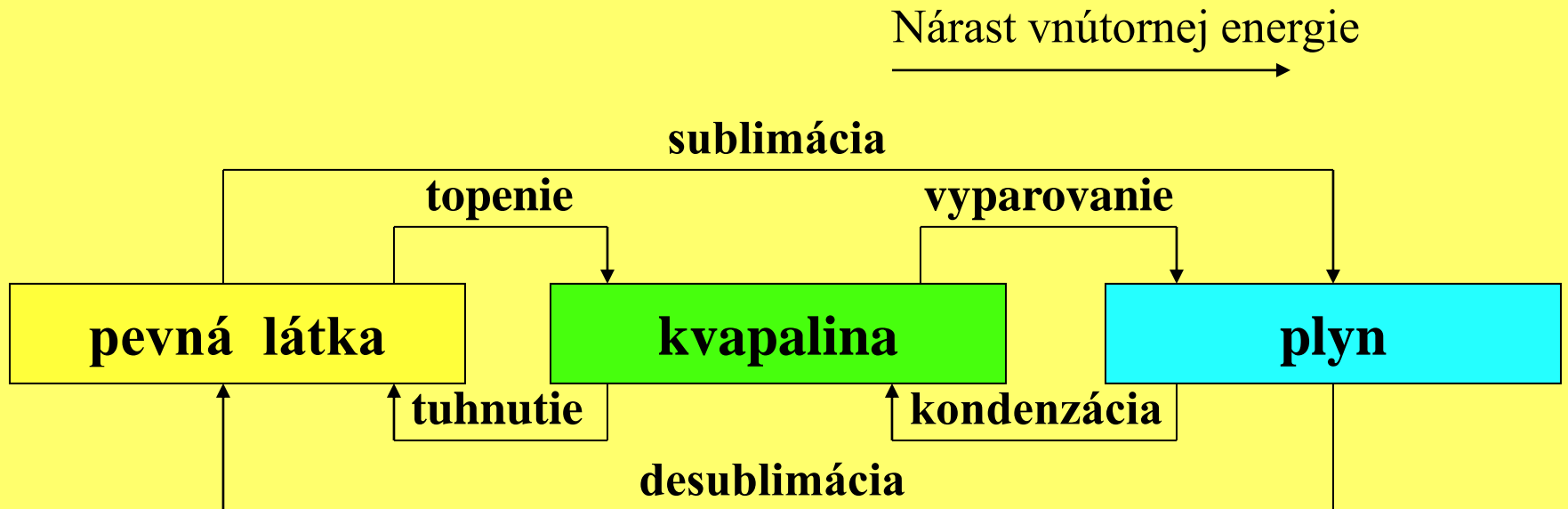
Skupenské zmeny

Na jar sa topí sneh a ľad

- a) Definujte pojmy fáza, skupenstvo a skupenská zmena. Aký je rozdiel medzi fázou a skupenstvom. Vymenujte a stručne definujte všetky skupenské zmeny.
- b) Pomenujte rôzne formy skupenstva pri vode.
- c) Aké podmienky musia nastať aby sa ľad (pevná kryštalická látka) začal topiť?
- d) Ako sa topia amorfné látky? Uveďte príklad takej látky.
- e) Definujte skupenské teplo topenia a hmotnostné skupenské teplo topenia a uveďte vzťah medzi nimi.
- f) Opíšte túto skupenskú premenu z hľadiska časticovej štruktúry látky (molekulovej fyziky). Ako sa pri tomto deji mení celková vnútorná energia (rastie, nemení sa alebo klesá) i jej jednotlivé zložky.
- g) Zamrzne voda vo vodojeme pri teplote okolia $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ za normálnych podmienok? Zdôvodnite.

- **Fáza**
- homogénna časť termodynamickej sústavy ostro oddelená od okolia.
- rôzne skupenstvo (pevné, kvapalné, plynné),
- rôzny typ kryštalickej štruktúry (diamant, grafit)
- **Fázová premena**
- je prechod z jednej fázy do druhej (diamant na grafit)

Skupenské zmeny



Obr. 10.1 Diagram skupenských zmien.

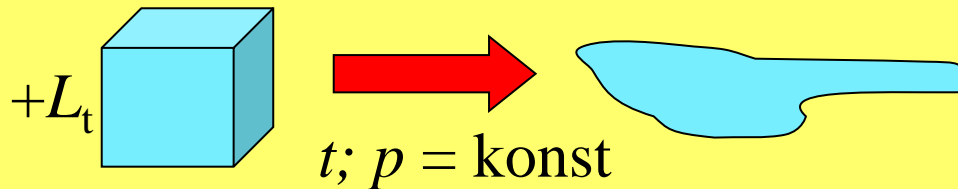
Topenie a tuhnutie

- **Amorfné látky**
- nemajú presnú teplotu topenia – postupné mäknutie
- **Kryštalické látky**
- Dej prebieha pri teplote topenia – t_t (resp. tuhnutia), ktorá je pre danú látku rovnaká a závisí od tlaku
- Podmienky topenia:
 - 1. Dosiahnutie teploty topenia**
 - 2. Stále dodávanie tepla**

- **Skupenské teplo topenia – tuhnutia (L_t – latentné)**
- Teplo, ktoré treba dodať danému množstvu látky ohriatej na teplotu topenia, aby sa roztopila

$$L_t = m \cdot l_t \quad \longrightarrow \quad l_t = \frac{L_t}{m} \quad (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$$

- l_t je **hmotnostné skupenské teplo topenia (tuhnutia)**
- Teplo, ktoré treba dodať 1 kg látky ohriatej na teplotu topenia, aby sa roztopila



