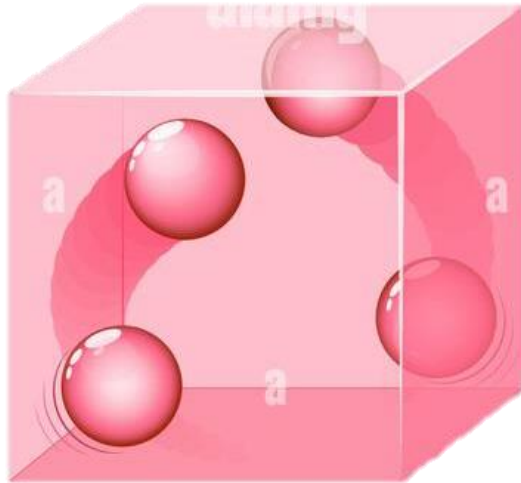
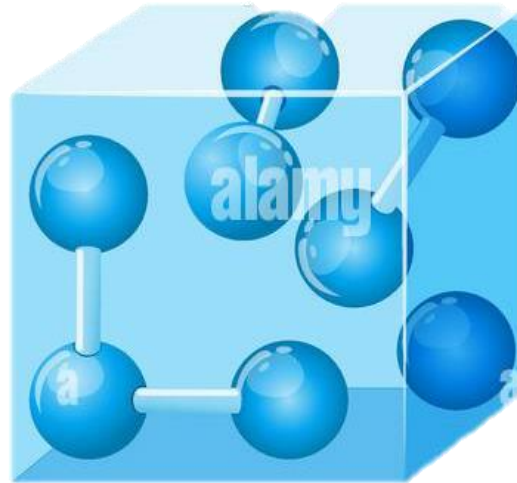


