

## 3. Fázové přeměny

### 3.1 Tání a tuhnutí

#### Tání

Dodáváme-li tělesu teplo, roste pohybová energie jeho částic. Částice kmitají v mřížce – zvýší se rychlost kmitání. Při určitých rychlostech se částice stávají volnými – **těleso taje** (mění se na kapalinu). Teplota při níž děj nastává – **teplota tání**. Čím jsou vazby pevnější, tím je vyšší teplota tání. Teplota tělesa stoupá až k bodu tání, pak se nemění tak dlouho dokud látka nepřejde v kapalinu a pak opět začne růst.

Teplo, které látka přijímá na tání se spotřebuje na uvolňování částic z vazeb – měrné skupenské teplo tání  $l_t$ .

#### Tuhnutí

Při ochlazení kapalně látky se začínají částice k sobě vázat a látka přechází do skupenství pevného při teplotě tuhnutí. Je to opak tání.

#### Měrné skupenské teplo tání (tuhnutí)

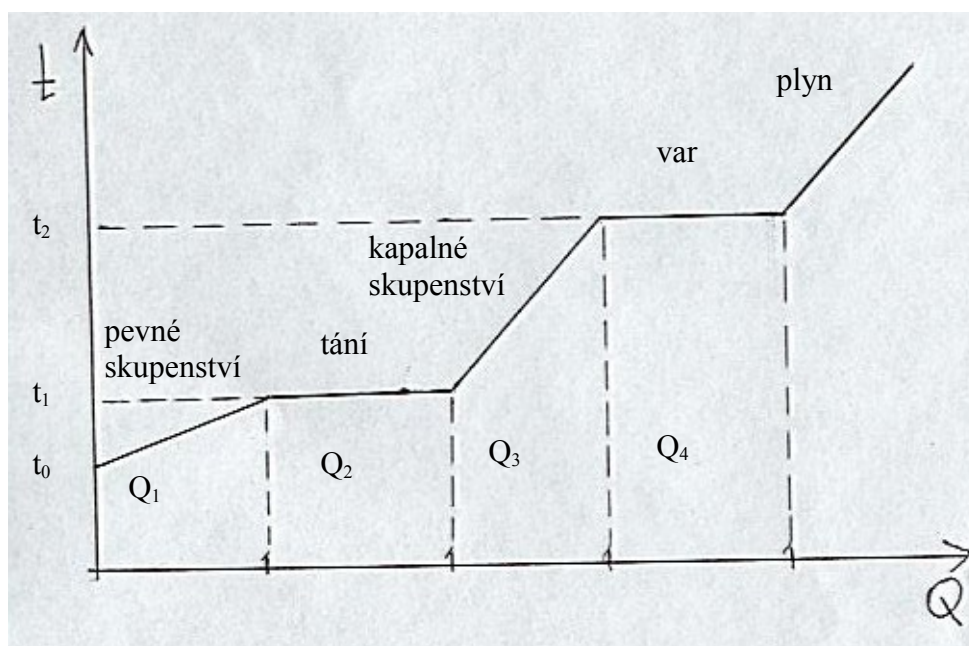
Měrné skupenské teplo tání (tuhnutí) je množství tepla, které je třeba dodat (ubrat) jednomu kg látky při teplotě tání (tuhnutí), aby se přeměnila v kapalinu (tuhou látku) téže teploty. Ozn.  $l_t$ . Měrné skupenské teplo tání tuhé látky můžeme vypočítat z kalorimetrické rovnice.

Při výpočtech můžeme počítat v jednotkách joule ale pro nás je vhodnější počítat v jednotkách kilokalorie (kcal).

#### Přehledová tabulka

$c_{H_2O}$	$4186,5 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$1 \text{ kcal kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$c_{\text{ledu}}$	$2093,25 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$0,5 \text{ kcal kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$l_t$	$334920 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$80 \text{ kcal kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$l_v$	$2252337 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$538 \text{ kcal kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

**Graf průběhu teploty při tání a vypařování (pro tuhnutí a kapalnění je graf opačný)**



$t_0$  – počáteční teplota

$t_1$  – teplota tání

$t_2$  – teplota varu

$t$  – aktuální teplota

$Q_1$  – teplo ohřeje látku na teplotu tání  $Q_1 = m c_1 (t - t_0)$

$Q_2$  – teplo zajistí tání látky  $Q_2 = m l_t$

$Q_3$  – teplo ohřeje látku na teplotu varu  $Q_3 = m c_2 (t - t_1)$

$Q_4$  – teplo zajistí var látky  $Q_4 = m l_v$

Může se stát, že  $t = t_1$  či  $t = t_2$ .

### 3.2 Vypařování a var

Každá kapalina v otevřené nádobě se vypařuje. Vypařování probíhá při každé teplotě a s rostoucí teplotou se zrychluje. Při vypařování se látka vypařuje z hladiny kapaliny.