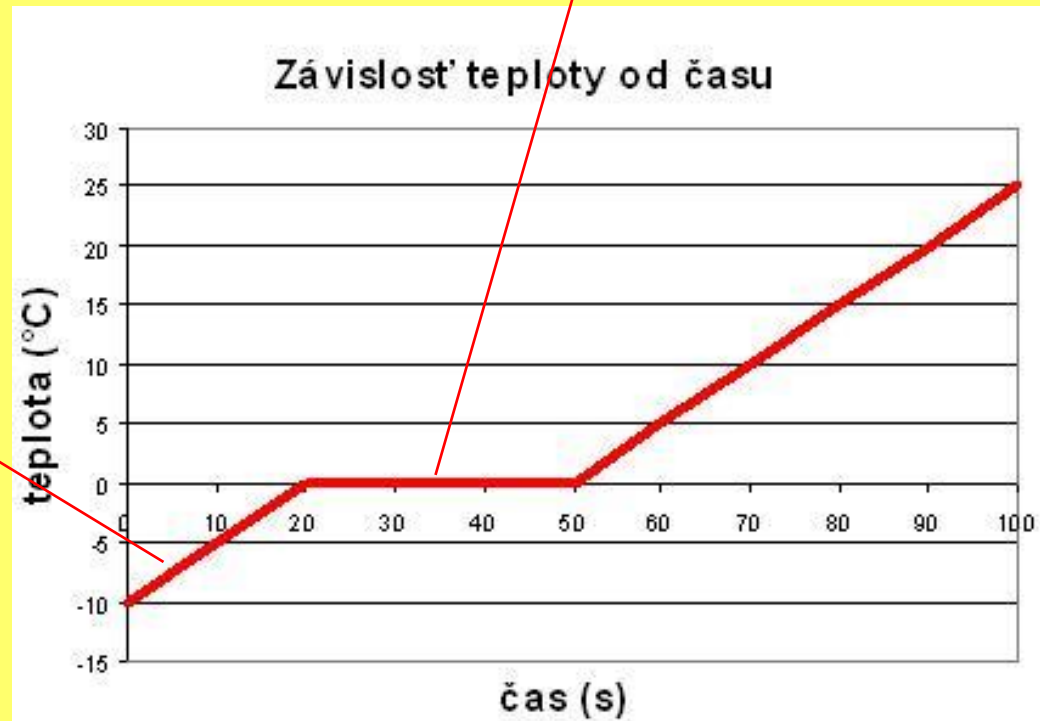
Obr. 10.2 Topenie.

- **Tuhnutie**

- Pri teplote tuhnutia sa tvoria **kryštalizačné jadrá** – kryštalizácia.

- nemení sa kinetická energia častíc ani teplota
- energia sa spotrebuje na porušenie väzieb – zväčšuje sa potenciálna energia častíc
- každá látka topí pri inej teplote a potrebuje rôzne veľké teplo na topenie

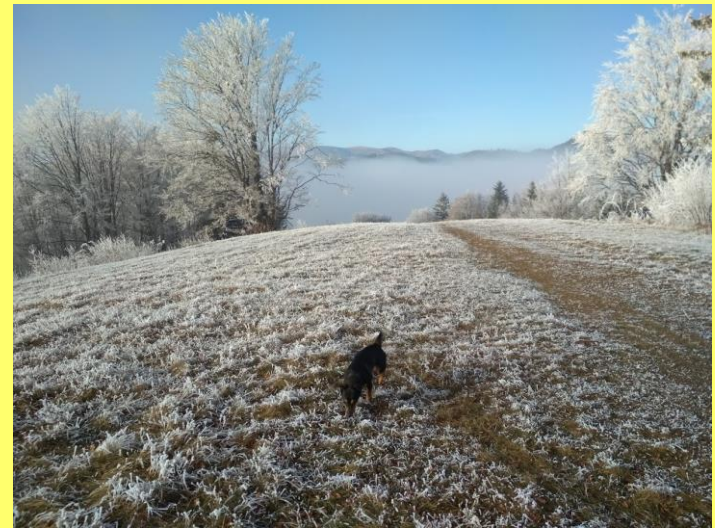
- dodávanie tepla zvýšenie kinetickej energie kmitania častíc aj teploty
- zvyšujú sa rozkmity aj potenciálna energia častíc



Obr. 10.3 Časová závislosť teploty kryštalickej látky v priebehu ohrievania a topenia (tuul.sk, 2021).

Sublimácia. Desublimácia

- málo látok sa vyznačuje pozorovateľnou sublimáciou
- jód, chlorid ortuťnatý, gáfor, vonné látky, ľad, sneh
- Pri silných mrazoch ubúda sneh sublimáciou
- Desublimácia je aj tvorenie inováte z vodnej pary vzduchu, ako aj tvorenie sa snehových kryštálov v chladných horných vrstvách vzduchu.
- Sublimácia prebieha pri každej teplote



Obr. 10.4 Sublimácia a desublimácia v prírode.

Ak necháme vodu v otvorenom pohári, tak časom ubúda...

- a) Aká skupenská premena prebieha s vodou v otvorenom pohári? Charakterizujte túto premenu z hľadiska molekulovej fyziky (správania sa častíc v látke). Ako sa nazýva opačný proces a stručne ho charakterizujte.
- b) Pri akej teplote prebieha táto skupenská zmena a ako sa pri nej mení teplota kvapaliny? Prečo? Uved'te 3 spôsoby, ktorými môžeme zvýšiť rýchlosť tejto skupenskej zmeny danej látky.
- c) Prečo vodu v kaluži rozotrieme, aby rýchlejšie uschla? Prečo voda z otvorenej fľaše časom ubúda a zatvorenej fľaše nie?
- d) Vysvetlite vznik hmly a rosy. Kde v prírode vzniká hmla a kde rosa? O akú skupenskú zmenu ide?

Vyparovanie. Kondenzácia. Var

Vyparovanie

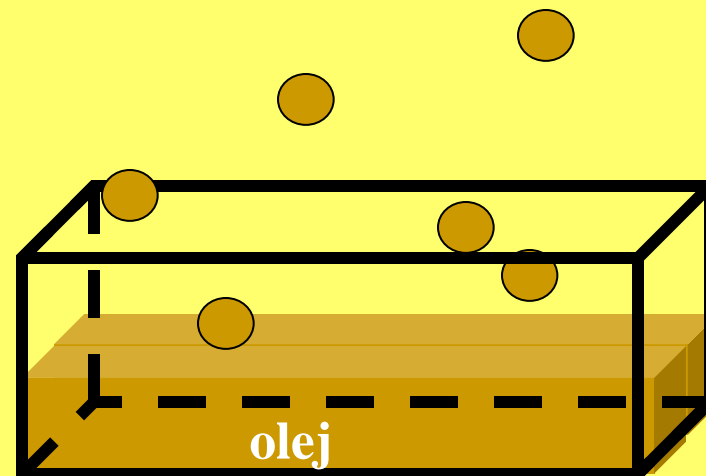
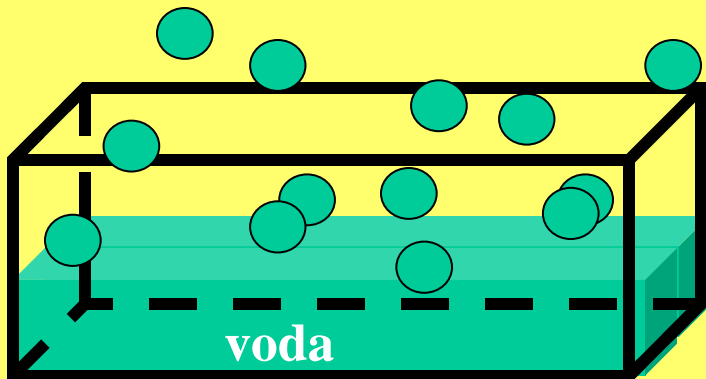
- **je povrchový jav prebiehajúci pri každej teplote**
- molekuly musia mať dostatočnú energiu na prekonanie molekulárnych síl vyvolávajúcim povrchové napätie
- Kvapalina opúšťajú pri vyparovaní najrýchlejšie molekuly
- Priemerná rýchlosť molekúl aj jej teplota klesá

