



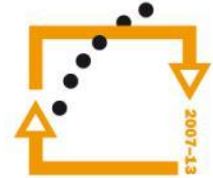
evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

FYZIKA PRO II. ROČNÍK GYMNÁZIA

7. ZMĚNY SKUPENSTVÍ LÁTEK

Mgr. Monika Bouchalová

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

Tato prezentace vznikla na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo: CZ.1.07/1.1.24/01.0114
s názvem

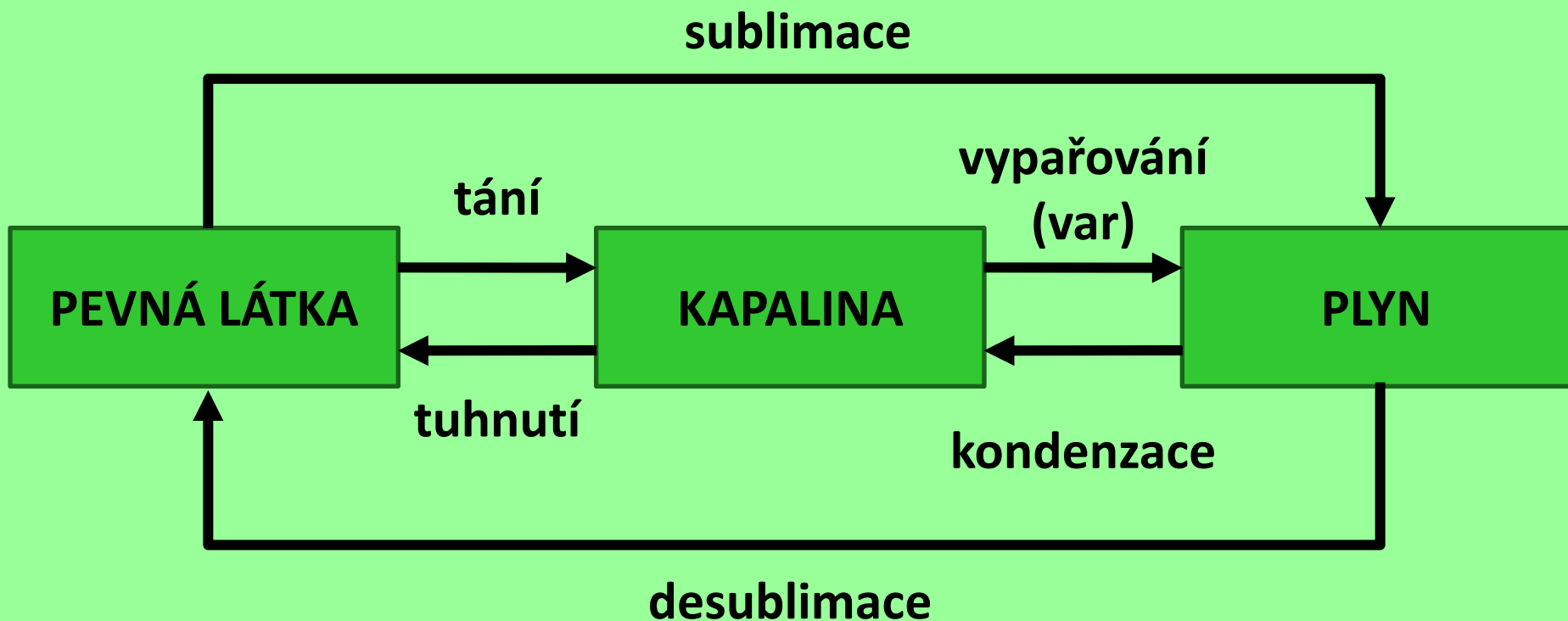
„PODPORA CHEMICKÉHO A FYZIKÁLNÍHO VZDĚLÁVÁNÍ NA GYMNÁZIU KOMENSKÉHO V HAVÍŘOVĚ“

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

- 1. Změny skupenství látek**
- 2. Tání**
- 3. Tuhnutí**
- 4. Změna objemu těles při tání a tuhnutí**
- 5. Sublimace a desublimace**
- 6. Vypařování a kapalnění**
- 7. Sytá pára**
- 8. Fázový diagram**
- 9. Vodní pára v atmosféře**

SKUPENSKÉ PŘEMĚNY LÁTEK

jsou fyzikální děje,
při kterých se mění skupenství látek.

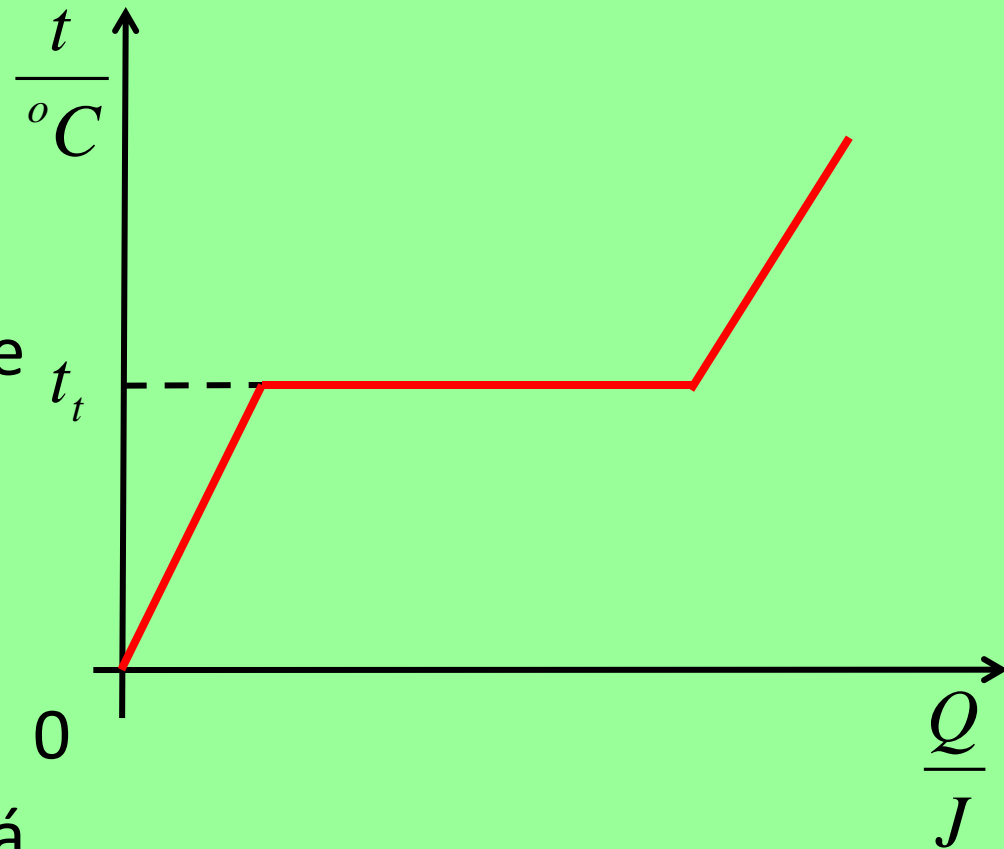


7. 1. TÁNÍ

je přechod pevného tělesa ze skupenství pevného v kapalně po dosažení teploty tání t_t .

Graf závislosti teploty **krystalické látky na dodávaném teple**

1. zahříváme těleso, jeho teplota se zvětšuje až do teploty tání
2. teplota se nemění, dokud všechna látka neroztaje
3. teplota kapaliny vzrůstá



7. 1. TÁNÍ

skupenské teplo tání L_t

teplo, které přijme pevné těleso již zahřáté na teplotu tání, aby se změnilo na kapalinu téže teploty

$$[L_t] = \text{J}$$

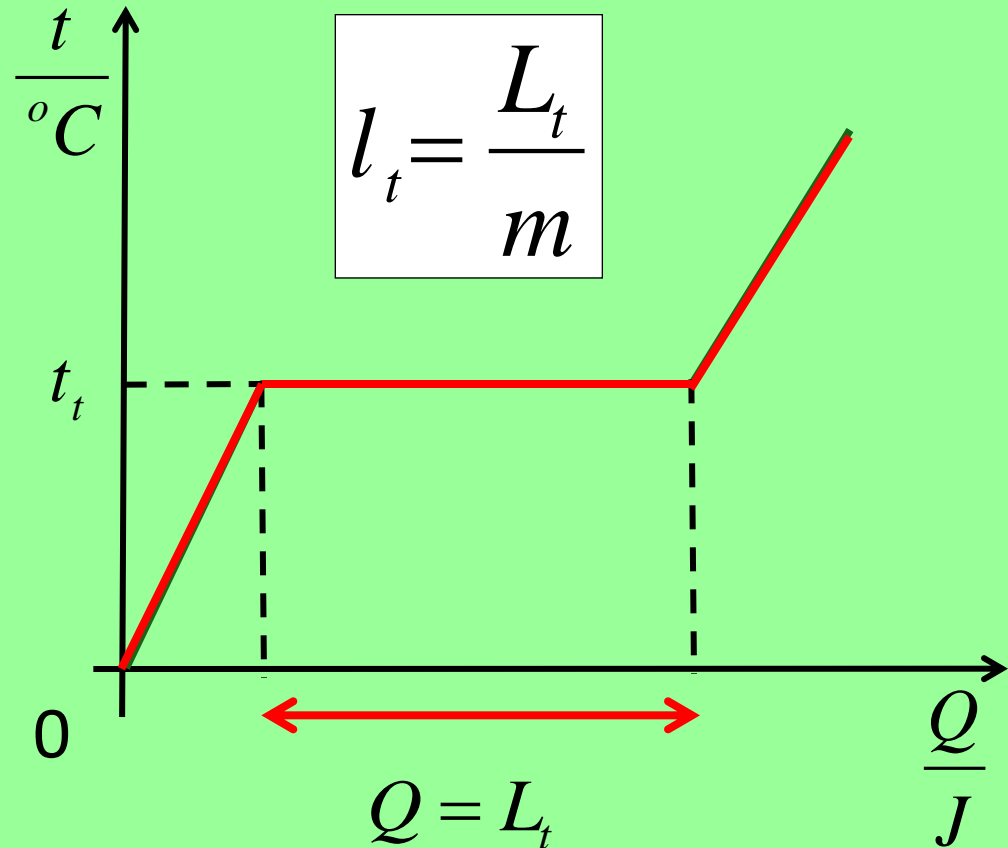
(různé látky – různé L_t)

měrné skupenské

teplo tání l_t

udává množství tepla, které přijme 1 kg pevné látky při teplotě tání, aby se změnil na kapalinu téže teploty