VLASTNOSTI PLYNŮ, PEVNÝCH LÁTEK A KAPALIN

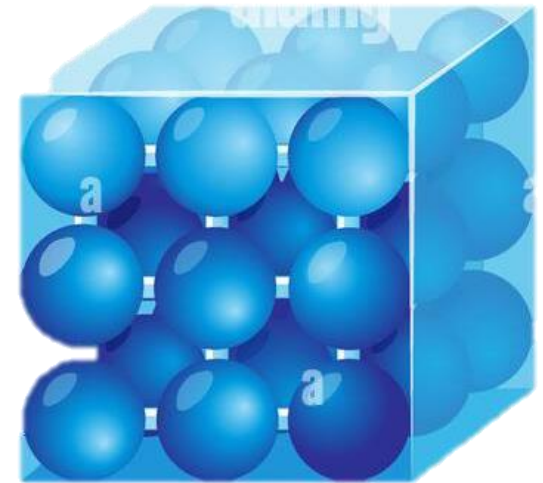
Gas



Liquid



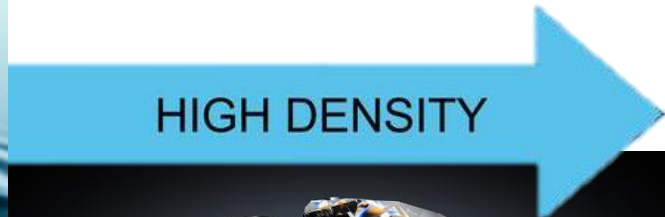
Solid



LOW DENSITY



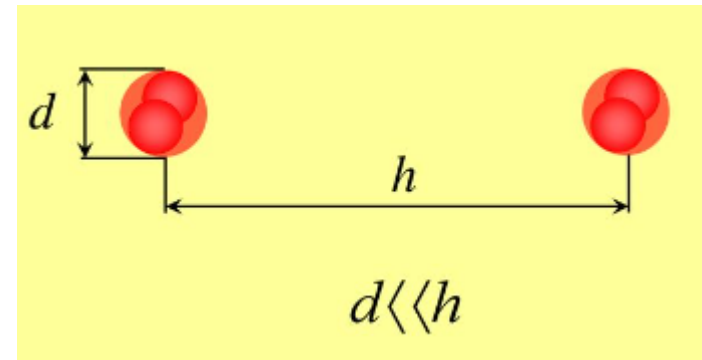
HIGH DENSITY



1. Struktura a vlastnosti plynů

1.1 Ideální plyn

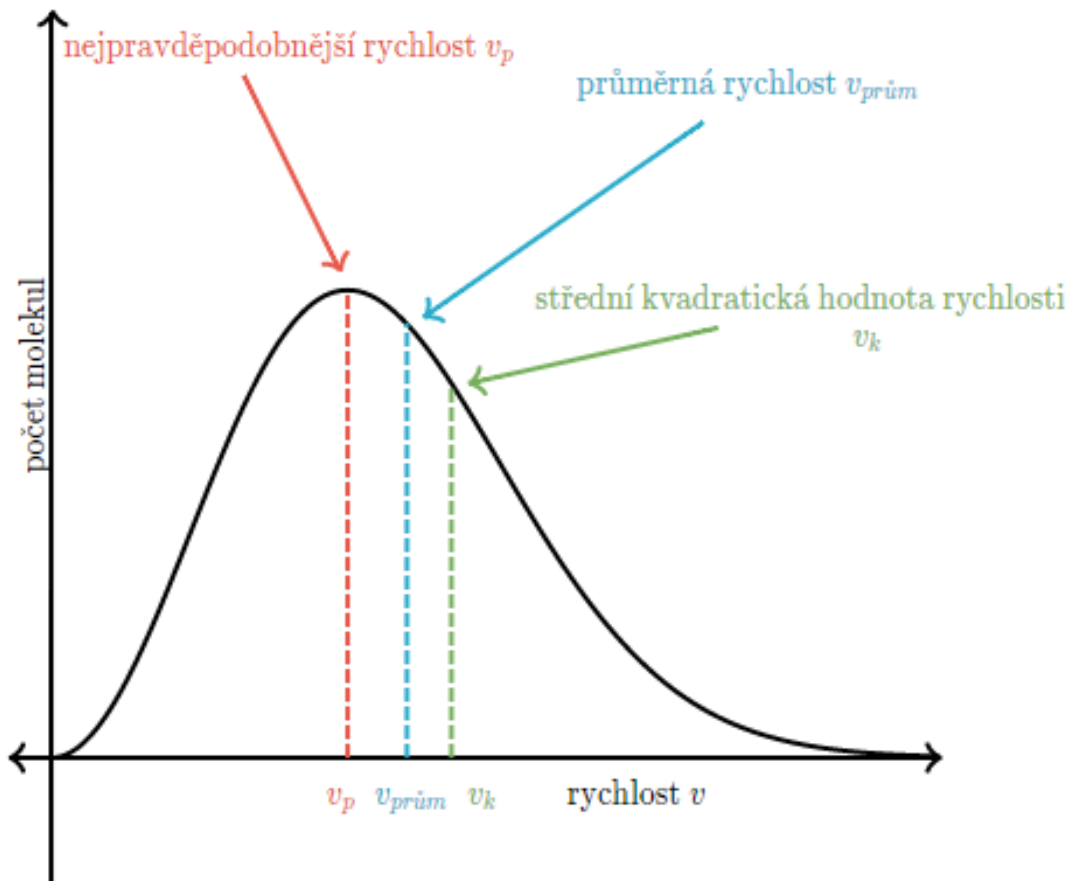
- **Rozměry molekul jsou v porovnání se střední vzdáleností molekul malé**
(kyslík O_2 : $d = 0,364 \text{ nm}$, $h = 6,3 \text{ nm}$)
- **Molekuly na sebe nepůsobí žádnými silami**
(kromě srážky)
- Molekuly **se pohybují rovnoměrně přímočaře**
- Vzájemné **srážky jsou dokonale pružné**
(molekuly neztrácí E_k)
- **Reálný plyn se chová jako IP kolem teploty 0 °C a tlaku $101\,325 \text{ Pa}$**
(tzn. za normálních podmínek).
Reálné plyny se vlastnostem ideálního plynu přibližují při dostatečně vysoké teplotě a nízkém tlaku.