Kondenzácia

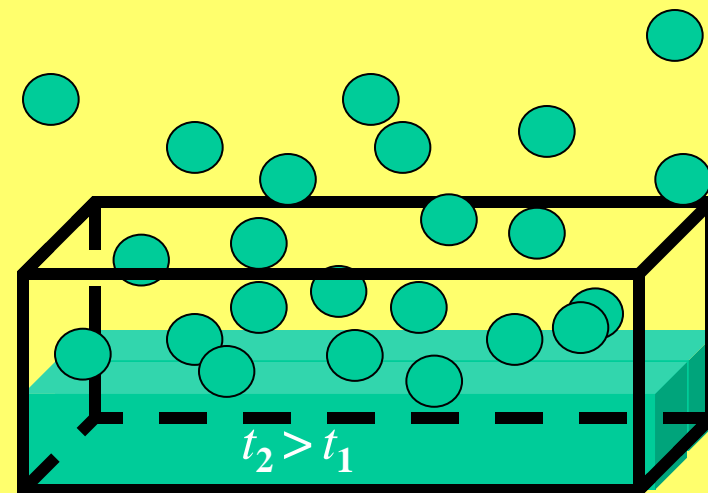
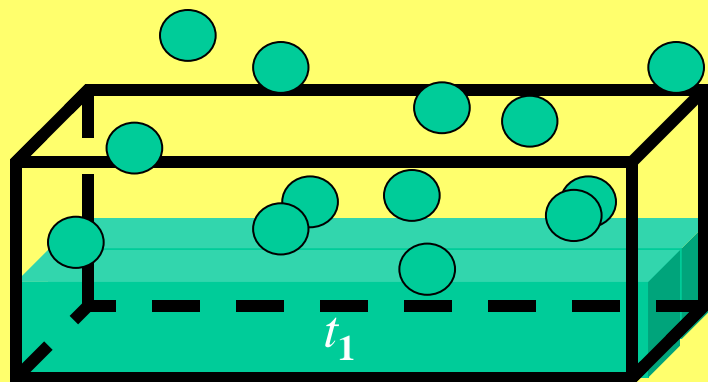
- **kondenzačné jadrá**
- elektricky nabitá prachová telieska a iné častice vyvolávajú a urýchľujú kondenzáciu
- V otvorenej nádobe prevláda rýchlosť vyparovania nad rýchlosťou kondenzácie

- rýchlosť vyparovania kvapaliny závisí od:

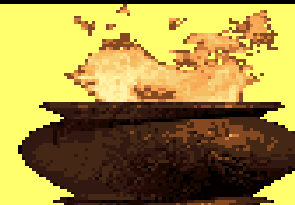
a) druhu kvapaliny



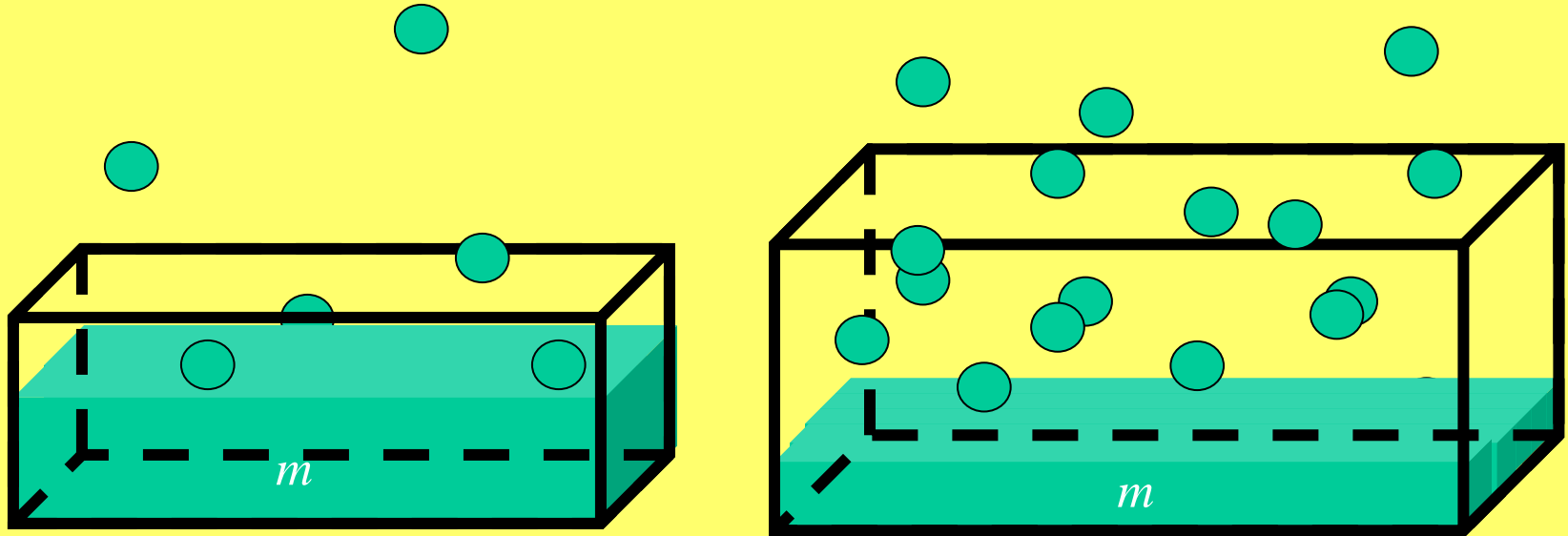
b) teploty kvapaliny



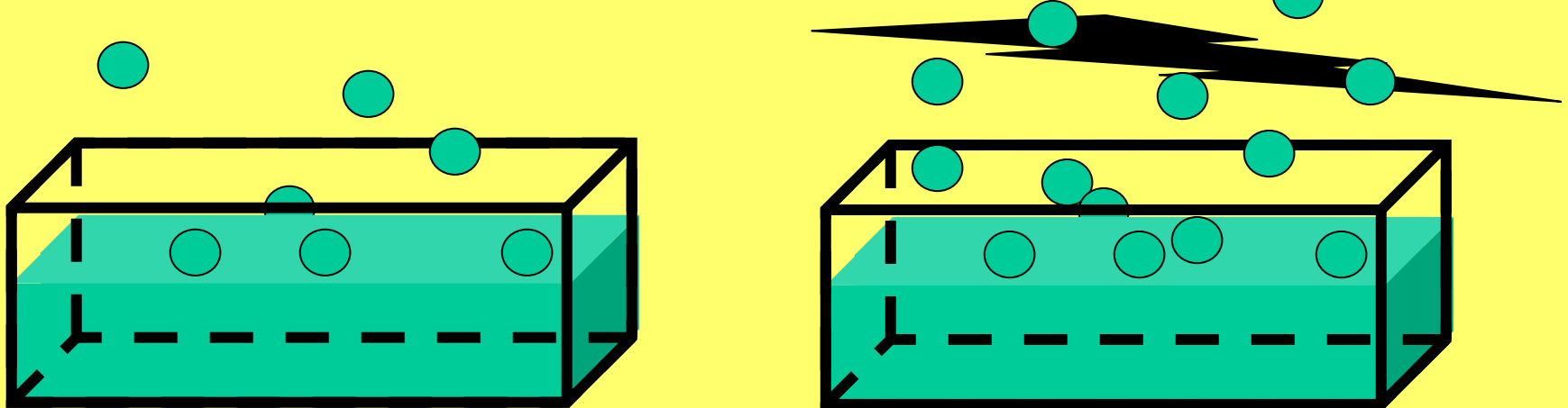
Obr. 10.5 Závislosť rýchlosti vyparovania od podmienok.



