

## 2.6.6 Sytá pára

### Předpoklady: 2604

Opakování: Kapaliny se vypařují za každé teploty. Nejrychlejší částice unikají z kapaliny a stává se z nich pára.

Do misky nalijeme vodu  $\Rightarrow$  voda se postupně vypařuje  $\Rightarrow$  nakonec zůstane miska prázdná, všechna voda se vypaří.

**Př. 1:** Vysvětli, proč se stolní voda uzavřená v PET lahvi nevypaří (na rozdíl od vody nalité do misky a ponechané na stole).

Vypařené molekuly nemohou opustit uzavřenou láhev  $\Rightarrow$  postupně jich přibývá  $\Rightarrow$  přibývá molekul vody, které se vrací ze vzduchu do kapaliny  $\Rightarrow$  po určité době přestane kapalných molekul ubývat a voda se přestane vypařovat.

Zkoumáme děj podrobněji:

Čerstvě uzavřená láhev: prostor nad kapalinou obsahuje málo vypařených částic  $\Rightarrow$  kapalinu opouští více částic, než se do ní vrací  $\Rightarrow$  ubývá kapaliny (kapalina se vypařuje).

Vypařené částice nemohou opustit uzavřenou láhev  $\Rightarrow$

- postupně přibývá vypařených molekul,
- zvyšuje se tlak páry,
- zvětšuje se počet částic páry, které se vracejí do kapaliny,

$\Rightarrow$  rychlost vypařování se zmenšuje  $\Rightarrow$  po určité době se vypařování zastaví – do kapaliny se vrací stejné množství částic, jak kapalinu opouští  $\Rightarrow$  **pára je v rovnovážném stavu s kapalinou** (množství kapaliny i páry se nemění). Pára, která je v rovnovážném stavu se svou kapalinou, se nazývá **sytá pára** (sytá, protože se už do ní nevejdou další částice kapaliny).

**Př. 2:** Vysvětli, jak se změní rovnováha uvnitř sklenice, pokud zvětšíme objem prostoru, který vyplňuje pára.

Zvětšíme objem páry  $\Rightarrow$  sníží se její tlak, hustota částic a tak i množství částic, které se vrací do kapaliny  $\Rightarrow$  vypaří se další část kapaliny, dokud se tlak (a tím i množství vracejících se částic) nevrátí na původní úroveň.

**Tlak syté páry při stálé teplotě nezávisí na objemu páry  $\Rightarrow$  při dané teplotě je tlak syté páry vždy stejný.**

**Př. 3:** Vysvětli, jak se změní rovnováha uvnitř sklenice, pokud zvýšíme teplotu.

Vyšší teplota  $\Rightarrow$  částice kapaliny se pohybují rychleji  $\Rightarrow$  více vypařených částic  $\Rightarrow$  kapalina se opět vypařuje  $\Rightarrow$  zvyšuje se tlak páry a počet vracejících se částic  $\Rightarrow$  rovnováha se časem obnoví při vyšším tlaku (více částic páry s větší rychlostí).

**Př. 4:** Vysvětli, jak se změní rovnováha uvnitř sklenice, pokud:  
a) zmenšíme objem, který vyplňuje pára,  
b) snížíme teplotu.

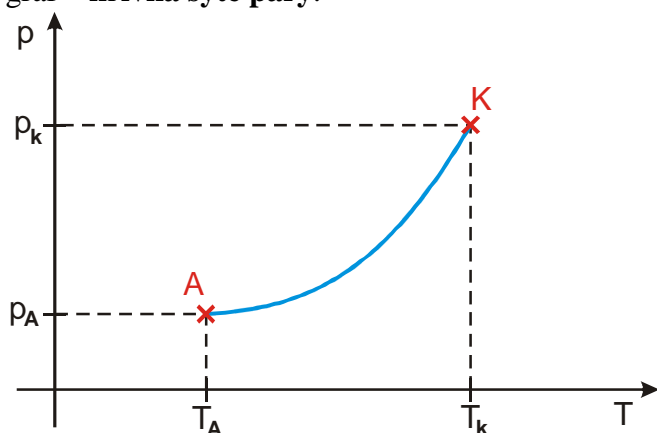
a) Zmenšíme objem, který vyplňuje pára.

Zmenšení objemu  $\Rightarrow$  větší tlak páry, větší hustota částic  $\Rightarrow$  více částic, které se vrací do kapaliny  $\Rightarrow$  probíhá kondenzace páry  $\Rightarrow$  snižuje se tlak a hustota páry.

b) Snížíme teplotu.

Snížení teploty  $\Rightarrow$  méně částic, které opouštějí kapalinu  $\Rightarrow$  částic, které se vrací do kapaliny je více  $\Rightarrow$  probíhá kondenzace páry  $\Rightarrow$  snižuje se tlak a hustota páry.

Rovnováha mezi sytou párou a její kapalinou nezáleží na objemu a při dané teplotě se ustaví vždy při stejném tlaku  $\Rightarrow$  pro každou teplotu máme odpovídající hodnotu tlaku syté páry  $\Rightarrow$  graf – **křivka syté páry**.