1. Struktura a vlastnosti plynů

1.2 Střední kvadratická rychlost

Rozdělení molekul plynu podle rychlostí



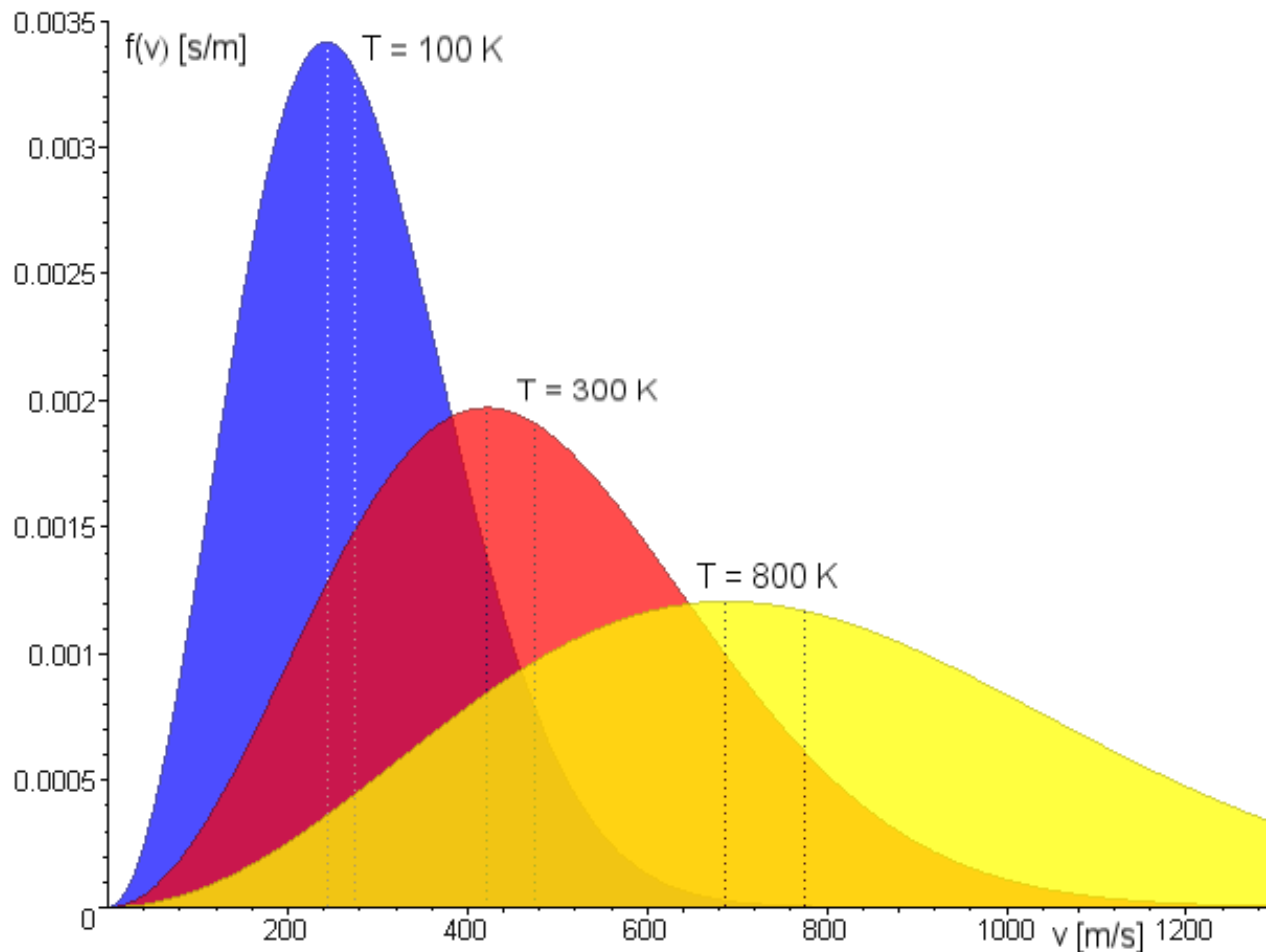
- Závislost počtu částic N na rychlosti v
- **Rychlost – statistická náhodná veličina**
- **$v \sim 10^2$ m/s**
- Počáteční podmínky ovlivňují konečný stav