c) ploche voľného povrchu kvapaliny



d) odnášania pár prúdiacim vzduchom - vietor



Obr. 10.5 Závislosť rýchlosti vyparovania od podmienok.



Obr. 10.6 Ochladzovanie vyparovaním.



Obr. 10.7 Rosa vzniká kondenzáciou vodnej pary.



Obr. 10.8 Hmla vzniká v prírodných vrstvách atmosféry.



Pri varení sa v domácnosti používajú tlakové hrnce.

a) Aké sú podmienky varu?

b) Opíšte var z hľadiska molekulovej fyziky.

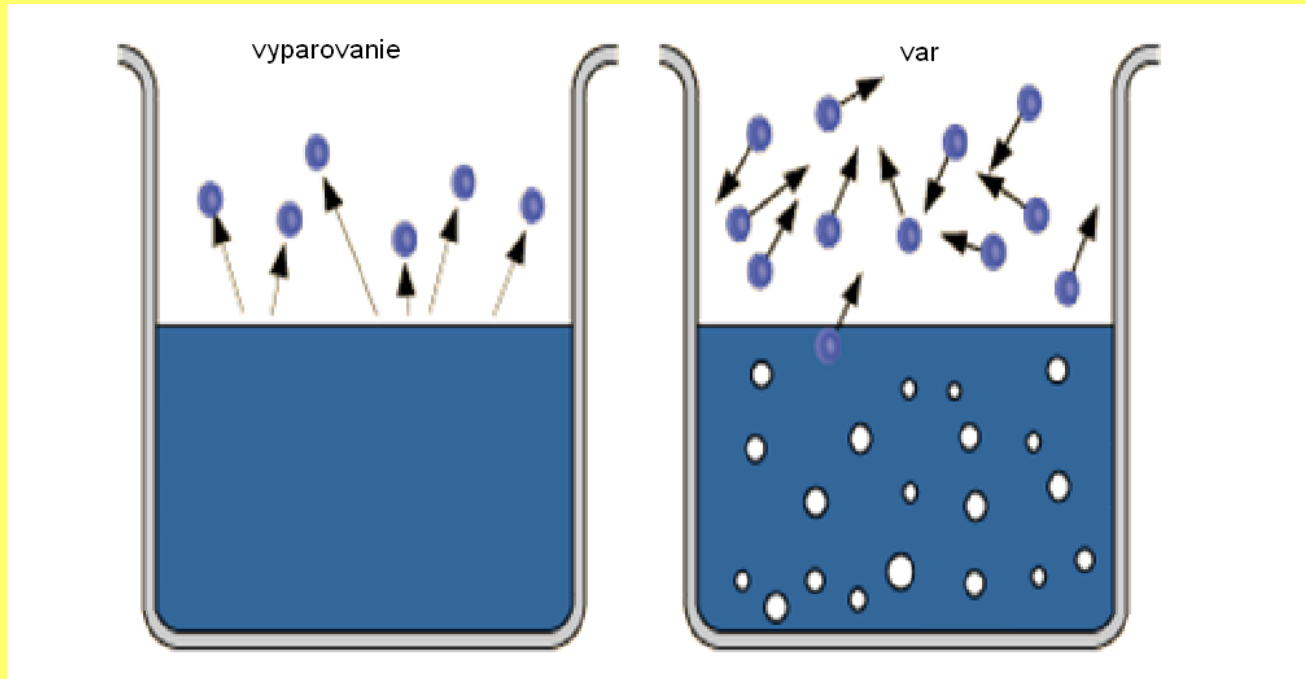
c) Aký je rozdiel medzi vyparovaním a varom?

d) Aký je význam používania tlakových hrncov? Ako sa zmení teplota varu v tlakovom hrnci oproti normálnemu tlaku? Ako prebieha var na horách?

Var

- vyparovanie kvapaliny v celom objeme
- Podmienky varu:
 1. **Dosiahnutie teploty varu** (závisí od látky a tlaku)
 2. **Neustále dodávanie tepla** (aby sa kvapalina neochladzovala)
- Vytváranie bublín pary, ktoré stúpajú k povrchu
- Tlak pár závisí od teploty kvapaliny
- Var nastane pri teplote, pri ktorej sa tlak nasýtených pár rovná vonkajšiemu tlaku. Pri voľnom varení je teda tlak nasýtených pár rovný tlaku vzduchu.
- **Teplota varu kvapaliny** s tlakom rastie.
- Pri veľmi nízkom tlaku môže voda vriieť už pri izbovej teplote.