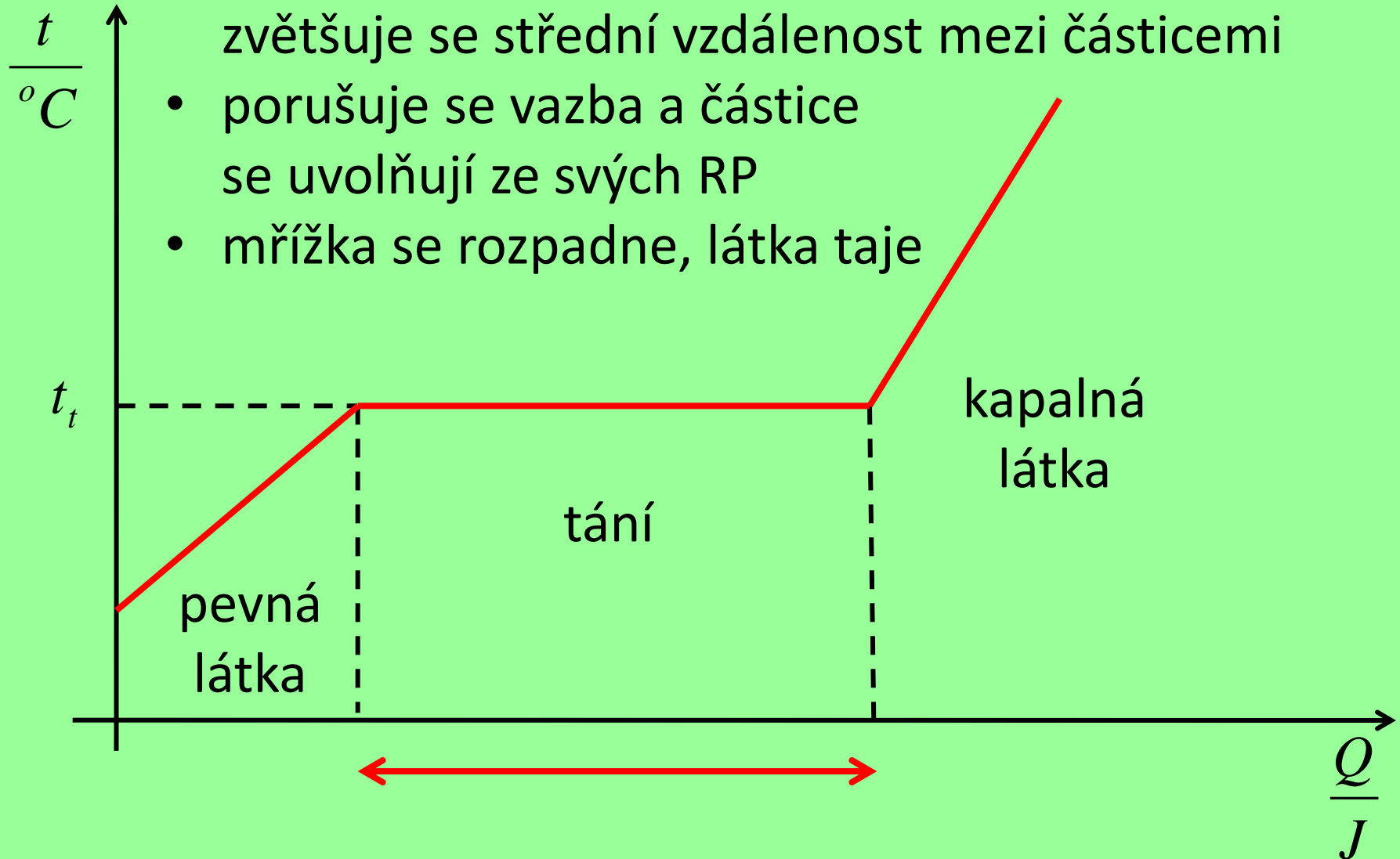
$$[l_t] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$



7. 1. TÁNÍ

Z pohledu molekulové fyziky

- látka přijímá teplo, zvyšuje se E_k
zvětšuje se střední vzdálenost mezi částicemi
- porušuje se vazba a částice se uvolňují ze svých RP
- mřížka se rozpadne, látka taje



7. 1. TÁNÍ

Graf závislosti teploty **amorfní** látky na dodávaném teple

- nemají určitou t_t – teplotu tání, postupně měknou
- vosk, sádlo, plasty



7. 2. TUHNUTÍ

- přechod kapalného tělesa ze skupenství kapalného ve skupenství pevné (**téže teploty**)
- teplota tuhnutí = teplotě tání
- **skupenské teplo tuhnutí**
teplo, které kapalina odevzdává okolí
- během tuhnutí zůstává teplota konstantní, i když teplo kapalině odebíráme
- **měrné skupenské teplo tuhnutí =**
měrnému skupenskému teplu tání

7. 2. TUHNUTÍ

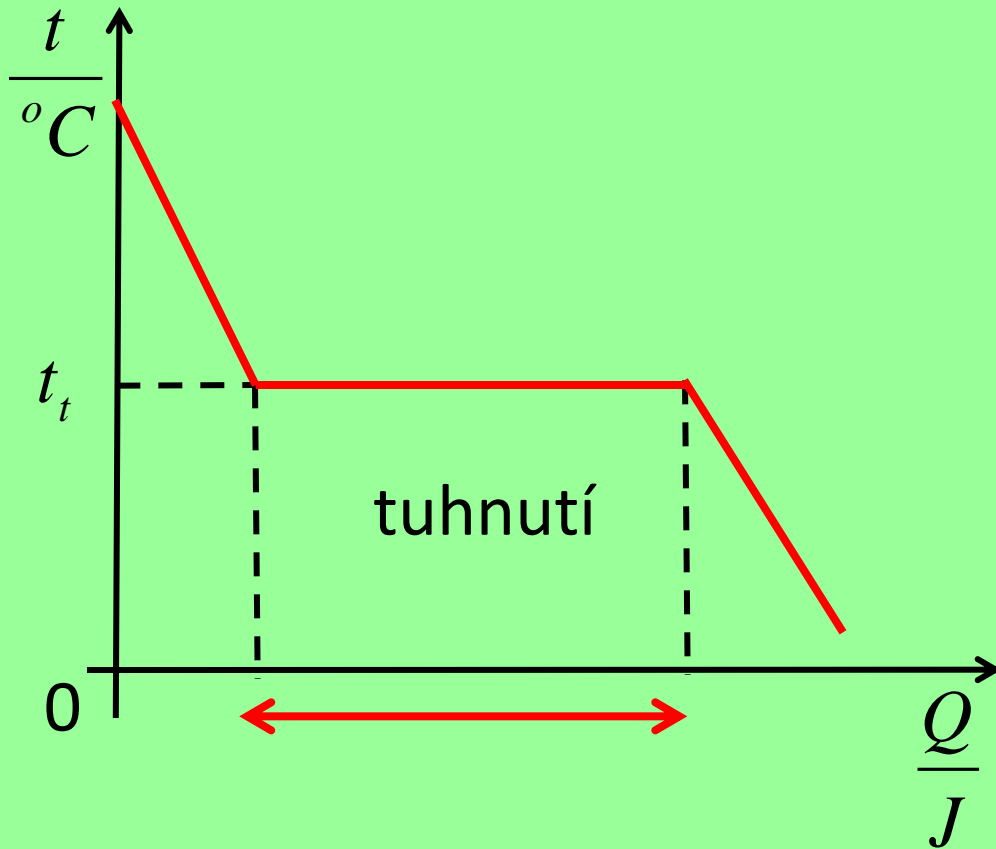
Ochlazování kapaliny z pohledu molekulové fyziky:

po dosažení t_t začnou vznikat zárodky (jádra) a na ně se nalepují další pravidelně uspořádané částice.

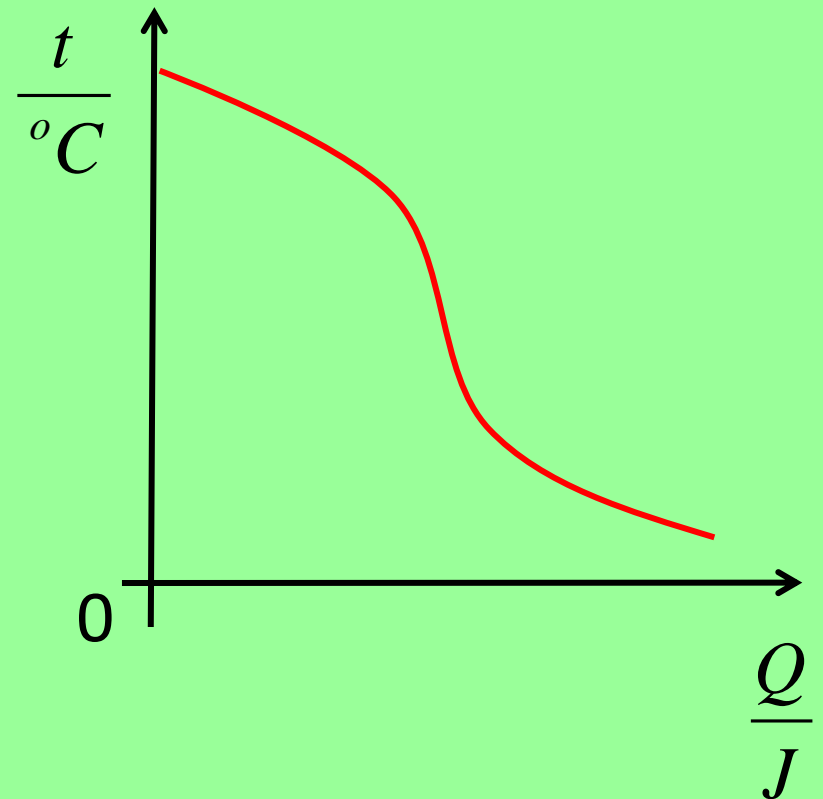
(Z jednoho zárodku vznikne monokrystal).

7. 2. TUHNUTÍ

Graf závislosti teploty krystalické látky na odebíraném teple



Graf závislosti teploty amorfnní látky na odebíraném teple



7. 3. ZMĚNA OBJEMU TĚLES PŘI TÁNÍ A TUHNUTÍ, ZÁVISLOST TEPLoty TÁNÍ NA VNĚJŠÍM TLAKU

Při tání

- **většina látek** (parafín, Pb, Cd aj.) zvětšuje objem
- **některé látky** (led, Bi, Ge, slitiny) zmenšují objem

Teplota tání krystalické mřížky závisí na okolním tlaku.

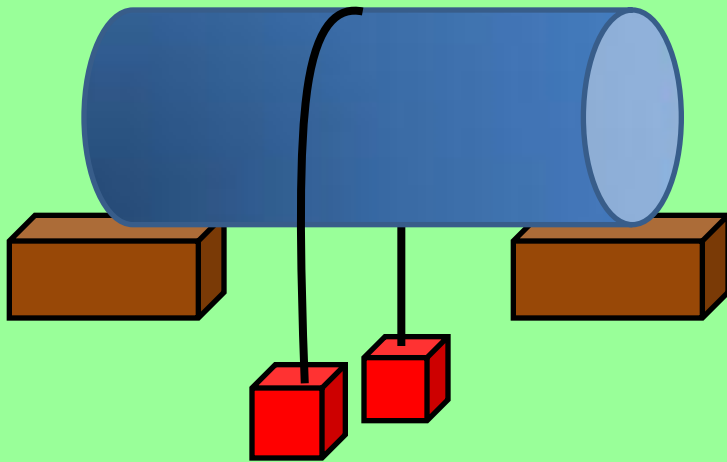
S rostoucím tlakem

- **u většiny látek** teplota tání roste ($\uparrow V - \uparrow t_t$)
- **u některých látek** teplota tání klesá ($\downarrow V - \downarrow t_t$)

7. 3. ZMĚNA OBJEMU TĚLES PŘI TÁNÍ A TUHNUTÍ, ZÁVISLOST TEPLoty TÁNÍ NA VNĚJŠÍM TLAKU

regelace

(znovuzamrznutí ledu)



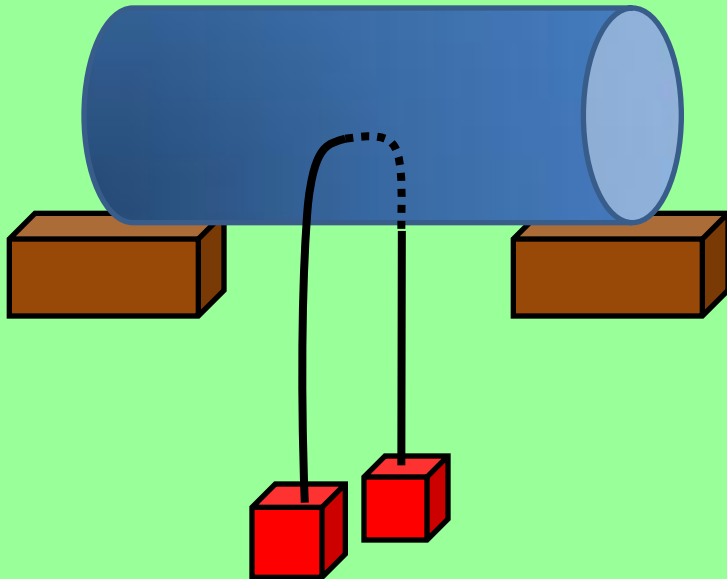
Obr.: 1.



7. 3. ZMĚNA OBJEMU TĚLES PŘI TÁNÍ A TUHNUTÍ, ZÁVISLOST TEPLoty TÁNÍ NA VNĚJŠÍM TLAKU

regelace

(znovuzamrznutí ledu)



Obr.: 2.