Podívejme se na Torricelliho pokus. Do trubice se rtuť vpravme zespolu trochu kapaliny (éteru). Zdviháme-li trubici tak, že její otevřený konec zůstává ponořen ve rtuť, zvětšuje se objem par éteru nad kapalinou, další éter se vypaří, avšak přetlak par, vyjádřený hydrostatickým tlakem rtuťového sloupce, se nemění, pokud je teplota stálá a pokud se všechen éter nevypaří do uzavřeného prostoru. Při snižování trubice éter kapalný a přetlak par nad kapalinou zůstává stálý.

Pára, která nemění tlak při změně objemu je **pára sytá**.

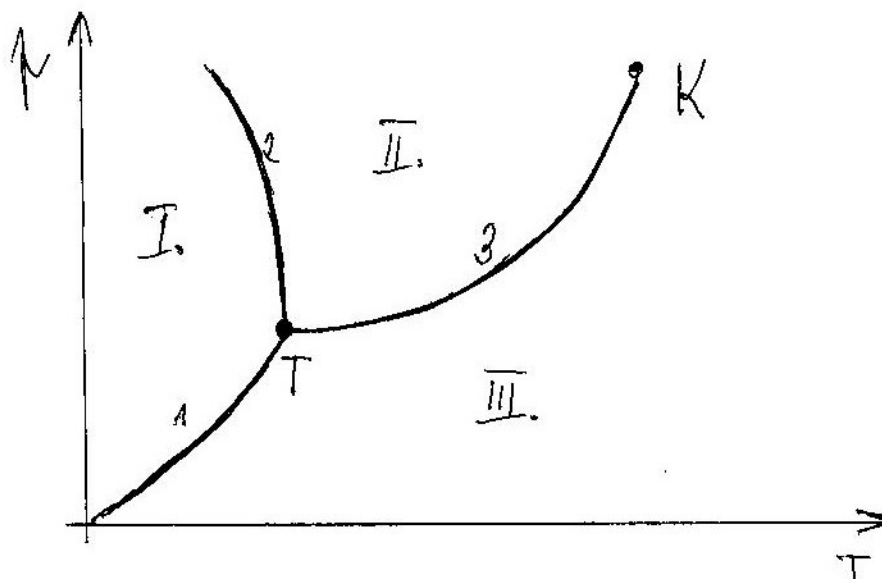
Sytá pára mění tlak s teplotou (roste). Když se tlak sytých par rovná vnějšímu tlaku, mění se kapalina v páru v celém svém objemu – **var kapaliny**. Daná teplota – **teplota varu**.

Teplota varu při normálním tlaku – **normální teplota varu**.

S rostoucí tlakem teplota varu roste.

Při vypařování se kapalina ochlazuje. Aby teplota kapaliny byla stálá, je třeba ji dodat teplo. Teplo potřebné k tomu, aby se 1 kg vroucí kapaliny proměnil v nasycenou páru téže teploty, se nazývá měrné skupenské teplo varu.

### 3.3 Fázový diagram



shuzestvo: I. plyne, II. kapalne, III. plyne

Rovnovážný stav při zvolené teplotě existuje jen při tlaku sytých par, je tedy určen dvěma parametry: teplotou a tlakem. Křivka závislosti tlaku sytých par na teplotě (křivka 3 – křivka sytých par) je hraniční mezi kapalnou a plynnou fází těže látky a končí v bodě K (kritický bod).

Tuhá látka a její kapalina za teploty tání (tuhnutí) tvoří rovnovážnou soustavu za určitého tlaku, nepřivádíme-li nebo neodebíráme-li teplo. Zvýšení tlaku se rovnováha poruší a obnoví se zvětšením objemu buď tuhé látky nebo její kapaliny.

Zvýšení tlaku napomáhá přechodu látky do skupenství s menší hustotou. Stlačený led se promění ve vodu. U látek  $\rho_{tuh} < \rho_{kap}$  se teplota tání zvýšením tlaku zvýší. Křivka a udává závislost mezi teplotou a tlakem v rovnovážné soustavě (tuhá látka a její kapalina).

Tuhá látka se rovněž vypařuje (sublimace) a označuje jí křivka 1 (sublimační křivka).

Spojíme-li graf 1, 2, 3 dostaneme fázový diagram. Všechny křivky se spojují v jednom bodě T – **trojný bod**.

### Trojný bod

Určuje rovnovážný stav soustavy složené ze všech tří fází jedné látky. Teplota vody v trojném bodě je  $t_{tr} = 0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$ , tlak nasycených pak  $p_{tr} = 609 \text{ Pa}$ . Měří se přesně, kvůli přesnému stanovení základního bodu  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

## 3.4 Zkapalňování plynů

Dokud nebyl znám význam  $t_k$  byl předpoklad, že některé plyny (O, N, H, He) se nedají zkapalnit. Každý plyn se možno zkapalnit ochlazením pod  $t_k$ .