Vyparovanie a var



VYPAROVANIE

Zmena KS na PS

Povrchový jav

Prebieha pri každej teplote

VAR

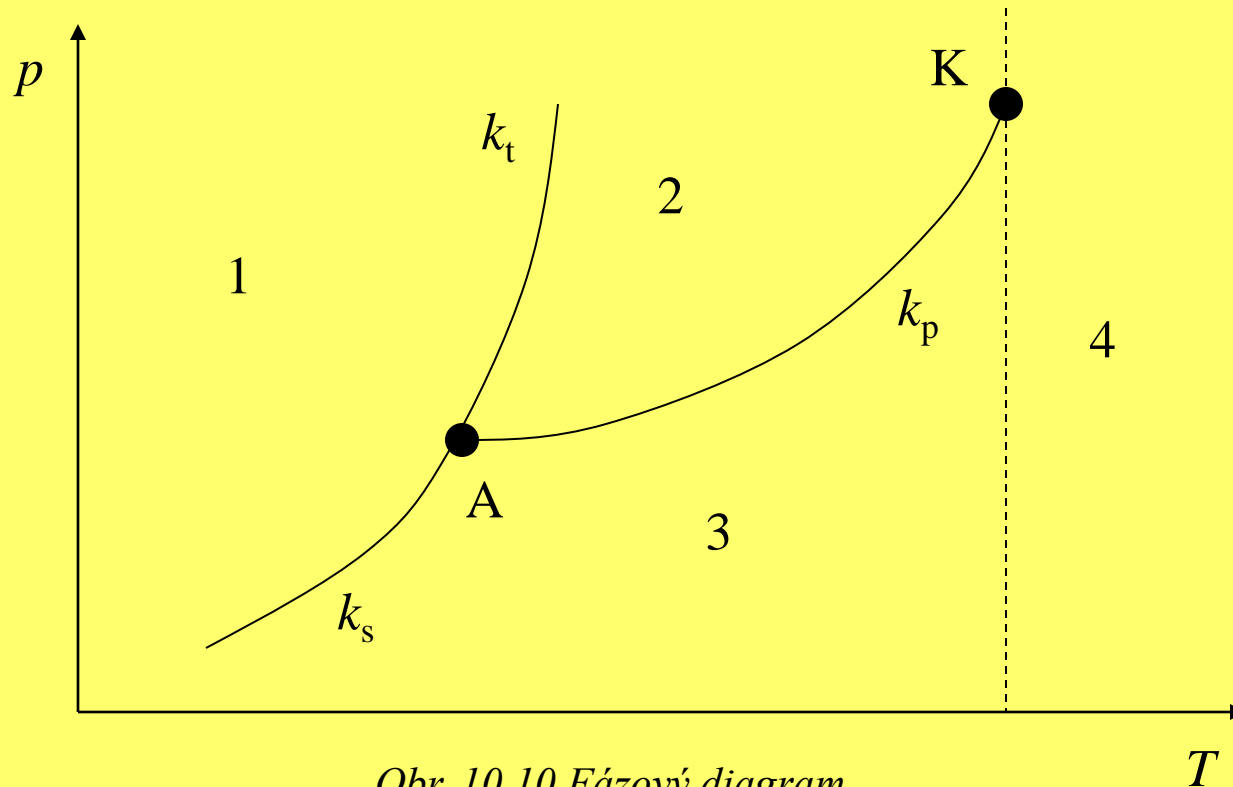
Zmena KS na PS

Prebieha v celom objeme kvapaliny

Prebieha pri teplote varu

Fázový diagram

- Každý bod tohto diagramu znázorňuje istý stav látky určený teplotou a tlakom



k_s – krivka sublimácie

k_t – krivka topenia

k_p – krivka nasýtenej pary

A – trojný bod

K – kritický bod

1 – pevná látka

2 – kvapalina

3 – prehriata para

4 – plyn

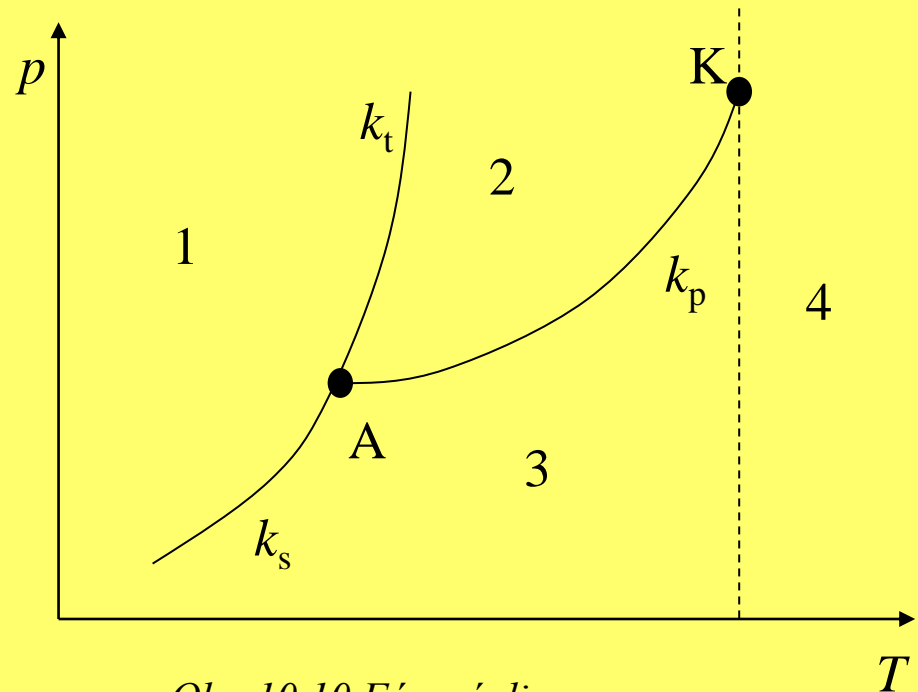
Obr. 10.10 Fázový diagram.

- **Krivka topenia**

- Vyjadruje závislosť zmeny teploty topenia látky od vonkajšieho tlaku na rozhraní pevnej látky a kvapaliny (rovnovážny stav).
- Každý jej bod vyjadruje rovnovážny stav medzi pevnou látkou a kvapalinou

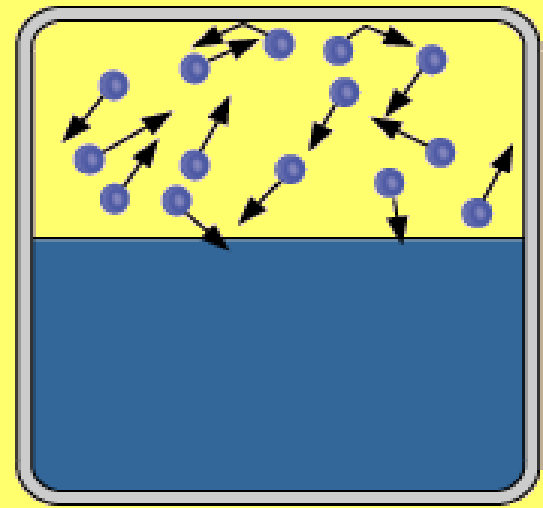
- **Krivka sublimácie**

- V uzavretom priestore nastane rovnovážny stav medzi pevnou látkou a jej **nasýtenou** parou
- Vyjadruje závislosť tlaku nasýtenej pary od teploty.
- Jej každý bod reprezentuje rovnovážny stav medzi pevnou látkou a jej nasýtenou parou

