



ZMĚNY

SKUPENSTVÍ

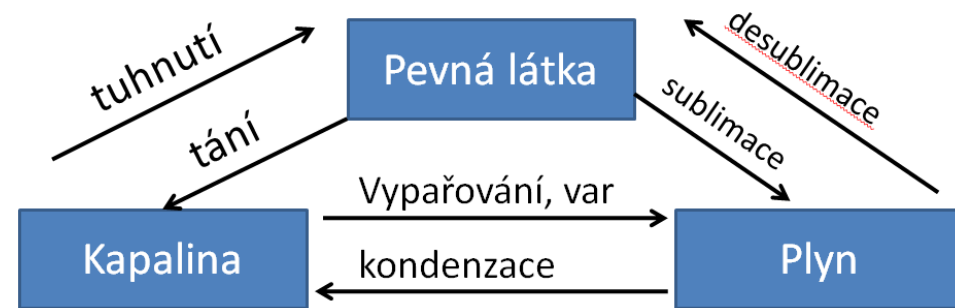
# 4. Změny skupenství

## Druhy skupenství

- Pevné, kapalné, plynné, plazma

## Změna skupenství

- fyzikální děj, při kterém se mění skupenství látky
- změna **spojená s pohlcením nebo uvolněním tepla**



# 4. Změny skupenství

## 4.1 Tání a tuhnutí

### Problémové otázky

Jak vznikají laviny?

Proč při obrovském množství sněhu nevznikají na jaře velké povodně?

Je možné projít ledovou stěnou bez jejího rozbití?

Co znamenají hvězdičky \*\*\* \* na ledničkách?

Je možné, aby se vodní pára nejprve změnila na led a ten teprve roztál na vodu?



# 4. Změny skupenství

## 4.1 Tání a tuhnutí

### Tání

- dodáváme teplo pevné látce → zvyšuje se  $E_k$  částic → až do teploty tání
- rozruší se krystalová mřížka
- **při teplotě tání vzniká kapalina o stejné teplotě jako má pevná látka** a to do té doby, až se celá pevná látka přemění na kapalinu (teplota se nemění)

$$L_t = m \cdot l_t$$

### Skupenské teplo tání – $L_t$

- teplo potřebné k tomu, aby se pevná látka přeměnila na kapalinu o téže teplotě
- zvyšuje se potenciální energie částic, kinetická ne

$m$  – hmotnost látky

$l_t$  – **měrné skupenské teplo tání** [ $l_t$ ] =  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

$l_t(\text{led}) = 334 \text{ kJ/kg}$

### Amorfnní látky

- tají postupně, nemají pevně danou teplotu tání
- PŘ.: vosk, sklo, asfalt, pryskyřice



# 4. Změny skupenství

## 4.1 Tání a tuhnutí

### Tuhnutí

- odebíráme teplo kapalině → snižuje se  $E_k$  částic → až do teploty tuhnutí
- začíná se tvořit krystalová mřížka - při teplotě tuhnutí vznikají v kapalině krystalizační jádra, která jsou základem pro krystalovou mřížku
- **při teplotě tuhnutí vzniká pevná látka o stejné teplotě jako má kapalina** a to do té doby, až se celá kapalina přemění na pevnou látku (teplota se nemění)

**Skupenské teplo tuhnutí –  $L_t$**        $[L_t] = \text{J (joule)}$        **$L_t = m \cdot l_t$**

- teplo potřebné k tomu, aby se kapalina přeměnila na pevnou látku o téže teplotě