7. 4. SUBLIMACE A DESUBLIMACE

sublimace

- přímý přechod látky ze skupenství pevného do skupenství plynného
- (jód, kafr, suchý led – vonící či páchnoucí PeL)
- látka teplo přijímá

desublimace

- přímý přechod látky ze skupenství plynného do skupenství pevného
- (jinovatka, krystalky jódu...)
- látka teplo odevzdává

7. 4. SUBLIMACE A DESUBLIMACE

měrné skupenské teplo sublimace (desublimace)

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

L_s – skupenské teplo přijaté při sublimaci
(odevzdané při desublimaci)
tělesem o hmotnosti m

- závisí na teplotě

7. 5. VYPAŘOVÁNÍ A KAPALNĚNÍ

vypařování

- přechod z kapalného skupenství v plynné
- probíhá na povrchu kapaliny za každé teploty,
(kdy existuje v kapalném skupenství
- kapalina odebírá teplo ze svého okolí

pára – plyn vzniklý při vypařování

7. 5. VYPAŘOVÁNÍ A KAPALNĚNÍ

skupenské teplo vypařování L_v

$$[L_v] = \text{J}$$

teplo, které musí kapalina při teplotě varu přijmout, aby se přeměnila v plyn téže teploty

měrné skupenské teplo vypařování l_v

$$[l_t] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

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

udává množství tepla, které přijme 1 kg kapalně látky při teplotě varu, aby se změnil v plyn téže teploty,

- s rostoucí teplotou klesá skupenské teplo vypařování

7. 5. VYPAŘOVÁNÍ A KAPALNĚNÍ

var

- vypařování kapaliny, které vzniká při zahřívání kapaliny nejen na povrchu, ale i uvnitř (vytvářejí se bublinky syté páry, které zvětšují svůj objem a vystupují k povrchu)

- **teplota varu**

teplota, při které nastává var za určitého tlaku, je závislá na

- druhu kapaliny
- vnějším tlaku
- s rostoucím tlakem

se zvyšuje

Látka	$t_v / ^\circ\text{C}$
voda	100
etanol	78,3
vodík	-253
rtuť	357
železo	2 750
hliník	2 470
Wolfram	5 550

7. 5. VYPAŘOVÁNÍ A KAPALNĚNÍ

Rychlost vypařování závisí na:

- druhu kapaliny
- teplotě kapaliny
- ploše volného povrchu
- odsávání

7. 5. VYPAŘOVÁNÍ A KAPALNĚNÍ

Příklady:

var při vyšším tlaku

- sterilizace chirurgických nástrojů při 130°C
- zavařování,
- Papiňák
 - $p = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ $t_v = 120^\circ\text{C}$
 - $p = 2 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ $t_v = 60^\circ\text{C}$

var při nižším tlaku

- vakuové nádoby pro výrobu cukrů, sirupů, léků, kondenzovaného mléka
- využití vývěv

7. 5. VYPAŘOVÁNÍ A KAPALNĚNÍ

Vypařování z pohledu molekulové fyziky

- molekuly vykonávají tepelný pohyb
- některé uniknou do prostoru nad kapalinou, některé se vrátí do kapaliny
- v otevřené nádobě je počet molekul vracejících se do kapaliny menší
- kapaliny ubývá, páry přibývá
- snižuje se teplota kapaliny, protože ji opouštějí ty nejrychlejší

7. 5. VYPAŘOVÁNÍ A KAPALNĚNÍ

kapalnění = kondenzace

- obrácený děj k vypařování
- pára se snížením teploty mění v kapalinu
- uvolňuje se **skupenské teplo kondenzace**
- **měrné skupenské teplo kondenzace**
= **měrnému skupenskému teplu vypařování**
téže látky při stejné teplotě

7. 5. VYPAŘOVÁNÍ A KAPALNĚNÍ



Obr.: 3.



Obr.: 4



Obr.: 5.

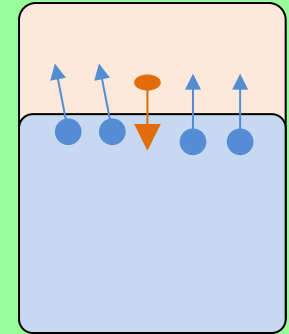
Kondenzace....



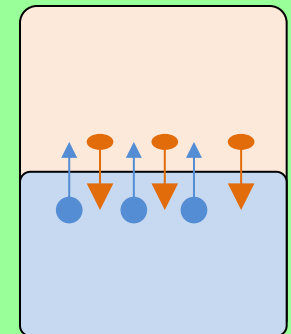
Obr.: 6.

7. 6. SYTÁ PÁRA

- vzniká při vypařování do uzavřeného prostoru
- je pára, která je v RS se svou kapalinou
- vzduch je nad povrchem vody párou nasycen
- při určité teplotě dojde k rovnováze mezi vypařováním a kapalněním



Objem kapaliny a páry se nemění,
tlak a teplota soustavy zůstává konstantní.



7. 6. SYTÁ PÁRA

Tlak SP **nezávisí při stálé teplotě na objemu páry**

Zvětší-li se izotermicky objem prostoru nad kapalinou část kapaliny se vypaří a opět se vytvoří rovnovážný stav.

Zmenší-li se izotermicky objem prostoru nad kapalinou část kapaliny zkapalní a opět se vytvoří rovnovážný stav.

Liší se od ideálního plynu:

Boylův-Mariottův zákon neplatí.

7. 6. SYTÁ PÁRA

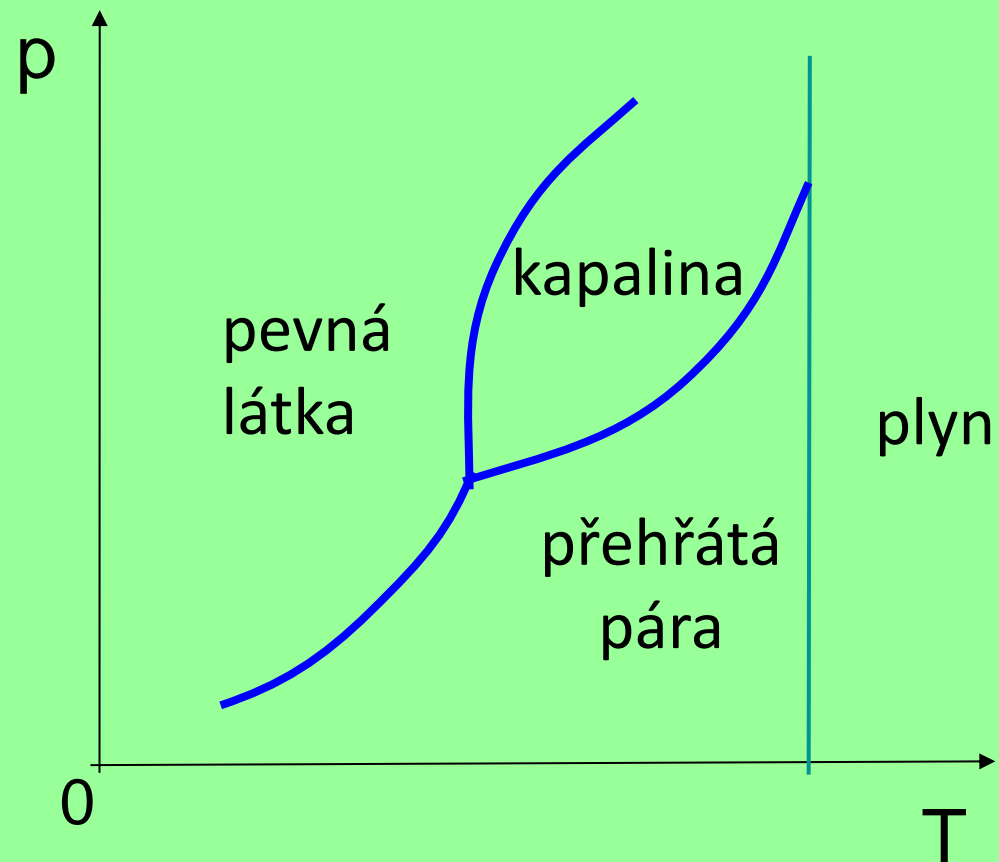
Tlak SP nad kapalinou s **rostoucí teplotou roste.**

- \uparrow t kapaliny a její syté páry
- \uparrow se vnitřní energie soustavy
- další část kapaliny se vypaří
- vzroste hustota molekul syté páry
- současně se zvětší střední rychlost jejich molekul
- tyto změny způsobí vzrůst tlaku syté páry

7. 7. FÁZOVÝ DIAGRAM

... **pT diagram**, který znázorňuje rovnovážné stavy vedle sebe existujících skupenství.

Libovolný bod roviny určuje stav látky za dané teploty a tlaku.



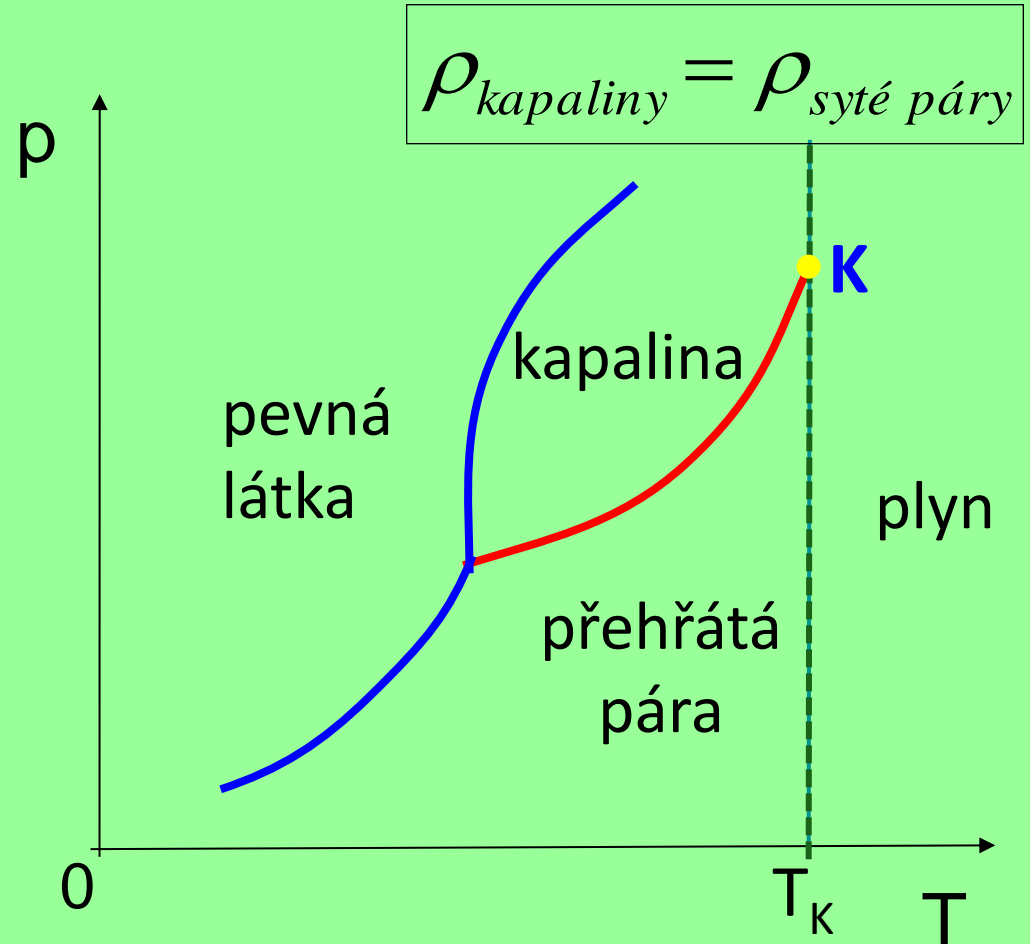
7. 7. FÁZOVÝ DIAGRAM

Křivka syté páry - graf závislosti tlaku syté páry na teplotě.

K - KRITICKÝ BOD

charakterizuje kritický stav látky (MFCHT)

T_k – nejvyšší teplota, při které látka existuje v kapalném skupenství, zmizí rozhraní a látka se stane stejnorodou.