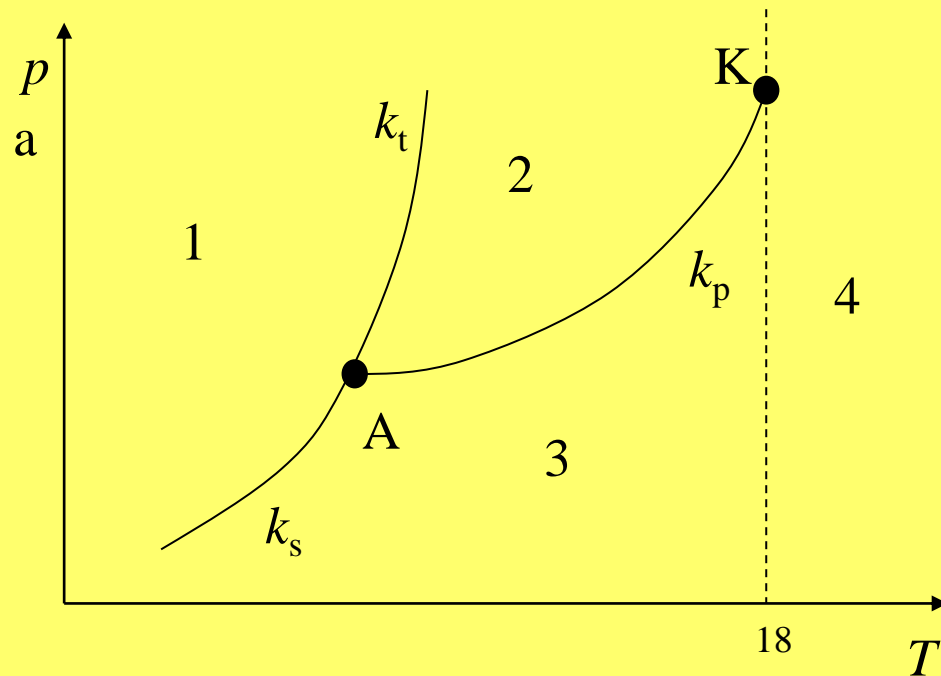


Obr. 10.10 Fázový diagram.

- **Krivka nasýtenej pary**
- Para, ktorá je v rovnovážnom stave so svojou kvapalinou
- Každý bod krivky nasýtenej pary vyjadruje rovnovážny stav medzi kvapalinou a jej nasýtenou parou.
- **Dynamická rovnováha**
- V uzavretom priestore nastane po istej dobe, keď sa tlak pary ani objem kvapaliny ani pary nemenia.
- Rovnováha medzi vyparovaním a kondenzáciou
- Tlak nasýtenej pary nezávisí od objemu kvapaliny (neplatí stavová rovnica ideálneho plynu).
- Tlak nasýtenej pary sa so zvyšujúcou teplotou nelineárne zvyšuje.



Obr. 10.11 Dynamická rovnováha.



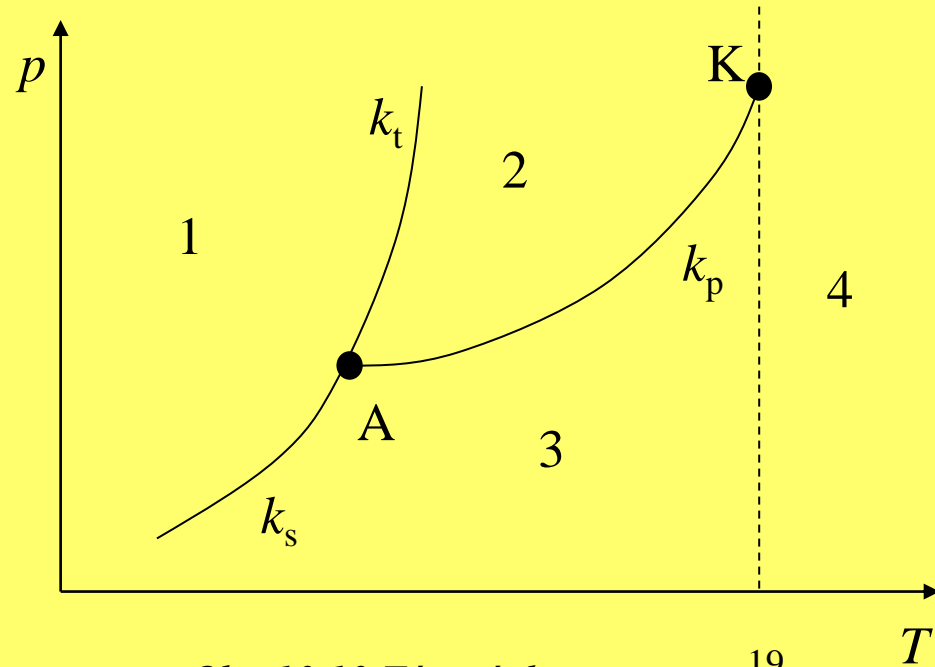
Obr. 10.10 Fázový diagram.

- **Trojný bod A**

- Miesto spojenia všetkých troch kriviek (sublimácie, topenia a nasýtenej pary)
- Rovnovážny stav medzi pevnou látkou, kvapalinou a jej nasýtenou parou
- Voda: $T_A = 273,16 \text{ K}$ a $p_A = 610 \text{ Pa}$

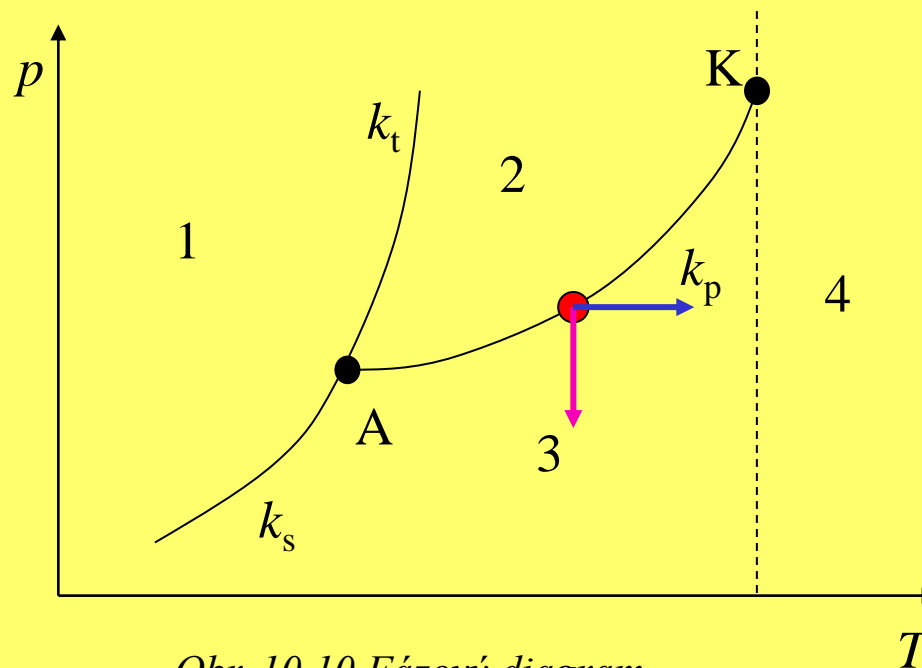
- **Kritický bod K**

- Miesto, kde končí ostré rozhranie medzi kvapalinou a jej nasýtenou parou
- Rovnaká hustota kvapaliny a jej nasýtenej pary
- Pri vyššej teplote ako je kritická už kvapalina neexistuje, len **plyn** (časť 4)
- Voda: $T_K = 374 \text{ K}$, $p_K = 22 \text{ MPa}$ a $\rho_K = 315 \text{ kg.m}^{-3}$



Obr. 10.10 Fázový diagram.