**$m$**  – hmotnost látky

**$l_t$**  – měrné skupenské teplo tuhnutí

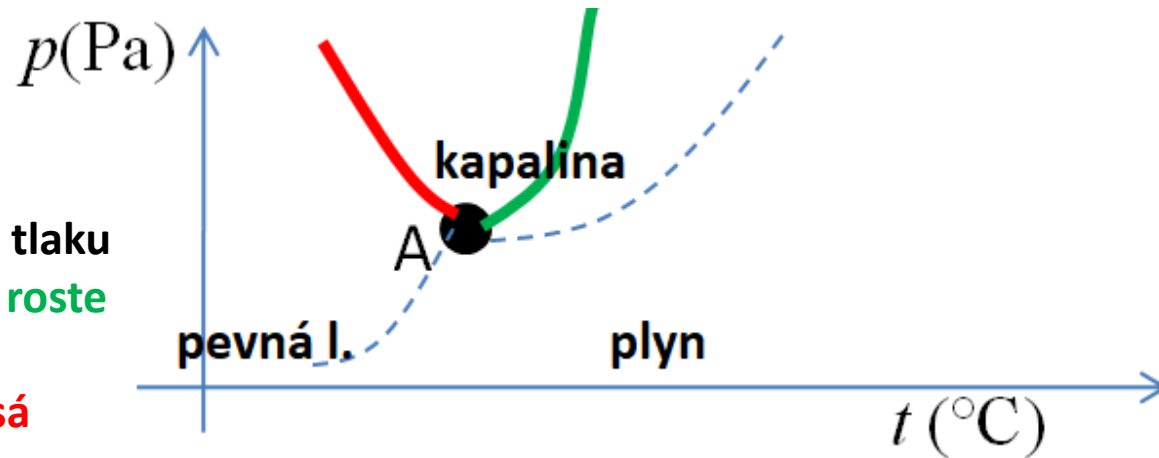
**$l_t(\text{led}) = 334 \text{ kJ/kg}$**

# 4. Změny skupenství

## 4.1 Tání a tuhnutí

### Křivka tání/tuhnutí

- znázorňuje **rovnovážný stav mezi pevnou látkou a kapalinou**
- vyjadřuje **závislost teploty tání na tlaku**
- **Většina látek: s rostoucím tlakem roste teplota tání (tuhnutí)**
- **Voda-led: s rostoucím tlakem klesá teplota tání**
  - **regelace ledu** – pod drátkem je velký tlak, led taje při nižší teplotě než  $0^{\circ}\text{C}$ , kapalní, drátek projde ledem aniž by ho přeřízl, nad drátkem voda opět zamrzne
  - **laviny** – velký tlak vrchních vrstev na spodní způsobí roztání, po vodě se zbytek ledu a sněhu začne klouzat až se utrhne



### Závislost teploty tání na přísadách

- přísady solí vytváří tzv. **chladící směsi**
- **teplota tuhnutí/tání nasycených vodných roztoků je hluboko pod  $0^{\circ}\text{C}$** 
  - **solení silnic, chodníků – i při teplotách pod  $0^{\circ}\text{C}$  voda nezamrzá**
- dochází k **samočinnému ochlazení** – rozpouštěcí i skupenské teplo se odebírá z roztoku

# 4. Změny skupenství

## 4.2 Sublimace a desublimace

### Problémové otázky



Proč uschne mokré prádlo i na mrazu?

**Kde se bere mlha na diskotékách?**

Proč na některých planetách nebo na Měsíci neexistuje voda v kapalném stavu i když tam je třeba led?

**Co je tzv. suchý led a jaké má využití?**

**Jak se čistí některé chemické látky?**

# 4. Změny skupenství

## 4.2 Sublimace a desublimace

### Sublimace

- dodáváme teplo pevné látce → zvyšuje se  $E_k$  částic → až do teploty sublimace
- látka neprojde kapalnou fází
- **při teplotě sublimace vzniká plyn o stejné teplotě jako má pevná látka** a to do té doby, až se celá pevná látka přemění na plyn (teplota se nemění)

**Skupenské teplo sublimace –  $L_s$**        $[L_s] = \text{J (joule)}$        **$L_s = m \cdot l_s$**

- teplo potřebné k tomu, aby se pevná látka přeměnila na plyn o téže teplotě
- zvyšuje se potenciální energie částic, kinetická ne