Maxwellovo rozdělení rychlostí

1. Struktura a vlastnosti plynů

1.2 Střední kvadratická rychlost

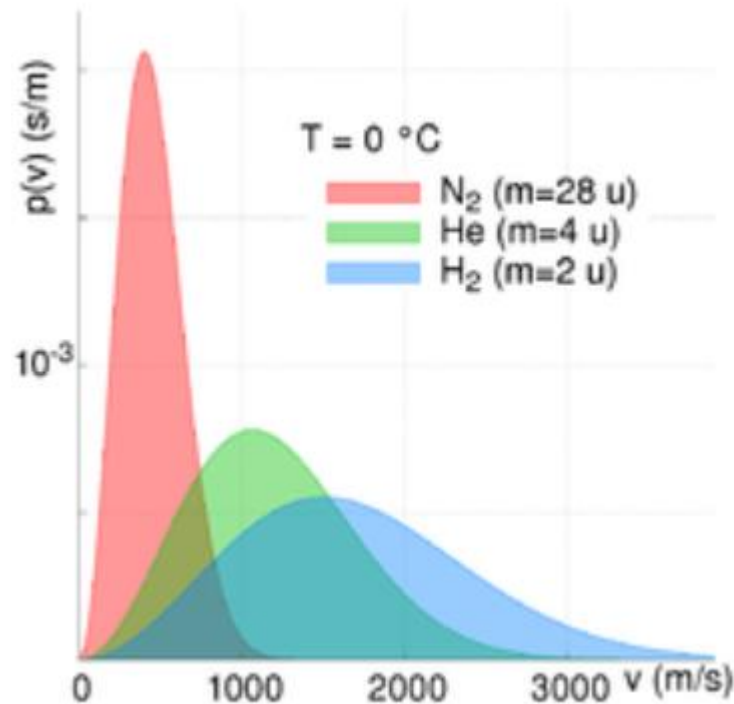
Rozdělení molekul plynu podle rychlostí – závislost na teplotě



1. Struktura a vlastnosti plynů

1.2 Střední kvadratická rychlost

Rozdělení molekul plynu podle rychlostí – závislost na druhu plynu



Plyny při stejné teplotě mají rozdílné průměrné rychlosti molekul.

Čím je plyn lehčí, tím jsou molekuly rychlejší.

1. Struktura a vlastnosti plynů

1.2 Střední kvadratická rychlost

Střední kinetická energie molekul

$$E_k = \frac{1}{2} m_0 v_k^2 = \frac{3}{2} k_B T$$

m_0 – hmotnost jedné molekuly plynu

v_k – střední kvadratická rychlost

k_B – Boltzmannova konstanta

$$k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$

Střední kvadratická rychlost

- rychlost, jakou by musely mít všechny částice ideálního plynu, aby jejich celková kinetická energie byla taková, jaká je ve skutečnosti, tj. když jejich rychlosti jsou různé

$$v_k = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_0}}$$

1. Struktura a vlastnosti plynů

1.3 Tlak plynu. Stavová rovnice IP

Základní rovnice pro tlak plynu

$$p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m_0 v_k^2 = \frac{2}{3} \frac{E_k}{V} = \frac{1}{3} \rho v_k^2$$