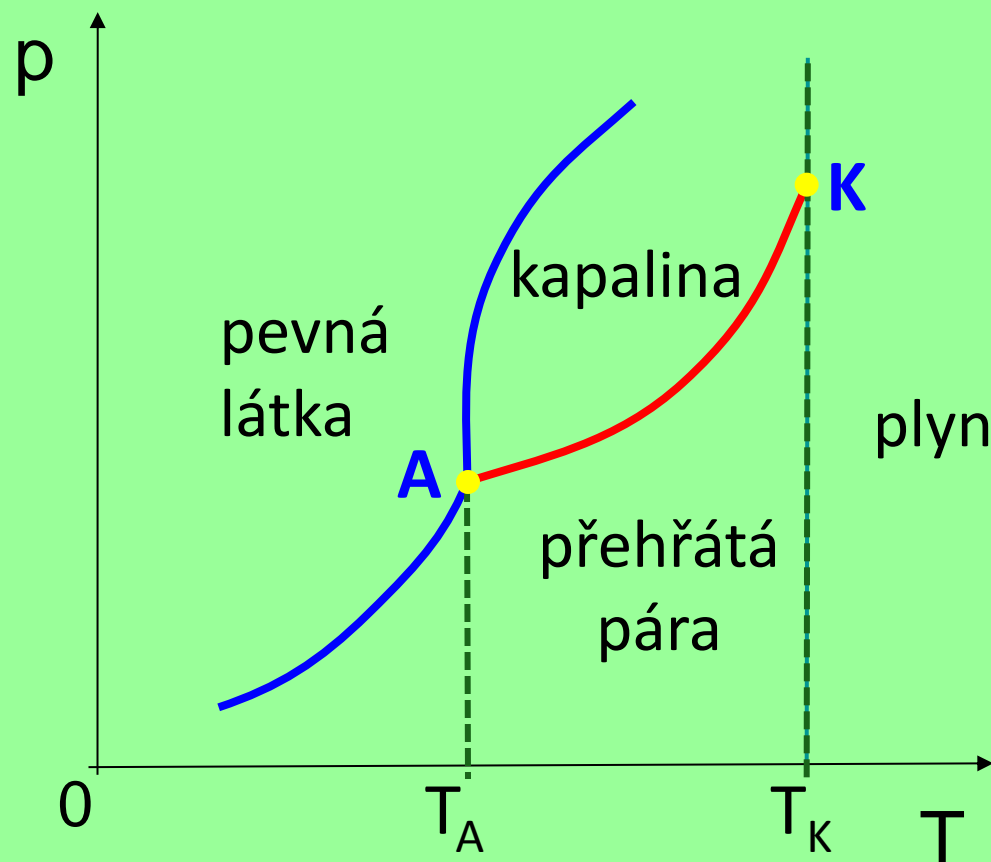
7. 7. FÁZOVÝ DIAGRAM

Křivka syté páry - graf závislosti tlaku syté páry na teplotě.

A – TROJNÝ BOD

charakterizuje
rovnovážný stav
pevné látky, kapaliny
a syté páry

T_A – minimální teplota,
kdy existuje látka
v kapalném stavu



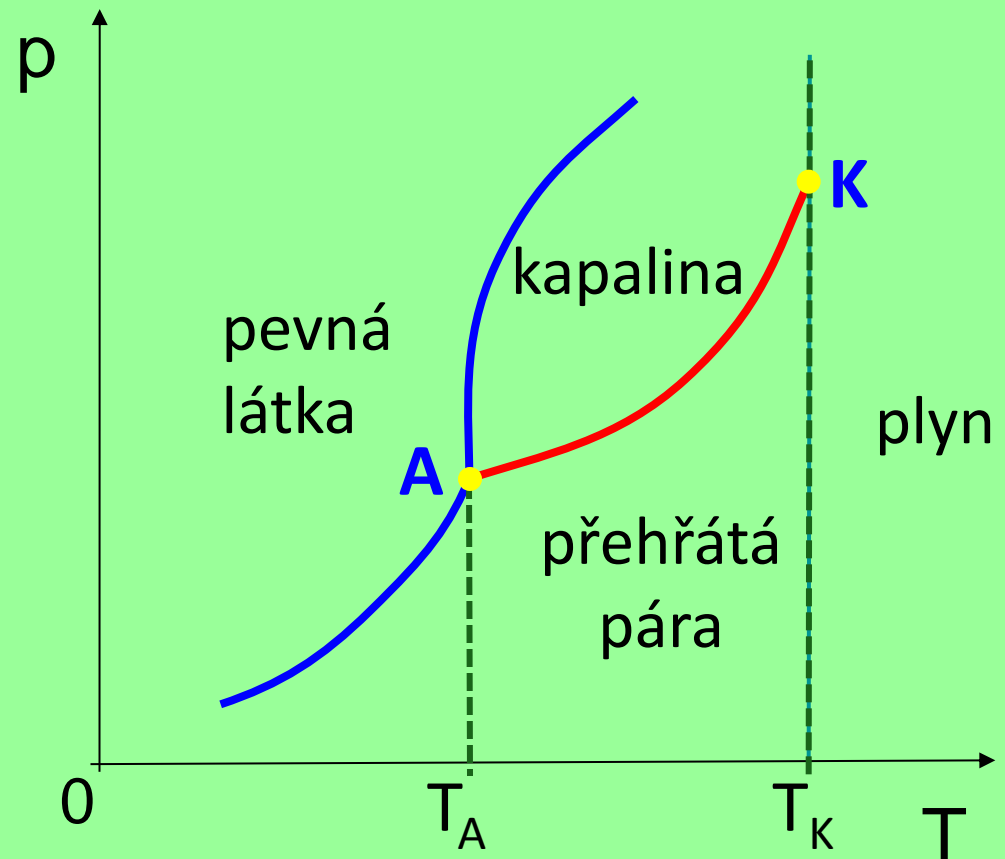
7. 7. FÁZOVÝ DIAGRAM

Křivka syté páry - graf závislosti tlaku syté páry na teplotě.

A – TROJNÝ BOD

protínají se v něm všechny tři křivky.

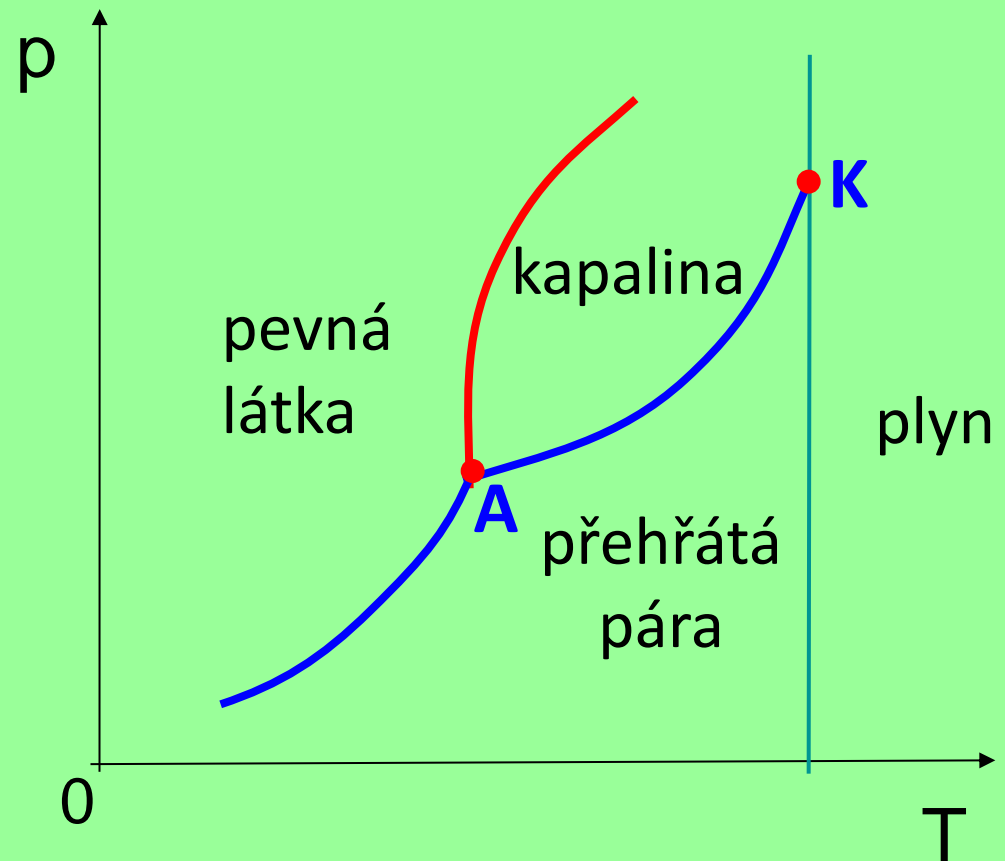
Při této teplotě a tlaku se vyskytuje látka ve všech třech skupenstvích.



7. 7. FÁZOVÝ DIAGRAM

Křivka tání - závislost teploty tání na vnějším tlaku.

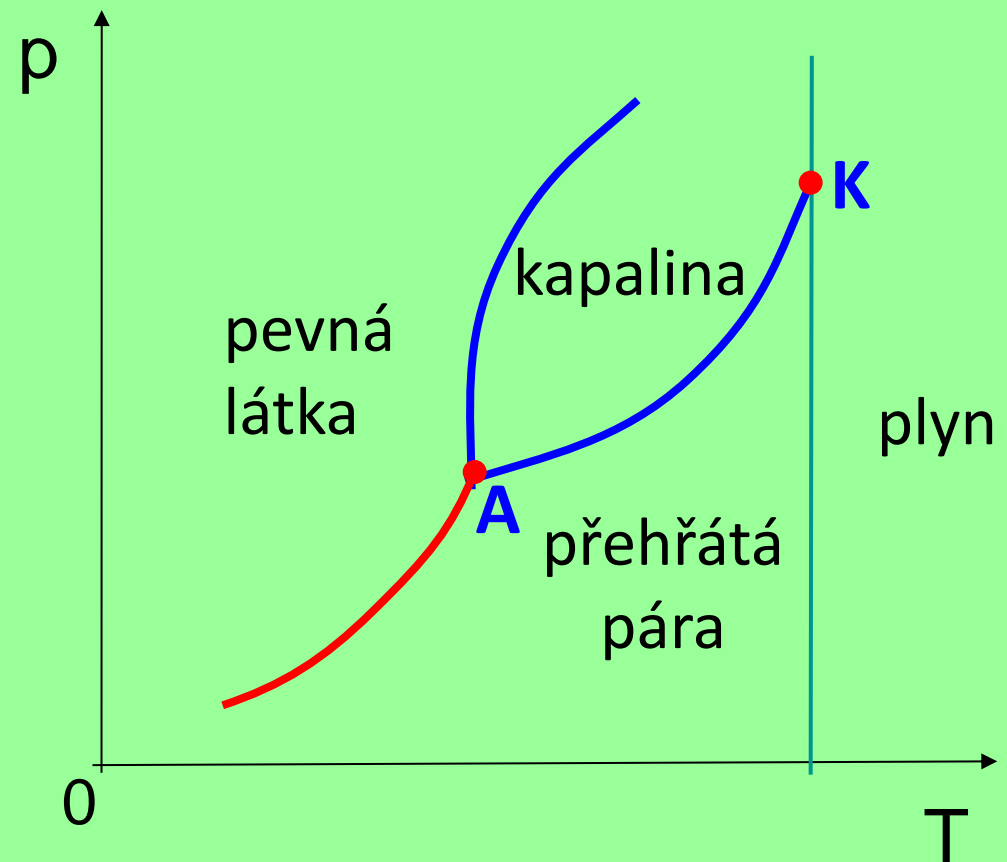
- každý bod křivky charakterizuje RS pevné látky a kapaliny
(není ukončena)



7. 7. FÁZOVÝ DIAGRAM

Sublimační křivka

- každý bod křivky charakterizuje RS pevné látky a syté páry

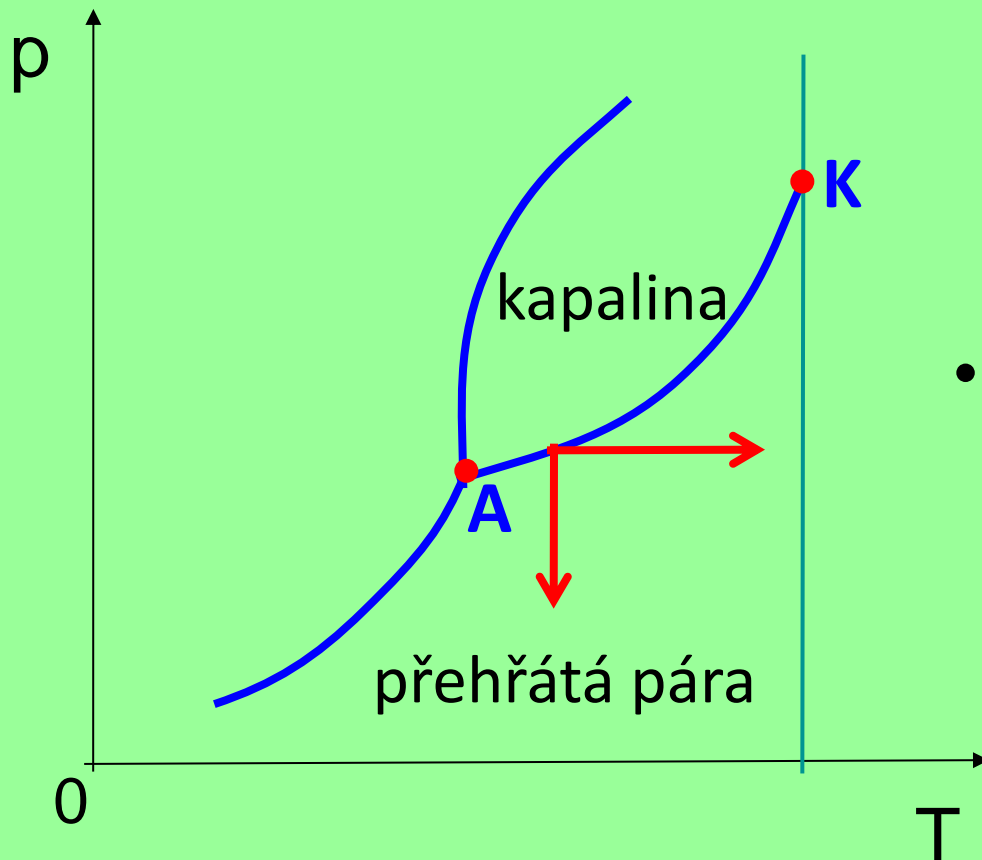


7. 7. FÁZOVÝ DIAGRAM

PŘEHŘÁTÁ PÁRA

má nižší tlak a hustotu než sytá pára téže teploty.