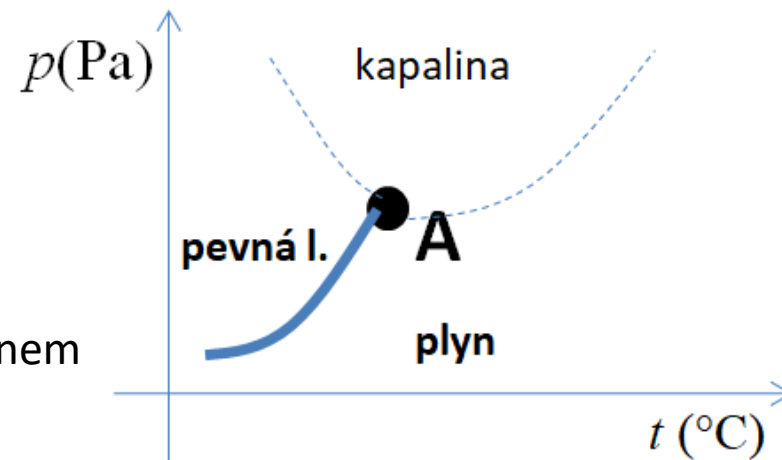
$m$  – hmotnost látky

$l_s$  – **měrné skupenské teplo sublimace**  $[l_s] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

$l_s(\text{led}) = 2,83 \text{ MJ/kg}$

### Křivka sublimace

- znázorňuje rovnovážný stav mezi pevnou látkou a plynem
- Př. Jód, kafr, naftalen, pevný  $\text{CO}_2$  (suchý led)



# 4. Změny skupenství

## 4.3 Vypařování, var a kondenzace

### Problémové otázky

Jak se dá chodit bosýma nohama po žhavém uhlí?

Dá se strčit ruka do vařícího olova bez újmy na zdraví?

Proč voda stříknutá na rozpálenou pánev nebo plotnu poskakuje ve tvaru kuliček?

Co je Leidenfrostův jev?

Můžu vypít vařící se vodu bez následků?

Jak funguje „papiňák“?

Proč mají horolezci problém s ohřevem jídla?

# 4. Změny skupenství

## 4.3 Vypařování, var a kondenzace

### Vypařování a var

- **Vypařování** – probíhá z volného povrchu kapaliny při libovolné teplotě, kdy je látka kapalinou
- **Var** – probíhá z celého objemu kapaliny při teplotě varu
- **při teplotě varu vzniká plyn o stejné teplotě jako má kapalina** a to do té doby, až se celá kapalina přemění na plyn (teplota se nemění)

**Skupenské teplo vypařování –  $L_v$**       $[L_v] = \text{J (joule)}$       **$L_v = m \cdot l_v$**

- teplo potřebné k tomu, aby se kapalina přeměnila na plyn(páru) o téže teplotě
- Měrné skupenské teplo vypařování je závislé na teplotě

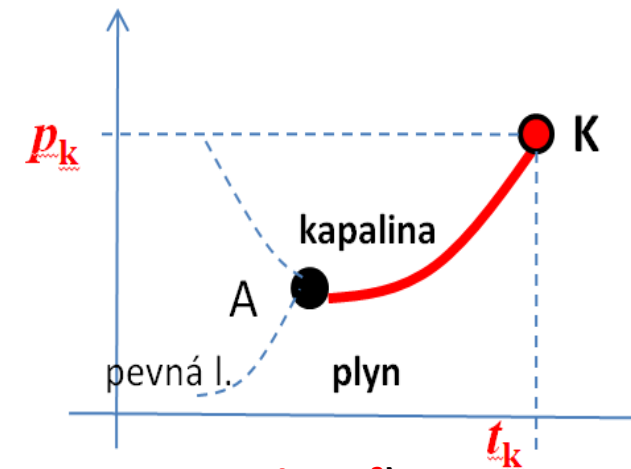
$m$  – hmotnost látky

$l_v$  – **měrné skupenské teplo vypařování**      $[l_v] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

$l_v(\text{voda } 0 \text{ }^\circ\text{C}) = 2,51 \text{ MJ/kg}$       $l_v(\text{voda } 100 \text{ }^\circ\text{C}) = 2,26 \text{ MJ/kg}$

**Křivka vypařování** – rovnovážný stav mezi kapalinou a plynem

- Teplota varu s vnějším tlakem roste
- Při dosažení  $p_k$ ,  $t_k$  vzniká stejnorodá látka, mizí rozhraní (voda: **374 °C, 22 MPa, 315 kg m<sup>-3</sup>**)
- Po překročení **kritického tlaku  $p_k$**  a **kritické teploty  $t_k$**  už kapalina neexistuje, pouze pára