Zobrazuje všechny možné rovnovážné stavy kapaliny a její syté páry.

Levý dolní krajní bod A: nejnižší teplota  $T_A$  a nejnižší tlak, při kterém jsou kapalina a její sytá pára v rovnováze (trojný bod, více v další hodině).

**Př. 5:** Rozhodni, jak se bude při zvyšování teploty měnit hustota kapaliny a jak hustota její syté páry.

Hustota kapaliny klesá (při zvyšování teploty se zvětšuje objem kapalin).

Hustota syté páry roste (zvyšuje se počet vypařených částic).

Během zahřívání kapaliny a její syté páry sice existuje jasné rozhraní mezi kapalinou a párou, ale jejich hustoty se postupně sblíží  $\Rightarrow$  při určité teplotě a určitém tlaku zmizí rozdíl mezi párou a kapalinou. V tomto bodě končí křivka syté páry – **kritický bod (K)**.

Kritický bod popisuje kritický stav látky:

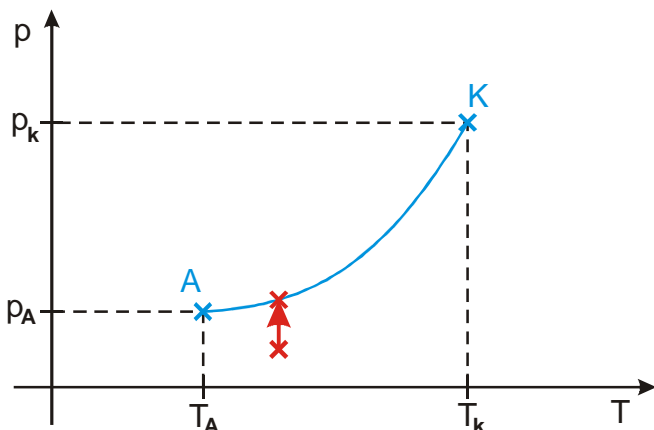
- kritická teplota  $T_k$ ,
- kritický tlak  $p_k$ ,
- kritická hustota  $\rho_k$ .

Různé látky mají různé kritické body.

- Voda:  $T_k = 647,3 \text{ K} = 374,15^\circ\text{C}$ ,  $p_k = 22,13 \text{ MPa}$ ,  $\rho_k = 315 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .
- Kyslík:  $T_k = 155 \text{ K} = -119^\circ\text{C}$ ,  $p_k = 5 \text{ MPa}$ .

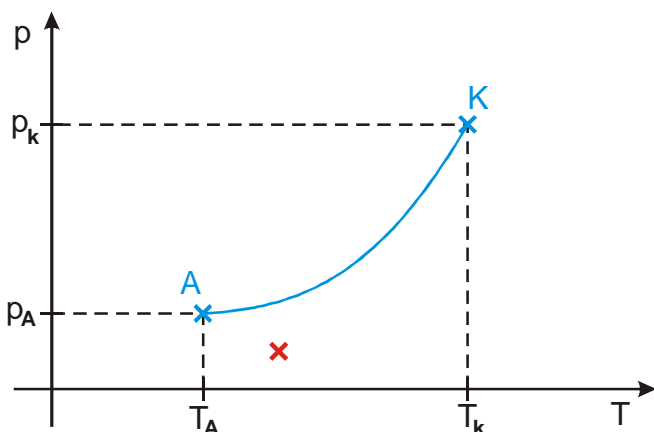
- Zlato:  $T_k = 7250 \text{ K} = 6977^\circ\text{C}$ ,  $p_k = 510 \text{ MPa}$ .

**Př. 6:** Zakresli do diagramu s křivkou syté páry následující děj. Do nádoby nalijeme trochu vody a nádobu uzavřeme. Předpokládej, že tlak vodní páry v nádobě byl v okamžiku uzavření nádoby podstatně menší než tlak syté páry při této teplotě. Teplota se nemění, voda se nevypaří.



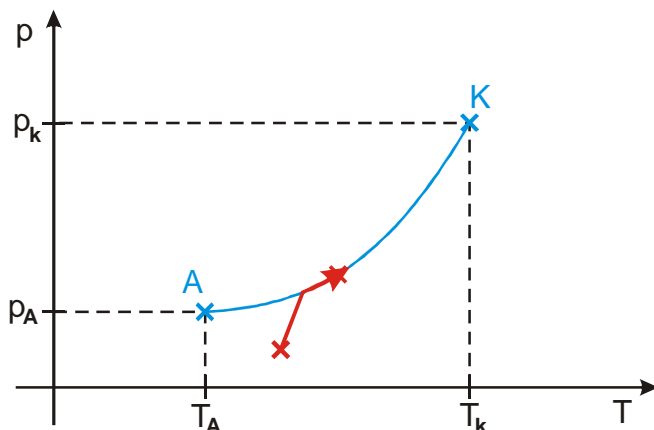
Po uzavření nádoby se voda začne ihned vypařovat a začne růst tlak a hustota páry, až do chvíle, kdy se pára nasatí. Na grafu zobrazíme děj jako svislou šipku (teplota se nemění, tlak roste), která končí na křivce syté páry.