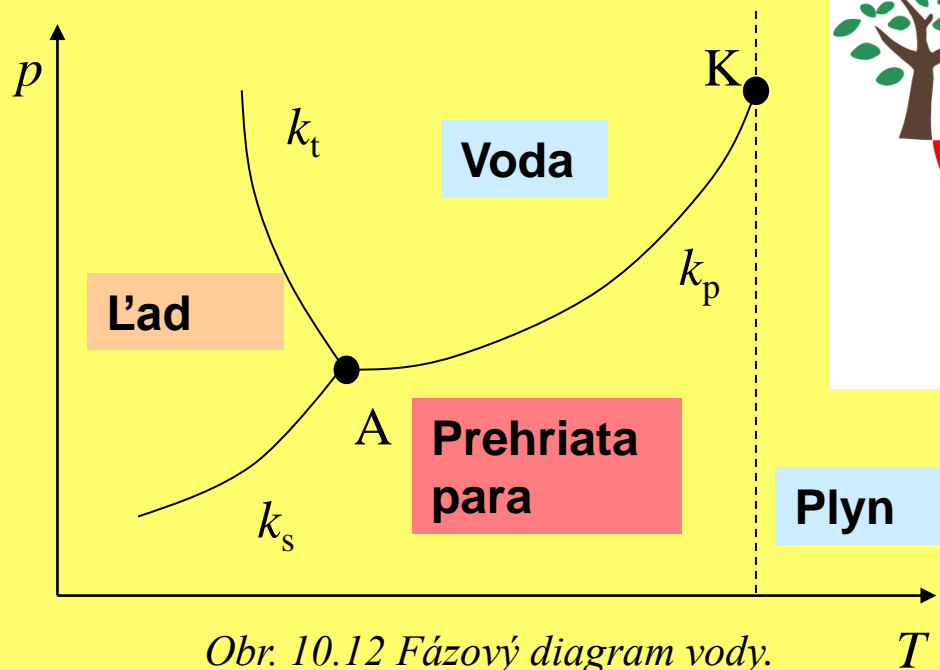
- **Prehriata para**
- plynné skupenstvo s nižším tlakom a hustotou ako má nasýtená para s rovnakou teplotou.
- **Vytvorenie prehriatej pary:**
 1. Zväčšením objemu nasýtenej pary bez prítomnosti kvapaliny pri konštantnej teplote, čím sa zníži jej hustota aj tlak. Táto para už nie je nasýtená.
 2. Zohrievaním nasýtenej pary bez prítomnosti kvapaliny – preto prehriata para.



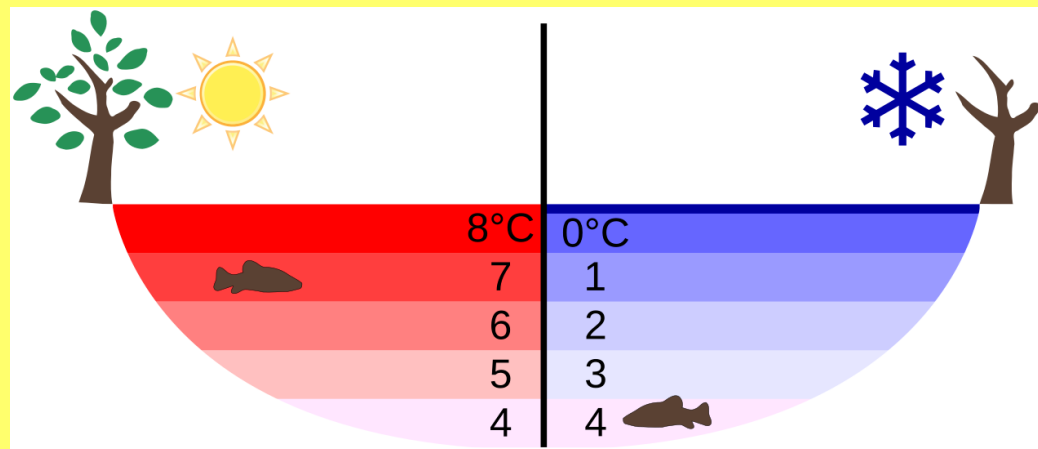
Obr. 10.10 Fázový diagram.

Fázový diagram vody

- Záporný sklon krivky topenia.
- Zvýšený tlak pri konštantnej teplote spôsobí topenie.
- Pri topení ľadu sa znižuje jeho objem
- **Anomália vody:**
- Hustota vody sa zväčšuje v intervale teplôt $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $3,98\text{ }^{\circ}\text{C}$



Obr. 10.12 Fázový diagram vody.



Obr. 10.13 Anomália vody (Kapustník, 2021).

Vodná para v atmosfére

- Zo spodnej vrstvy atmosféry sa odparuje voda z morí, riek, jazier a z vody obsiahnutej v pôde a organizmoch
- množstvo vodnej pary závisí od:
 - Dennej doby
 - Ročnej doby
 - Miesta

Absolútna vlhkosť vzduchu

- hmotnosť m vodnej pary obsiahnutej vo vzduchu s objemom V

$$\Phi = \frac{m}{V}$$

(kg.m⁻³)

Relatívna vlhkosť vzduchu

Pomer absolútnej vlhkosti vzduchu pri danej teplote a absolútnej vlhkosti vzduchu φ_{max} , pri ktorej je vodná para nasýtená

$$\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_{max}} \cdot 100\%$$



Obr. 10.14 Vodná para v ovzduší.

- **Rosný bod**
- **teplota, pri ktorej je vodná para vo vzduchu nasýtená**
- Pod touto teplotou kondenzácia: vznik rosy, hmly a pri teplotách pod 0 °C inoväte, snehu.

1. Vnútrotnú energiu môžeme znížiť: A) tuhnutím, B) varom kvapaliny, C) ohriatím, D) sublimáciou.
2. Zmes ľadu a vody má za normálnych podmienok teplotu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (teplota topenia ľadu). Pri stálom dodávaní tepla sa: A) zvyšuje teplota ľadu aj vody, B) ľad topí a voda ohrieva, C) ľad topí a voda ostáva pri teplote $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, kým sa celý ľad neroztopí, D) ľad topí a voda ochladzuje.
3. Ľad má za normálnych podmienok teplotu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (teplota topenia ľadu). Pri stálom dodávaní tepla sa: A) zvyšuje jeho teplota, B) zvyšuje kinetická energia ľadu, C) zvyšuje kinetická energia častíc, D) zvyšuje potenciálna energia častíc.
4. Voda má za normálnych podmienok teplotu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (teplota tuhnutia ľadu). Pri stálom odoberaní tepla sa: A) znižuje jeho teplota, B) znižuje kinetická energia vody, C) znižuje kinetická energia častíc, D) znižuje potenciálna energia častíc.
5. Flašu vody teploty $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ položíme na ľad teploty $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota okolia je tiež $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Čo nastane, ak zanedbáme zmenu teploty topenia v závislosti od tlaku? A) celý ľad sa roztopí, B) časť ľadu sa roztopí, C) časť vody zamrzne, D) nenastane žiadna skupenská zmena.