# 4. Změny skupenství

## 4.3 Vypařování, var a kondenzace

### Kondenzace

- **kapalnění** – pára v důsledku zmenšení svého objemu nebo snížení teploty kondenzuje
- **Uvolňuje se kondenzační teplo** – je horší opařit se 100 °C horkou párou než vodou
- **Chladné předměty urychlují kondenzaci par – orosená studená sklenice v létě ochlazuje vodní páry ve vzduchu**

### Leidenfrostův jev

- **Johann Gottlob Leidenfrost – 1756**
- **na styku kapaliny s vodorovnou stěnou, jejíž teplota značně převyšuje teplotu kapaliny, dochází k vypařování kapaliny**
- **kapalina vytváří drobné kuličky, které konají rychlý neuspořádaný pohyb, přičemž se odpařováním neustále zmenšují**
- **pod kuličkou vzniká tenká vrstva páry, která ji izoluje od pevného tělesa.** Mezi kapalinou a pevnou látkou se tedy nemohou uplatnit adhezní síly a v důsledku působení sil povrchového napětí se vytvoří kulička



JEARL WALKER

# 4. Změny skupenství

## 4.4 Vodní pára v atmosféře

### Problémové otázky

Proč se za letadlem vytváří bílá viditelná stopa? Co jsou tzv. chemtrails?

Jak funguje mlžná komora?

Jak vzniká rosa a mlha? Proč se v zimě rosí brýle?

Je jinovatka zmrzlá rosa?

**Proč voda hasí oheň?**

**Jak fungují CO<sub>2</sub> hasicí přístroje?**

**Poručíme větru, dešti? Jak v SSSR a Číně vyvolávají umělý déšť?**



# 4. Změny skupenství

## Vodní pára v atmosféře

- Atmosférický vzduch obsahuje vodu ve všech skupenstvích – plynném (vodní pára), kapalném (mlha, mraky, déšť), pevném (sníh, kroupy)
- **vlhkost vzduchu** – přítomnost vodních par ve vzduchu
- zdroj vodních par – vodstva, půda, rostlinstvo
- vodní pára ve vzduchu = přehřátá pára (většinou)



## Absolutní a relativní vlhkost vzduchu

- **Absolutní vlhkost vzduchu –  $\Phi$**  
$$\Phi = \frac{m}{V}$$
 **$m$  – hmotnost vodní páry v daném objemu vzduchu  $V$**
- **Relativní vlhkost vzduchu –  $\varphi$**  
$$\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_m} = \frac{p}{p_s}$$
 **$p$  – tlak vodní páry obsaž. ve vzduchu  
 $p_s$  – tlak syté páry při dané teplotě**  
 **$\varphi = 0\%$  – suchý vzduch,  $\varphi = 100\%$  – nasycený vzduch**