Vznik přehřáté páry:

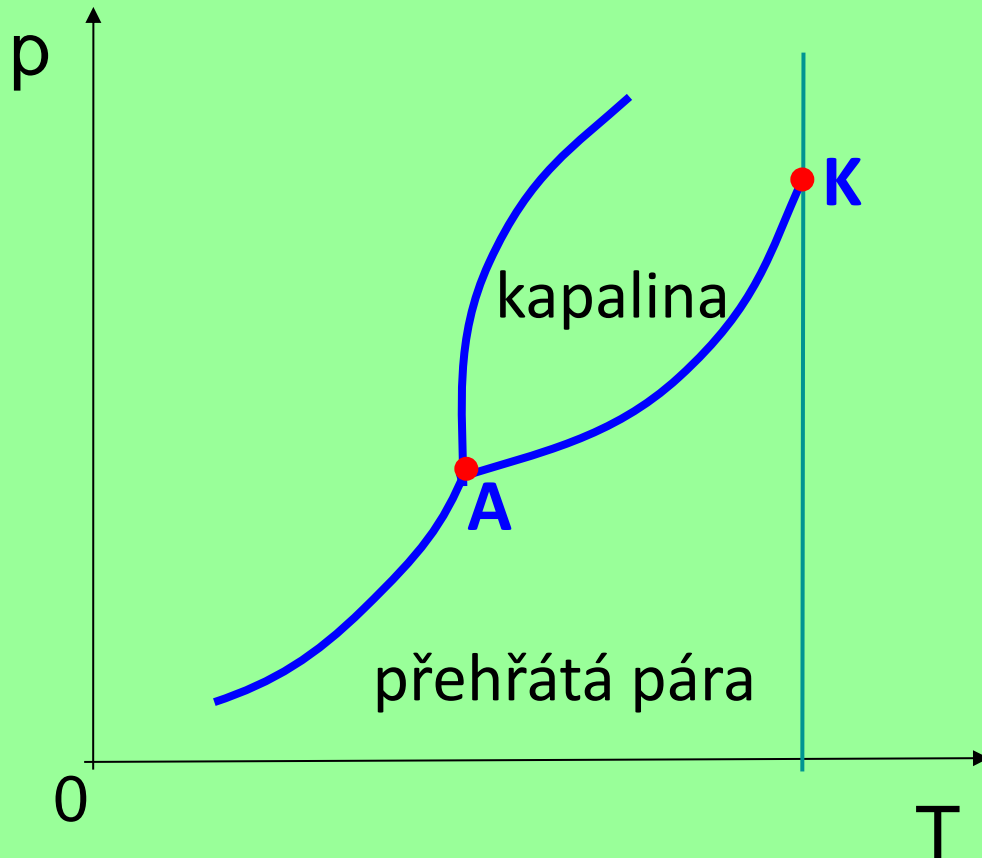


- zvětšením objemu ($\downarrow p$)
bez přítomnosti kapaliny
(při $T = \text{konst.}$)
- zahříváním syté páry
bez přítomnosti kapaliny
(při $p = \text{konst.}$)

7. 7. FÁZOVÝ DIAGRAM

PŘEHŘÁTÁ PÁRA

má nižší tlak a hustotu než sytá pára téže teploty.



Pro přehřátou páru
přibližně platí
stavová rovnice.

(Tím víc, čím víc se liší
od syté páry).

7. 7. FÁZOVÝ DIAGRAM

Přechody ve fázovém diagramu

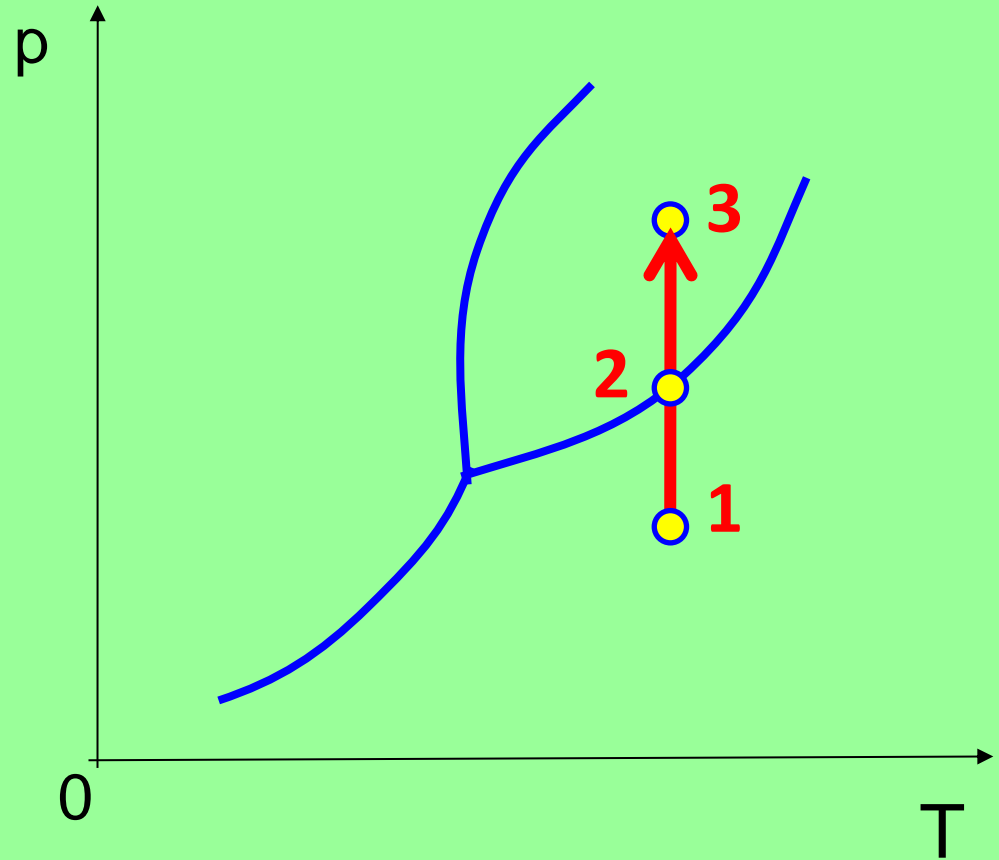
1-2-3

↑p (komprese)

1. přehřátá pára
2. sytá pára
3. kapalina

izotermický děj

($T = \text{konst.}$)



7. 7. FÁZOVÝ DIAGRAM

Přechody ve fázovém diagramu

4-5-6

↑T

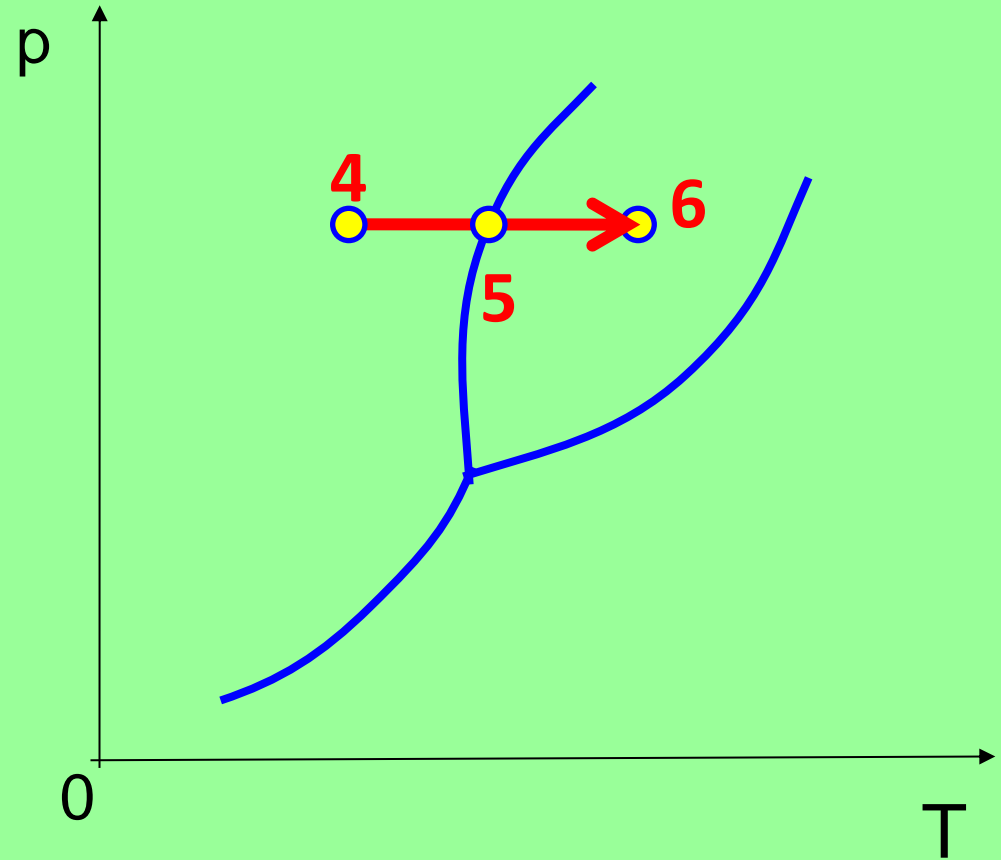
4. pevná látka

5. RS

6. kapalina

izobarický děj

($p = \text{konst.}$)



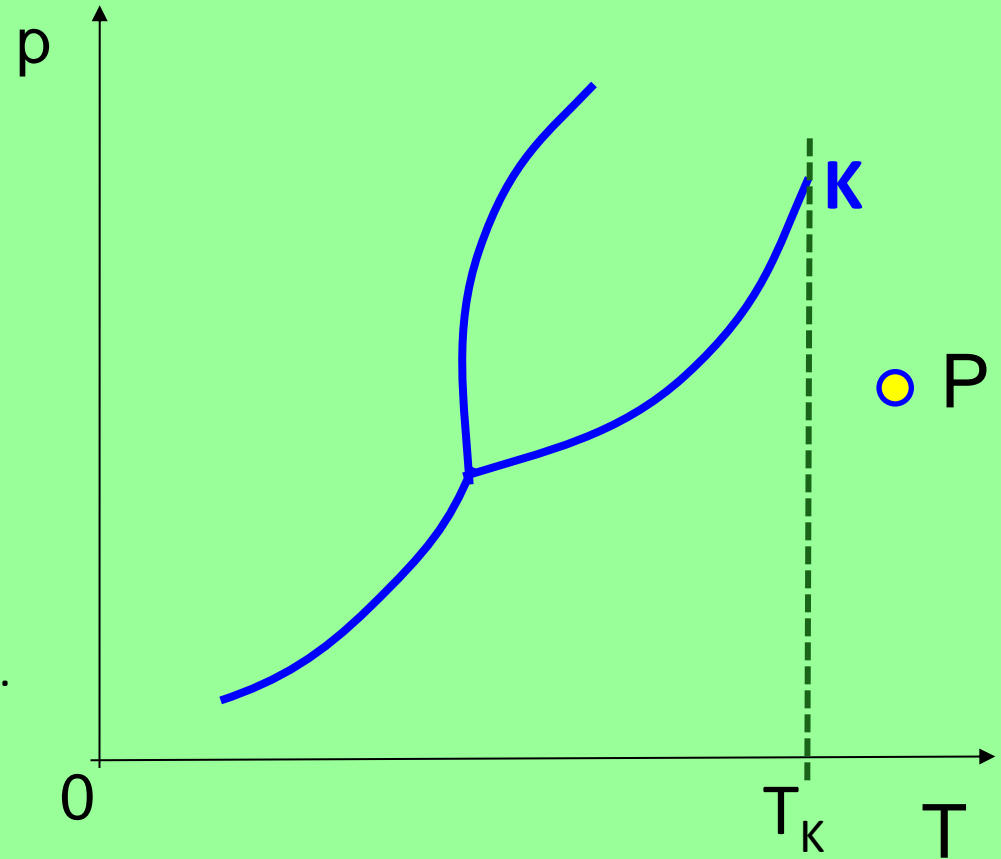
7. 7. FÁZOVÝ DIAGRAM

Přechody ve fázovém diagramu

P

rovnovážný stav
plynného skupenství
při $T > T_K$,

chceme-li látku zkapalnit,
je třeba ji ochladit pod T_K .