6. Ako sa mení teplota kvapaliny počas varu?
7. Plyn: A) má menšiu teplotu ako nasýtená para, B) je v rovnováhe so svojou kvapalinou, C) vzniká izotermickým zväčšením objemu nasýtenej pary bez prítomnosti kvapaliny, D) je potrebné pri skvapalnení ochladiť pod teplotu kritického bodu.
8. Pre prehriatu paru **neplatí**: A) má vyššiu teplotu ako plyn, B) nie je v rovnováhe so svojou kvapalinou, C) vzniká izotermickým zväčšením objemu nasýtenej pary bez prítomnosti kvapaliny, D) vzniká izobarickým ohriatím nasýtenej pary bez prítomnosti kvapaliny.
9. Prehriata para: A) má vyššiu teplotu ako plyn, B) je v rovnováhe so svojou kvapalinou, C) vzniká izotermickým zväčšením objemu nasýtenej pary bez prítomnosti kvapaliny, D) má vždy rovnakú hustotu ako jej kvapalina.
10. Pre kritický bod **neplatí**: A) stráca sa v ňom ostré rozhranie medzi kvapalinou a nasýtenou parou, B) nad teplotou kritického bodu už existuje len plyn, C) kvapalina a prehriata para v ňom majú rovnakú hustotu, D) je koncovým bodom krivky nasýtenej pary.

11. Plyn: A) má vyššiu teplotu ako nasýtená para, B) má nižšiu teplotu ako prehriata para, C) možno skvapalniť zvýšením tlaku, D) môže mať nižšiu teplotu ako je kritická teplota.
12. Pre trojný bod **neplatí**: A) miesto stretnutia krivky nasýtenej pary, sublimácie a topenia, B) jeho teplota je pre danú látku vyššia ako teplota kritického bodu, C) každá látka má práve jeden trojný bod, D) teplota trojného bodu vody je základom termodynamickkej teplotnej stupnice.
13. Pri vyparovaní teplota kvapaliny: A) stúpa, B) klesá, C) nemení sa, D) nedá sa jednoznačne odpovedať pre nedostatok údajov.
14. Pre trojný bod **neplatí**: A) miesto stretnutia krivky prehriatej pary, sublimácie a topenia, B) jeho teplota je pre danú látku menšia ako teplota kritického bodu, C) každá látka má práve jeden trojný bod, D) teplota trojného bodu vody je základom termodynamickkej teplotnej stupnice.
15. Plyny možno skvapalniť: A) znížením teploty pod kritickú teplotu a následným zvýšením tlaku, B) znížením teploty pod kritickú teplotu a následným znížením tlaku, C) len znížením tlaku, D) len zvýšením tlaku.

16. Pre kritický bod platí: A) pre každú látku je jeho teplota rovnaká, B) nad teplotou kritického bodu existuje len nasýtená para, C) nad teplotou kritického bodu existuje len prehriata para, D) tlak v ňom je väčší ako tlak tej istej látky v trojnom bode.
17. Pri ktorom deji klesá vnútorná energia sústavy? A) topenie ľadu, B) desublimácia vodnej pary na inoväť, C) horenie dreva, D) vzájomné trenie rúk.
18. Pre trojný bod platí: A) pre každú látku je jeho teplota rovnaká, B) stretávajú sa tu krivky topenia, sublimácie a prehriatej pary, C) jeho teplota pre vodu je základ pre Celziovu teplotnú stupnicu, D) jeho teplota je pre danú látku menšia ako teplota kritického bodu.
19. Voda v hrnci vrie: A) len na povrchu, B) pri každej teplote, C) pri zníženom tlaku pri nižšej teplote, D) aj keď jej nedodávame teplo.
20. Pri ktorom deji sa nemení kinetická energia častíc? A) topenie olova, B) miešanie polievky, C) ohrievanie vzduchu radiátorom, D) vzájomné trenie rúk.

21. Pre plyn vždy platí: A) jeho teplota je menšia ako teplota kritického bodu, B) jeho teplota je menšia ako teplota trojného bodu, C) jeho hustota v kritickom bode je menšia ako hustota kvapaliny, D) nemožno ho skvapalniť izotermickou kompresiou.
22. Vnútornú energiu môžeme znížiť: A) sublimáciou, B) varom, C) ohriatím, D) ani jedným z uvedených spôsobov.
23. Ktorá z vlastností **nie je** charakteristická pre vodu? A) správa sa anomálne v intervale teplôt 0 až $3,98^{\circ}\text{C}$, B) je pri izbovej teplote a normálneho tlaku kvapalina, C) používa sa ako vykurovacie i chladiace médium, kvôli vysokej hmotnostnej tepelnej kapacite, D) teplota trojného bodu vody je 0,01 K.
24. Cukor sa rozpúšťa rýchlejšie v teplej vode, lebo: A) v teplej vode prebieha difúzia pomalšie, B) v teplej vode prebieha difúzia rýchlejšie, C) v teplej vode prebieha tepelná výmena rýchlejšie, D) v teplej vode prebieha tepelná výmena pomalšie.
25. Potravinársky olej má: A) menšiu hustotu a menšiu viskozitu ako voda, B) menšiu hustotu a väčšiu viskozitu ako voda, C) väčšiu hustotu a menšiu viskozitu ako voda, D) väčšiu hustotu a väčšiu viskozitu ako voda.

26. Pre vodu **neplatí**: A) má pomerne malú hmotnostnú tepelnú kapacitu, B) sa správa anomálne v teplotnom intervale 0 °C až 3,98 °C, C) sa používa ako vykurovacie médium, D) je pri izbovej teplote v kvapalnom skupenstve.
27. Pre vodu **platí**: A) má pomerne malú hmotnostnú tepelnú kapacitu, B) sa správa anomálne v teplotnom intervale 0 °C až 7,98 °C, C) teplota jej trojného bodu je 273,16 K, D) je pri izbovej teplote v pevnom skupenstve.

Zdroje obrázkov

1. Kapustník, B. 2021. Topenie. [Online] 6 . 9. 2021. [Dátum: 19. 4. 2022.] <http://kapo.topindex.sk/id226/tuhnutie.html>.
2. tuul.sk. 2014. Topenie. [Online] 4. 1. 2014. [Dátum: 11. 3. 2022.] <https://tuul.sk/wp-content/uploads/2014/01/Topenie.html>.