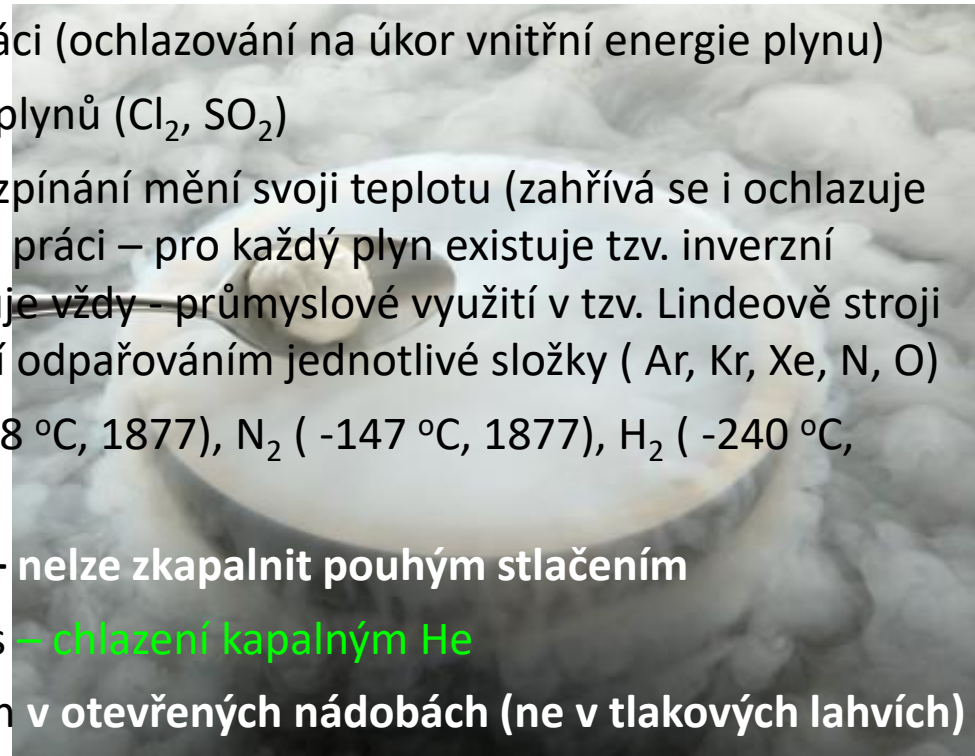
## Rosný bod

- při určité teplotě  $t_r$  (závisí na vnějším tlaku) se vodní pára stává sytou parou, a při nižší teplotě kapalná (rosa, mlha, zamlžené brýle)
- je-li  $t_r < 0$  vzniká jinovatka, sněhové vločky
- **odpařováním vody z lidského těla se tělo ochlazuje – alkohol urychluje odpařování – nebezpečí umrznutí**
- **konstantní vlhkost vzduchu – skladování potravin (zamezení plísní), uchování vzácných knih, skladování dřeva**

# 4. Změny skupenství

## Zkapalňování plynů

- adiabatickou expanzí – rozpíná se a koná práci (ochlazování na úkor vnitřní energie plynu)
- prudkým vypařováním jiných zkapalněných plynů ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{SO}_2$ )
- **Jouleův-Thomsonův jev** – reálný plyn při rozpínání mění svoji teplotu (zahřívá se i ochlazuje podle povahy a teploty plynu) i když nekoná práci – pro každý plyn existuje tzv. inverzní teplota při jejímž překročení se plyn ochlazuje vždy – průmyslové využití v tzv. Lindeově stroji – z kapalného vzduchu se postupně získávají odpařováním jednotlivé složky (Ar, Kr, Xe, N, O)
- **1830** - všechny známé plyny kromě  $\text{O}_2$  (  $-118\text{ }^\circ\text{C}$ , 1877),  $\text{N}_2$  (  $-147\text{ }^\circ\text{C}$ , 1877),  $\text{H}_2$  (  $-240\text{ }^\circ\text{C}$ , 1898), He (  $-268\text{ }^\circ\text{C}$ , 1908)
- $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ , He – velmi nízká kritická teplota – nelze zkapalnit pouhým stlačením
- **1911 - supravodivost** - Kammerlingh-Onnes – chlazení kapalným He
- Kapalný vzduch nebo dusík lze uchovávat jen v otevřených nádobách (ne v tlakových lahvích)
- **Autogen** – svařování a řezání kovů – intenzivní hoření v kapalném kyslíku
- **$\text{CO}_2$  hasicí přístroj** – v bombě zčásti kapalný  $\text{CO}_2$ , zčásti sytá pára – po otevření ventilu se při vnějším tlaku prudce vypařuje – odnímá teplo sám sobě i okolí – ochladí se až na  $-78\text{ }^\circ\text{C}$  a ztuhne v bílý sníh, který netaje ale hned sublimuje. Vytěsňuje také kyslík z okolí hořícího předmětu.