m_0 – hmotnost jedné molekuly plynu

v_k – střední kvadratická rychlost

V – objem plynu

ρ – hustota plynu

Stavová rovnice IP

- rovnice vyjadřující vztah mezi stavovými veličinami p , V , T

$$p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m_0 v_k^2 \quad v_k^2 = \frac{3k_B T}{m_0} \quad \Rightarrow$$

$$pV = Nk_B T$$

$$n = \frac{N}{N_A} \quad pV = nN_A k_B T \quad \Rightarrow$$

$$pV = nR_m T$$

R_m - molární plynová konstanta
stejná pro všechny plyny

$$R_m = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$n = \frac{m}{M_m}$$

$$pV = \frac{m}{M_m} R_m T$$

1. Struktura a vlastnosti plynů

1.3 Stavová rovnice IP

Stavová rovnice IP při změně stavových veličin

- počáteční stav: p_1, V_1, T_1
- konečný stav: p_2, V_2, T_2

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

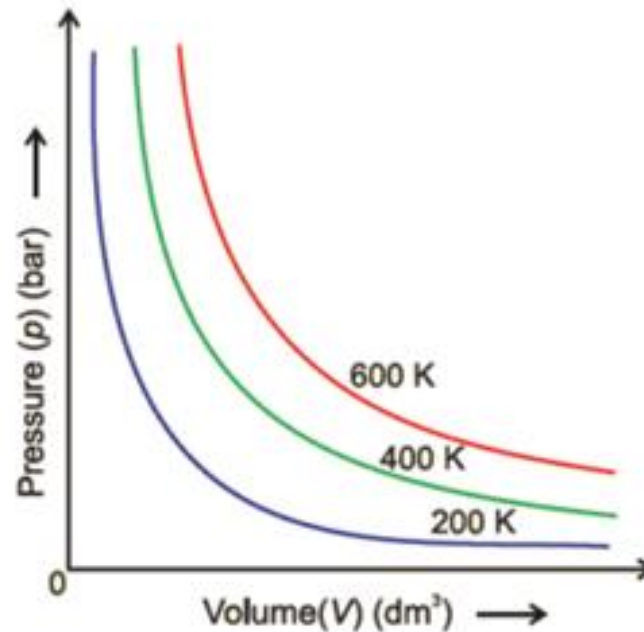
1. Struktura a vlastnosti plynů

1.4 Děje s IP

Izotermický děj – Boyleův-Mariottův zákon

- $T = \text{konst.}$
- pV diagram: **izoterma** (hyperbola)
- část pracovního cyklu motorů

$$p_1V_1 = p_2V_2$$



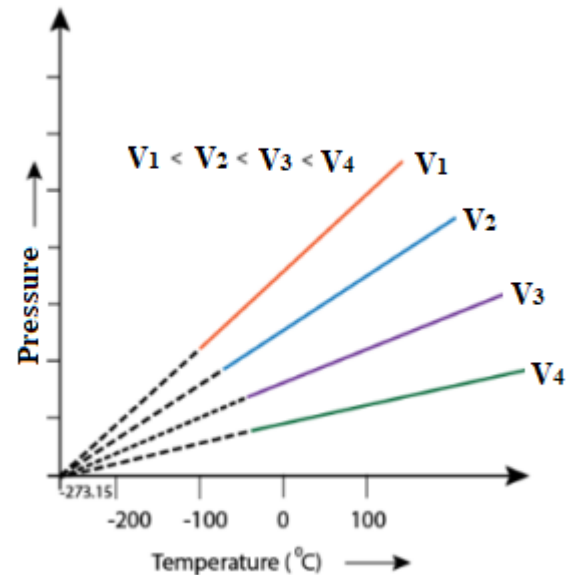
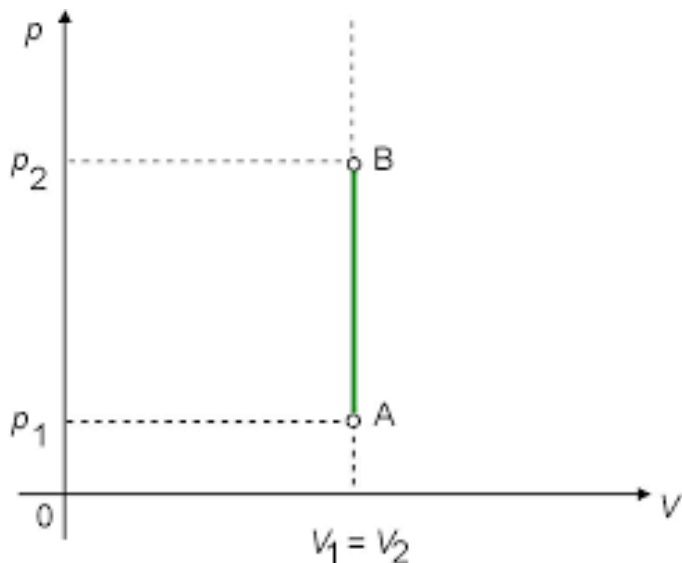
1. Struktura a vlastnosti plynů