**Př. 7:** Zakresli do diagramu s křivkou syté páry následující děj. Do misky v místnosti nalijeme trochu vody. Předpokládej, že místnost je větraná a vypařování vody z misky v místnosti nezvýší tlak vodní páry. Teplota se nemění.



Teplota ani tlak páry se během vypařování nemění  $\Rightarrow$  celý děj v diagramu reprezentován jediným bodem. Tlak páry je menší než tlak syté páry  $\Rightarrow$  bod leží pod křivkou syté páry.

**Př. 8:** Zakresli do diagramu s křivkou syté páry následující děj. Do Papinova hrnce nalijeme vodu a hrnec zahříváme na vařiči.



Teplota i tlak páry se během ohřívání zvětšují  $\Rightarrow$  bod, kterým zakreslujeme děj, se posouvá doprava nahoru, po dosažení křivky syté páry, stoupá po křivce až k místu největší teploty, které voda během vaření dosáhne.

Za normálních okolností má pára ve vzduchu menší tlak a hustotu než sytá pára  $\Rightarrow$  říkáme, že jde o **přehřátou páru**.

### Veličiny popisující obsah vodní páry v atmosféře

Absolutní vlhkost vzduchu:  $\Phi = \frac{m}{V}$  ( $V$ - objem vzduchu,  $m$ - hmotnost vodní páry).

Hmotnost vodní páry ve vzduchu zjišťujeme nejčastěji tak, že necháme vzduch projít hygroskopickou látkou (látkou, která pohlcuje vodní páru) a určíme změnu hmotnosti této látky (která se rovná hmotnosti vodní páry ve vzduchu).

Stejnou absolutní vlhkost vzduchu vnímáme za různých teplot různě  $\Rightarrow$  více než na absolutní vlhkosti záleží naše pocity i rychlost vypařování na tom, jak moc se liší absolutní vlhkost od absolutní vlhkosti syté páry při stejné teplotě.

$\Phi_m$  - absolutní vlhkost syté páry při dané teplotě, nejvyšší možná absolutní vlhkost při dané teplotě, voda již začíná kondenzovat

**Relativní vlhkost vzduchu:**  $\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_m} \cdot 100\%$

relativní vlhkost vzduchu:

- 100% - se rovná vlhkosti syté páry  $\Rightarrow$  voda začíná kondenzovat,
- 50% - 70% ideální rozmezí vlhkosti pro člověka.

### Tlak a hustota sytých vodních par na teplotě

$t [^{\circ}\text{C}]$	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
$p [10^2 \text{ Pa}]$	2,60	4,01	6,11	8,67	12,3	17,1	23,3	31,7	42,4	56,3	73,7
$\rho [\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$	2,14	3,24	4,84	6,8	9,4	12,8	17,3	23,3	30,3	39,6	51,2

**Př. 9:** Při teplotě 25°C se hmotnost hygroskopické látky zvětšila po průchodu 5 m<sup>3</sup> o 45 g. Urči absolutní a relativní vlhkost vzduchu.

Hustota syté páry se udává v g · m<sup>-3</sup> ⇒ hmotnost nebudeme převádět.

$$\Phi = \frac{m}{V} = \frac{45}{5} \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} = 9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$$

Hustota syté páry při 25°C je 23 g · m<sup>-3</sup>.

$$\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_m} \cdot 100\% = \frac{9}{23} \cdot 100\% = 39\%$$

Absolutní hodnota vlhkosti měřeného vzduchu byla 9 g · m<sup>-3</sup>, relativní 39%.

**Teplota rosného bodu** – teplota, na kterou bychom museli izobaricky ochladit vzduch o neměnné absolutní vlhkosti, aby se stal sytou párou (při dalším snížení teploty, by pak pára začala kondenzovat ⇒ jde tedy o teplotu, na kterou musíme ochladit vzduch, aby se začala tvořit rosa).

**Př. 10:** Urči přibližně teplotu rosného bodu pro vzduch z předchozího příkladu.

Vzduch z předchozího příkladu má absolutní vlhkost 9 g · m<sup>-3</sup>. V tabulce hledáme sloupec se stejnou hodnotou absolutní vlhkosti

$t [^{\circ}\text{C}]$	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
$p [10^2 \text{ Pa}]$	2,60	4,01	6,11	8,67	12,3	17,1	23,3	31,7	42,4	56,3	73,7
$\rho [\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$	2,14	3,24	4,84	6,8	9,4	12,8	17,3	23,3	30,3	39,6	51,2

⇒ teplota rosného bodu vzduchu absolutní vlhkosti 9 g · m<sup>-3</sup> se pohybuje okolo 9°C.

**Shrnutí:**