# 4. Změny skupenství

## 4.5 Vodní pára v atmosféře

### Problémové odpovědi

**Proč se za letadlem vytváří bílá viditelná stopa? Co jsou tzv. chemtrails?**

*(produkty hoření – žhavé plyny z motoru odeberou teplo vodní páře a ta kondenzuje)*

**Jak funguje mlžná komora?**

*(částice po průletu komorou odeberou teplo páře a ta zkondenzuje lokálně tam, kde letěla)*

**Jak vzniká rosa a mlha? Proč se v zimě rosí brýle?**

*(rosný bod)*

**Je jinovatka zmrzlá rosa?**

*(ano)*

**Proč voda hasí oheň?**

*(vypařováním vody se odebírá hořící látce teplo – vzniklá vodní pára má velký objem a vytlačuje z prostoru hoření vzduch – kyslík)*

**Lze svařovat kovy kyslíkem při teplotě  $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?**

*(ano – je to autogen )*

**Jak fungují  $\text{CO}_2$  hasicí přístroje?**

*(jde o tzv. sněhový hasicí přístroj – hasicí účinek je dusivý, tzn. že oxid uhličitý vytěsňuje kyslík z okolí hořícího předmětu)*

**Poručíme větru, dešti? Jak v SSSR a Číně vyvolávají umělý déšť?**

*(rozpráší do oblak krystalky AgI - sníží teplotu, kondenzace vodních par)*

# 5. Struktura a vlastnosti kapalin

## 5.1 Teplotní objemová roztažnost kapalin

### Většina kapalin

- s rostoucí teplotou se zvětšuje objem kapaliny
- různé kapaliny zvětšují při stejném  $\Delta T$  různě
- využití: kapalinové teploměry
- **rtuťové**: rozsah  $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $357\text{ }^{\circ}\text{C}$ , laboratorní, lékařské
- **lihové**: rozsah:  $-115\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $78\text{ }^{\circ}\text{C}$ , laboratorní, venkovní

venkovní teploměr



historický Galileův  
teploměr



lékařský teploměr



# 5. Struktura a vlastnosti kapalin

## 5.1 Teplotní objemová roztažnost kapalin

### Vztah pro objem

$$V = V_0(1 + \beta\Delta T)$$

- $V_0$  – počáteční objem
- $V$  – konečný objem
- $\beta$  – součinitel teplotní objemové roztažnosti,  
[ $\beta$ ] = K<sup>-1</sup>, hodnoty v MFChT
- $\Delta T$  – změna teploty

látka	$\beta$ ( $\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ )
Voda	190
Líh	1120
Rtuť	182
Petrolej	1000
Kyselina octová	1070

### Vztah pro hustotu

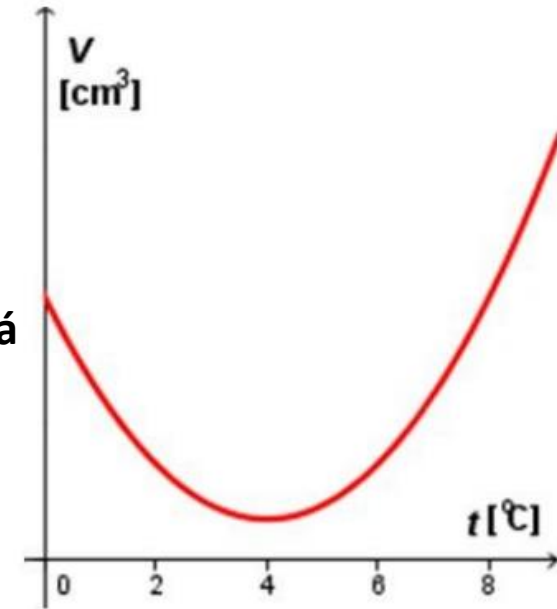
$$\rho = \rho_0(1 - \beta\Delta T)$$

# 5. Struktura a vlastnosti kapalin

## 5.2 Teplotní objemová roztažnost vody

### Anomálie vody

- **0 °C – 4 °C: při zahřívání ZMENŠUJE svůj objem, hustota roste**
- **$t = 3,98\text{ °C} \cong 4\text{ °C}$  – maximální hustota**
- **$t > 4\text{ °C}$  – s rostoucí teplotou se ZVĚTŠUJE objem, hustota klesá**
- **Umožňuje přežití vodních živočichů u dna potoků, rybníků**



Teplotní závislost hustoty destilované vody