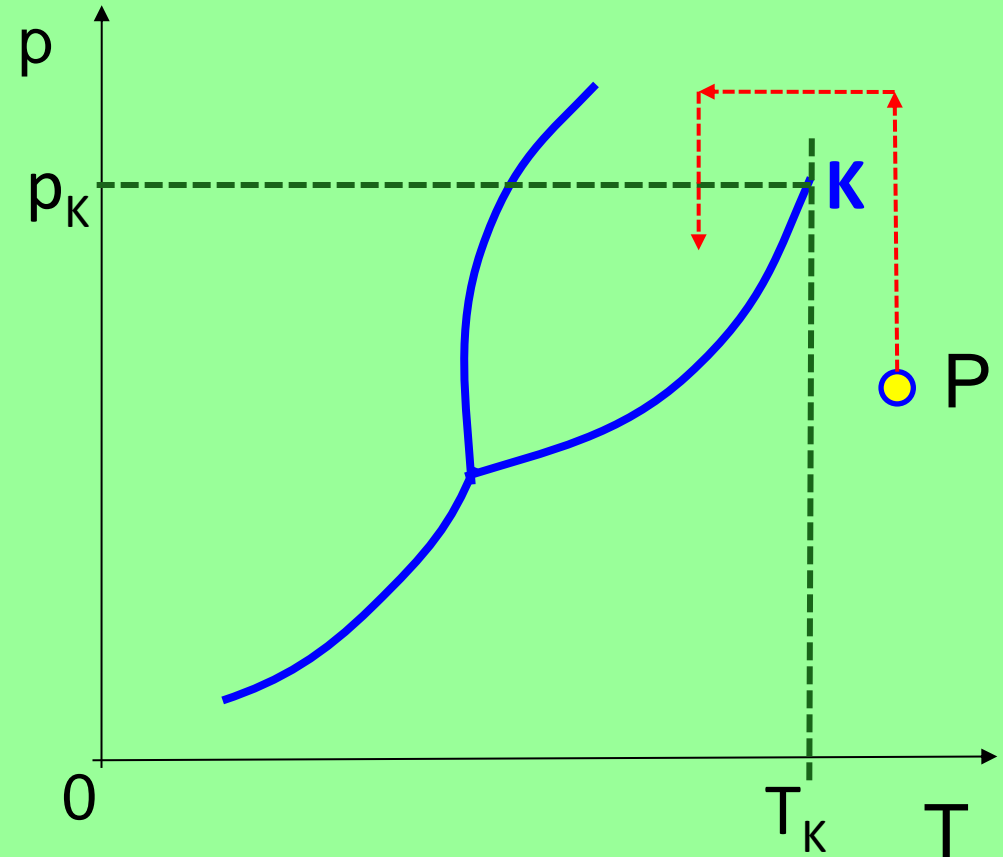
7. 7. FÁZOVÝ DIAGRAM

Přechody ve fázovém diagramu

P

plynulý přechod
bez pozorovatelné
změny skupenství

látka je stejnorodá



7. 8. CHLADICÍ STROJ A TEPELNÉ ČERPADLO

Chladnička, mraznička využívá snížení teploty kapaliny vypařováním za sníženého tlaku.

- **chladicí látka** (dřív freon dnes izobutan) se za sníženého tlaku vypařuje ve výparníku a při tom odebírá teplo Q_2 z chladicího prostoru
- na jiném místě chladicí látka kondenzuje při vyšším tlaku a odevzdává okolí teplo $L_{\text{kondenzace}}$

7. 8. CHLADICÍ STROJ A TEPELNÉ ČERPADLO

účinnost cyklu = chladicí faktor (topný faktor)

$$\tau_{ch} = \frac{Q_2}{W}$$

$$\tau_{ch} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

$$\tau_c = \frac{Q_1}{W}$$

W – práce vykonaná kompresorem

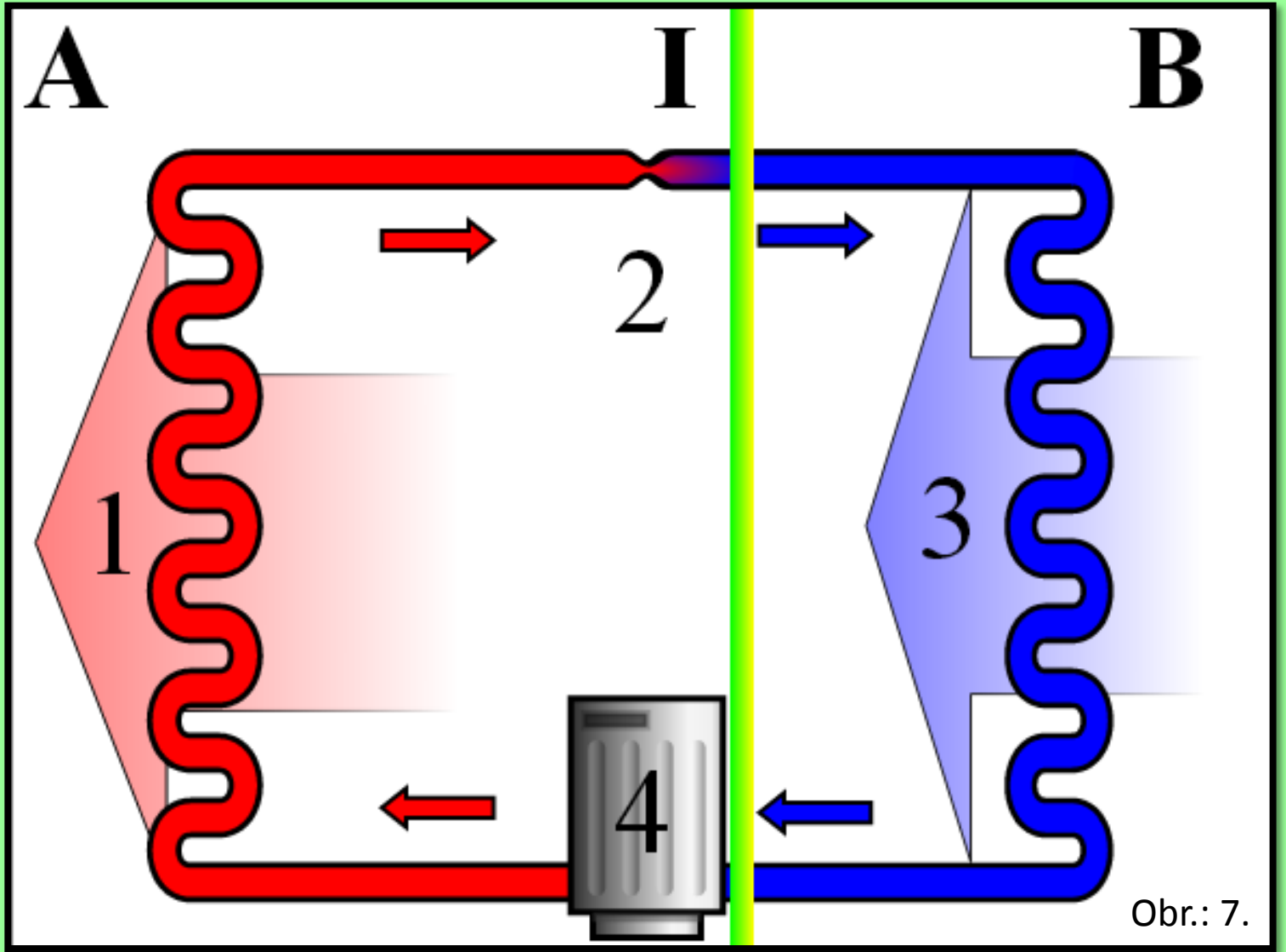
$Q_{2(1)}$ – teplo přijaté z chladničky
odevzdané v budově

T_1 – teplota okolí (vytápěný prostor)

T_2 – teplota v chladničce (výparník)

Tepelné čerpadlo pracuje na stejném principu.

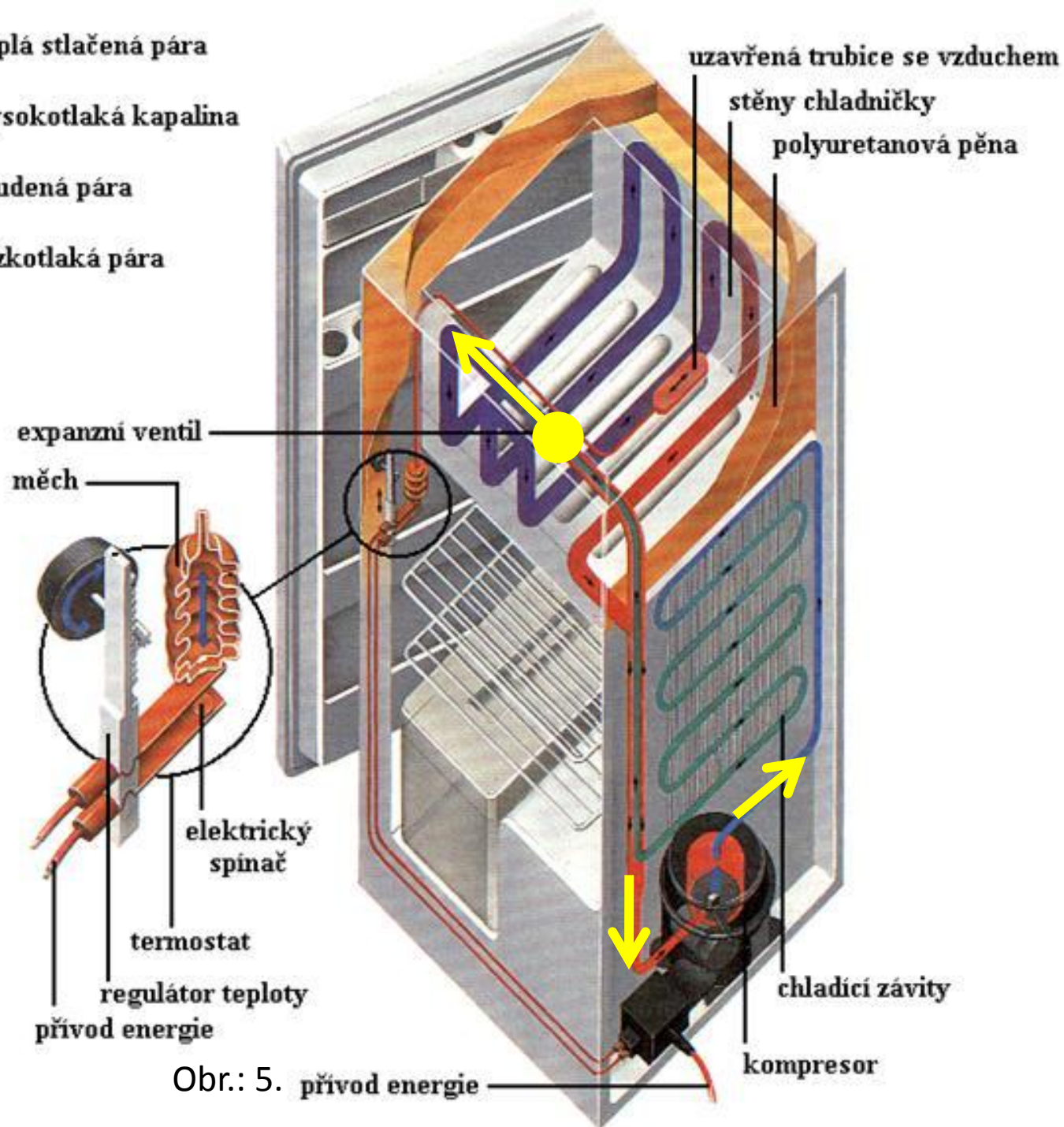
CH
L
A
D
N
I
Č
K
A



Obr.: 7.