Existuje několik metod, kterými se ochlazují plyny pod kritickou teplotu:

1. Adiabatické rozpínání stačí na zkapalnění plynu s vysokou kritickou teplotou.
2. Značného ochlazení dosáhneme varem za sníženého tlaku některý zkapalněných plynů, např.  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{SO}_2$ .
3. Rozpínání plynu, ochlazeného na určitou teplotu a proudícího ventilem vyplněného vatou, který se ochlazuje.

## 3.5 Vlhkost vzduchu

Při styku vody se vzduchem se voda vypařuje do vzduchu a vzduch s ve vodě rozpouští. Za každé teploty obsahuje vzduch vždy vodní páry – **vlhkost**.

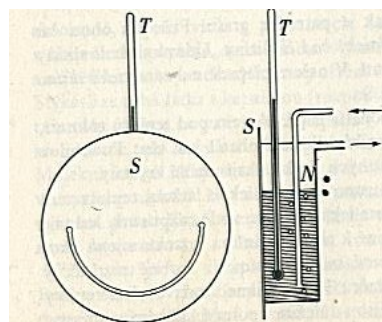
Absolutní vlhkost vzduchu je dána poměrem hmotnosti vodních par v daném objemu vzduchu. Absolutní vlhkost vzduchu je definována:  $\Phi = \frac{m}{V}$ .

Páry při absolutní vlhkosti vzduchu jsou při teplotě vzduchu přehřáté, jsou však syté po rosný bod.

### Rosný bod

Rosný bod (teplota rosného bodu) je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami (relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100 %). Pokud teplota klesne pod tento bod, nastává kondenzace.

### Měření rosného bodu



Rosný bod měříme Lambrechtovým hygrometrem (vlhkoměrem). S – vyleštěná kovová plocha. V nádobce je éter, jímž proháníme vzduch. Tím se urychluje odpařování éteru a též ochlazování nádobky. Klesne-li teplota nádobky na rosný bod, stěna S se orosí. V tom okamžiku změříme teplotu éteru – dostaneme teplotu  $t_r$ .

Absolutní vlhkost závisí na teplotě (s rostoucí teplotou roste).

V praxi se definuje relativní vlhkost:  $\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_m} \cdot \Phi_m$  - maximální vlhkost při dané teplotě.

Relativní vlhkost se měří vlhkoměry.

### 3.5 Děje v ovzduší

Část atmosféry do 10-11 km se nazývá troposféra. V ní probíhají děje důležité pro počasí. Ochlazením vzduchu na rosny bod vodních par vznikají v ovzduší kondenzační procesy (mraky) a srážky. Pro změny teploty vzduchu v troposféře jsou důležité tři děje:

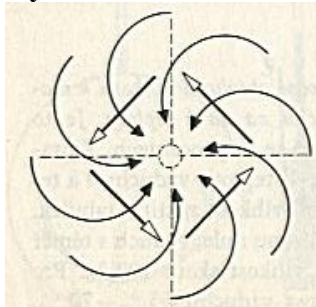
1. tepelné záření vysílané povrchem Země,
2. vypařování a adiabatické rozpínání vlhkého vzduchu při výstupu do oblasti nižšího tlaku ve větších výškách,
3. míchání teplého a studeného vzduchu.

Bílé kupovité mraky jsou viditelným zakončením vystupujícího vlhkého vzdušného proudu. Kapalnění nastává na spodní straně mraku (šedivé základně). Mraky jsou tvořeny malými vodními kapičkami, které kondenzovaly na částech prachu.

Podle tvaru rozlišujeme tyto mraky:

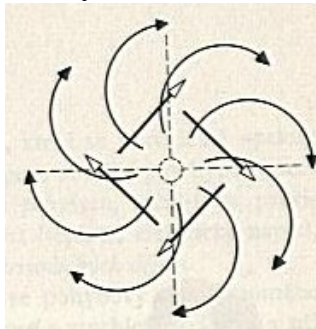
1. řasy – jsou to bílé, vláknité mraky, které sahají až za hranici troposféry. Jsou tvořeny ledovými krystalky.
2. kupy – kupovité mraky.
3. slohy – hladké šedivé mraky ve výšce 1-3 km.
4. dešťové mraky – beztvaré šedivé mraky s roztrhanými okraji.

#### Cyklóna – tlaková níže



Je to oblast se sníženým tlakem vzduchu. Protože poměr hustot vodní páry a suchého vzduchu je 0,6, způsobují vzdušné vrstvy pokles tlaku. Nastane-li ve vzduchu tlakový spád, vzniká pohyb vzduchu – vítr.

#### Anticyklóna – tlaková výše



Je to oblast se zvýšeným tlakem vzduchu. Ochlazený vzdušný proud sestupující z oblasti nízkého tlaku může vytvořit oblast vysokého tlaku a tím i opačný vzdušný vír.