CH L A D N I Č K A

- teplá stlačená pára
- vysokotlaká kapalina
- studená pára
- nízkotlaká pára



CH

- Chladící tekutina je hnána kompresorem trubkou ve tvaru smyčky vedené po zadní stěně chladničky.

L

- Cyklus začíná s chladící tekutinou ve formě nízkotlaké páry.

A

D

- Ta vstupuje do kompresoru a v něm se adiabaticky stlačuje na teplotu vyšší, než je teplota okolí chladničky.

N

- Ohřátá pára vycházející z kompresoru se ochlazuje v chladících závitech na zadní stěně chladničky.

I

Č

- Tady odevzdá pára teplo do okolního vzduchu a kondenzuje na kapalinu díky vysokému tlaku, pod kterým tekutina v trubkách proudí.

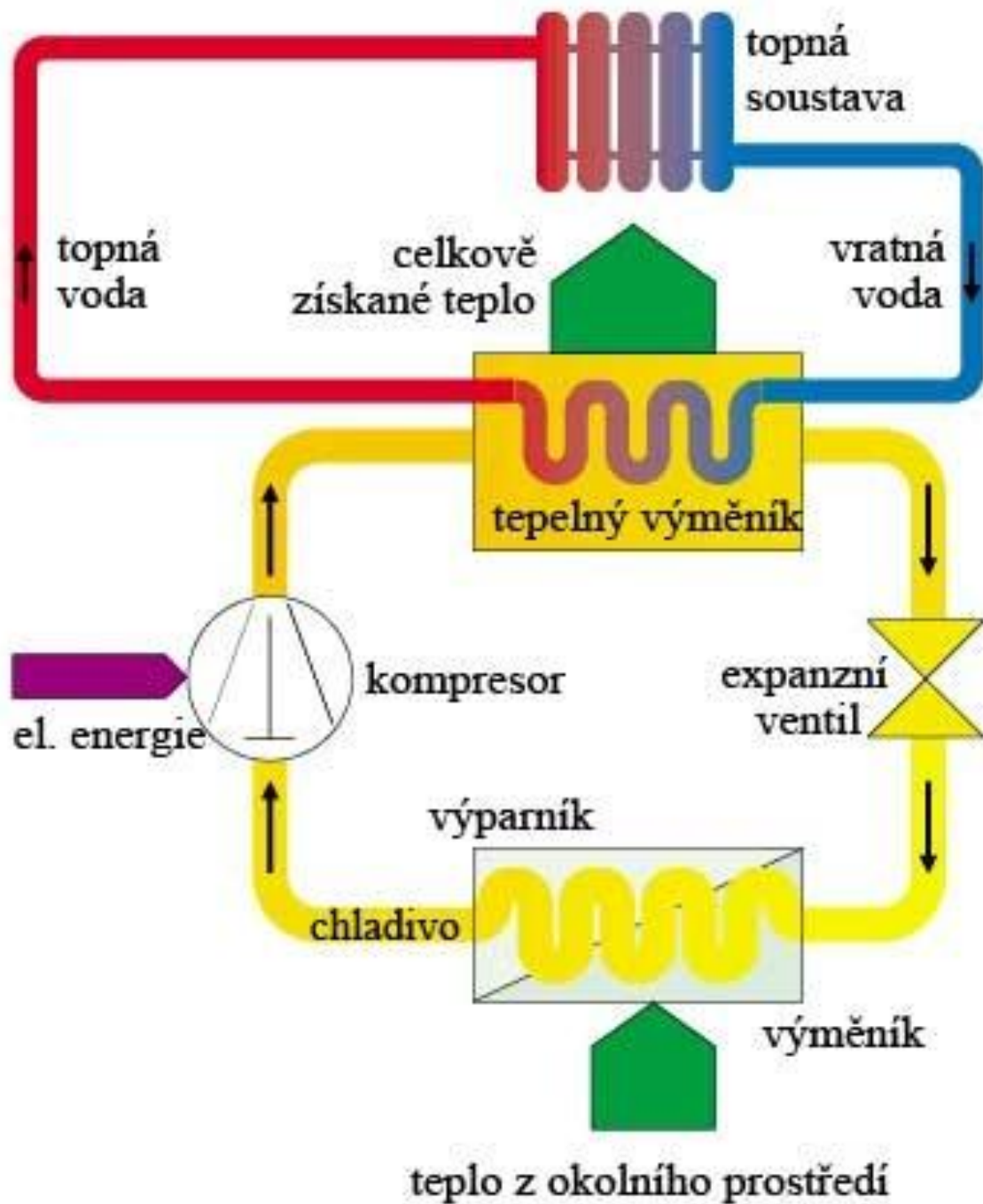
K

A

CHLADNÍČKA

- Zkondenzovaná kapalina pod tlakem prochází expanzním ventilem do výparníku, který je v chlazeném prostoru chladničky.
- Z výparníku kompresor odsává páry, které nad kapalinou vznikají.
- To vede k intenzivnějšímu vypařování kapaliny a k odebírání tepla (skupenského tepla kondenzačního) z prostoru výparníku.
- Teplota kapaliny v trubkách v prostoru výparníku proto klesá.
- Pára, která se v trubkách ve výparníku vypařila, má nižší teplotu, než je teplota okolního prostoru (výparníku). **Proto pára absorbuje teplo z prostoru výparníku a ohřívá se.**
- Z prostoru výparníku tak odebírá teplo a ochlazuje vnitřní prostory chladničky až na teplotu -20°C .
- Ohřátá pára se vrací do kompresoru a celý cyklus se opakuje.

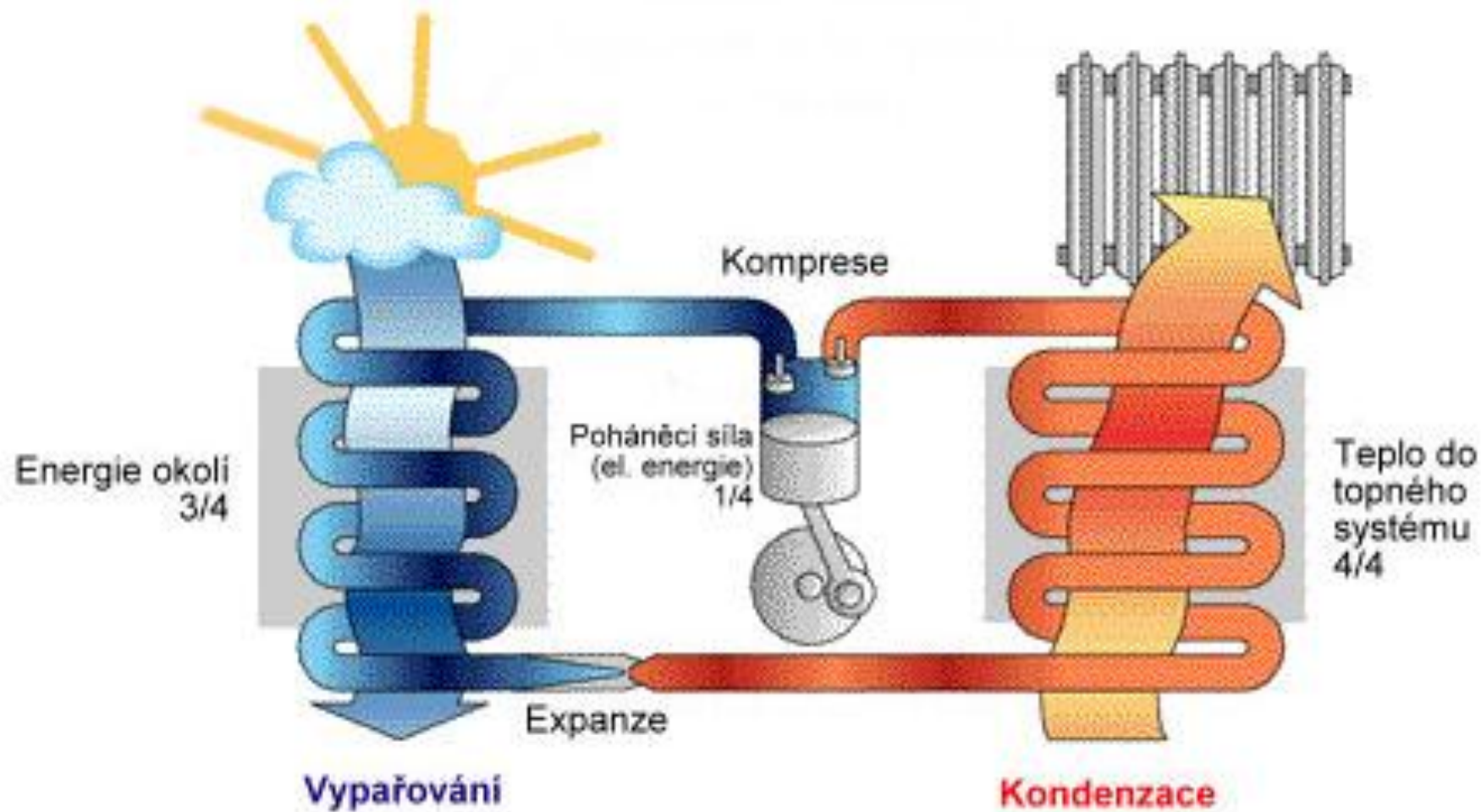
TEPELNÉ ČERPADLO



Tepelné čerpadlo funguje jako „obrácená“ chladnička.

- nemrznoucí směs odebírá energii z nízkopotenciálního zdroje (ze země, z vody nebo ze vzduchu)
- následně je směs stlačena kompresorem, a tím se zahřeje
- předá teplo do topného systému domu, ohřevu teplé vody, ...
- směs expanduje a vrací se zpět na začátek

**Čerpadlo odebírá teplo ze zdánlivě chladného okolí
a zásobuje jím obydlí.**



7. 9. VODNÍ PÁRA V ATMOSFÉŘE

Hmotnost vodní páry se mění během dne, roku a podle místa.

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

absolutní vlhkost vzduchu

vodní pára o hmotnosti m ve vzduchu o objemu V

$$[\Phi] = \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

určení vlhkosti

- vzduch necháme projít hygroskopickou látkou o m_1
- látka pohltí vodní páru a zvětší svou hmotnost na m_2

$$m = m_2 - m_1$$

7. 9. VODNÍ PÁRA V ATMOSFÉŘE

relativní vlhkost vzduchu udává, jak se stav vodní páry liší od stavu syté vodní páry

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

$$\varphi = \frac{p}{p_s} 100\%$$

p – tlak vodní páry

p_s – tlak syté vodní páry téže teploty

$$\phi = 0 \%$$

suchý vzduch

$$\phi_m = 100 \%$$

zcela nasycený

$$\phi = 50 \% - 70 \%$$

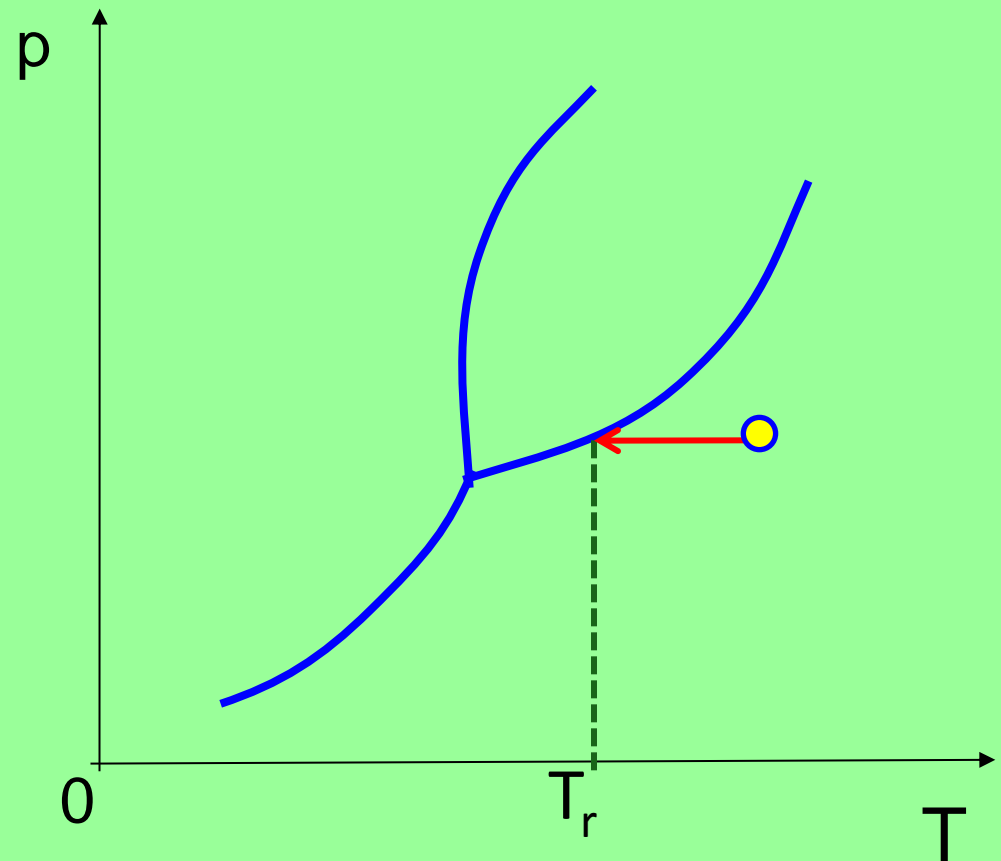
nejvhodnější pro člověka

7. 9. VODNÍ PÁRA V ATMOSFÉŘE

rosný bod – stav popsáný **teplotou rosného bodu t_r**

t_r – teplota, na kterou by bylo třeba izobaricky ochladit vzduch, aby se vodní pára stala sytou vodní parou

Při dalším snižování teploty už pára kapalní, vzniká rosa, mlha, při teplotách pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ jinovatka, sníh.

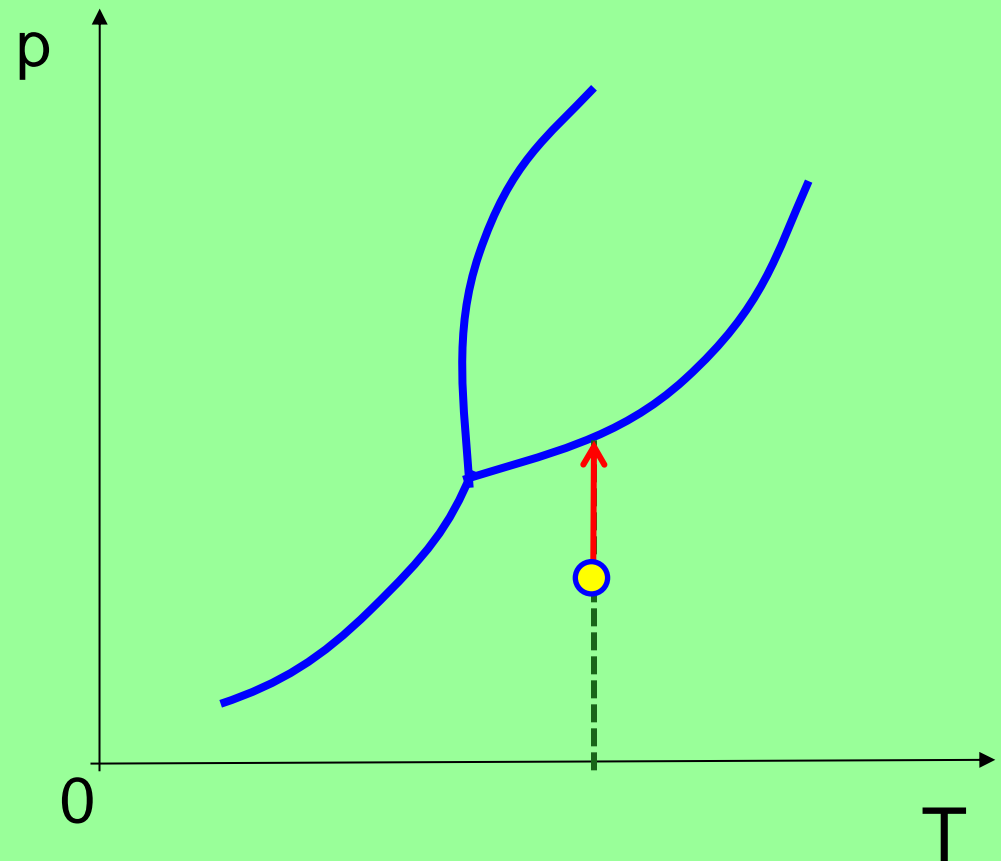


7. 9. VODNÍ PÁRA V ATMOSFÉŘE

Vodní pára je zpravidla přehřátá pára, stane-li se sytou parou, dosáhne nejvyšší možné vlhkosti vzduchu Φ_m při dané teplotě.

Při dalším ochlazení začne pára kapalnět
→ mlha, srážky.

Φ_{\max} = hustota syté páry
za téže teploty .
(- 50⁰ až 30⁰ v MFCHT)



7. 9. VODNÍ PÁRA V ATMOSFÉŘE

Relativní vlhkost měříme vlhkoměrem.

Vlasový vlhkoměr

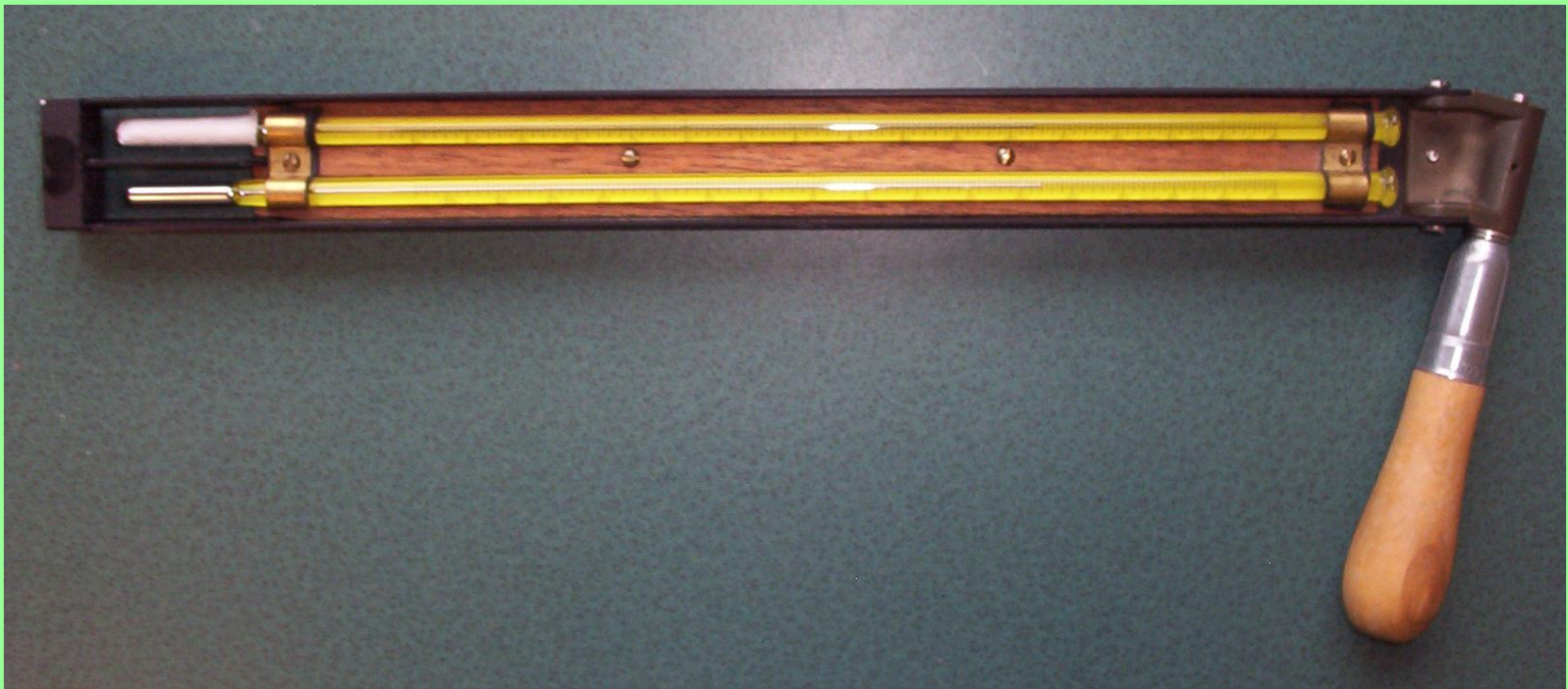
lidský vlas zbavený tuku
mění při změně vlhkosti
délku...



Obr.: 8.

7. 9. VODNÍ PÁRA V ATMOSFÉŘE

Psychrometr - dva teploměry, jeden vlhčen kapalinou. Vlhký teploměr ukazuje jinou teplotu než suchý, rozdíl teplot se nazývá psychrometrická diference a je nepřímo úměrná relativní vlhkosti.



Obr.: 9.

Problémové úlohy:

1) Proč taje ledovec odspodu?

Vlivem tlaku se snižuje teplota tání.

2) Je nebezpečnější opaření párou nebo stejně teplou vodou? Proč?

Párou.
Ta navíc předává tělu skupenské teplo kondenzační.

3) Jak zjistíte odkud vane vítr?

Nasliníme si prst... , prouděním vzduchu se odpařuje slina na jedné straně rychleji a cítíme chlad.

Problémové úlohy:

4) Proč se schnoucí sádra zahřívá?

...chemická reakce, kterou sádra přechází do nižšího energetického stavu a uvolňuje teplo do okolí.

5) Sifonové bombičky jsou po upotřebení studené a mokré? Proč?

Oxid uhličitý adiabatickou expanzí ochladí bombičku a na jejím povrchu kondenzuje vodní pára.

6) Proč se vrány v zimě houfují na zamrzlých rybnících?

Aby se ohřály. Led při tuhnutí uvolňuje skupenské teplo.

Problémové úlohy:

7) Proč jsou větší města častěji zahalena mlžným oparem?

V ovzduší je více prachových částic, kouře, saze, na kterých kondenzuje vodní pára.

8) Proč voda hasí oheň?

1) Vypařováním vody se látce odebere teplo.

2) Vodní pára má větší objem (1000 x) oproti vodě a vytlačí z prostoru ohně vzduch.

9) V oblasti vysokého tlaku je teplo a obloha bez mraků. Proč?

Vzduch se rozpíná do oblasti nízkého tlaku a na jeho místo proudí shora z atmosféry suchý vzduch, který se adiabatickou expanzí ohřívá.

Použitá literatura

Literatura

BARTUŠKA, K., SVOBODA, E. *Molekulová fyzika a termika, Fyzika pro gymnázia*. Praha: Prometheus, 2006.
ISBN 80-7196-200-7

LEPIL, O. *Sbírka úloh pro střední školy. Fyzika* Praha: Prometheus, 2010.
ISBN 978-80-7196-266-3

NAHODIL, J. *Fyzika v běžném životě*. Praha: Prometheus, 2010.
ISBN 80-7196-005-5

Obrázky:

[1] - [2] - Vlastní fotografie

[3] - [6] - Bouchalová Hana

[7] - *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-10-25].
Dostupné z: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/archive/6/6b/20101017200339%21Refrigerator-cycle.svg>

[8] - *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-10-25].
Dostupné z: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e9/Haar-Hygrometer.jpg>

[9] - *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-10-25].
Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/09/Sling_psychrometer.JPG



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato prezentace vznikla na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo: CZ.1.07/1.1.24/01.0114
s názvem
„PODPORA CHEMICKÉHO A FYZIKÁLNÍHO VZDĚLÁVÁNÍ NA GYMNÁZIUMU KOMENSKÉHO V HAVÍŘOVĚ“

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.