1.4 Děje s IP

Izochorický děj – Charlesův zákon

- $V = \text{konst.}$
- pV diagram: **izochora**
- Zavařování: při snížení teploty ve sklenici vznikne podtlak
- pT diagram plynů: grafy se protínají v hodnotě **$-273,15 \text{ }^\circ\text{C} = 0 \text{ K}$** – **absolutní nula**

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$



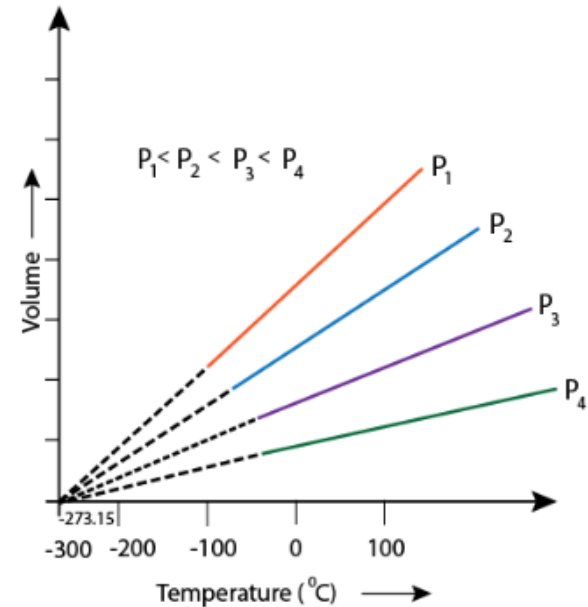
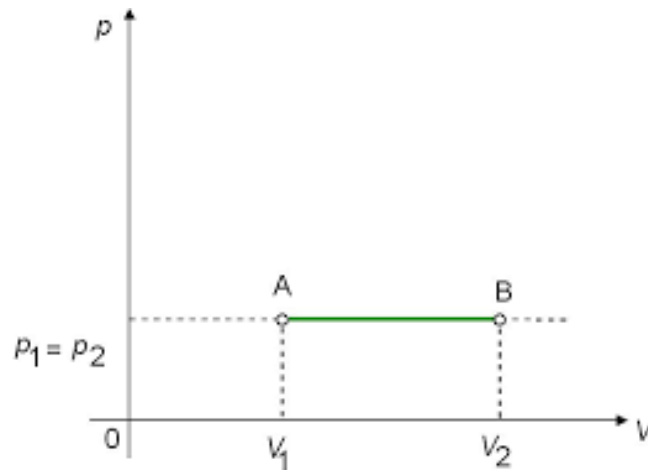
1. Struktura a vlastnosti plynů

1.4 Děje s IP

Izobarický děj – Gay-Lussacův zákon

- $p = \text{konst.}$
- pV diagram: **izobara**
- VT diagram plynů: grafy se protínají v hodnotě **-273,15 °C = 0 K – absolutní nula**

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$



Volume Vs Temperature graph (°C)

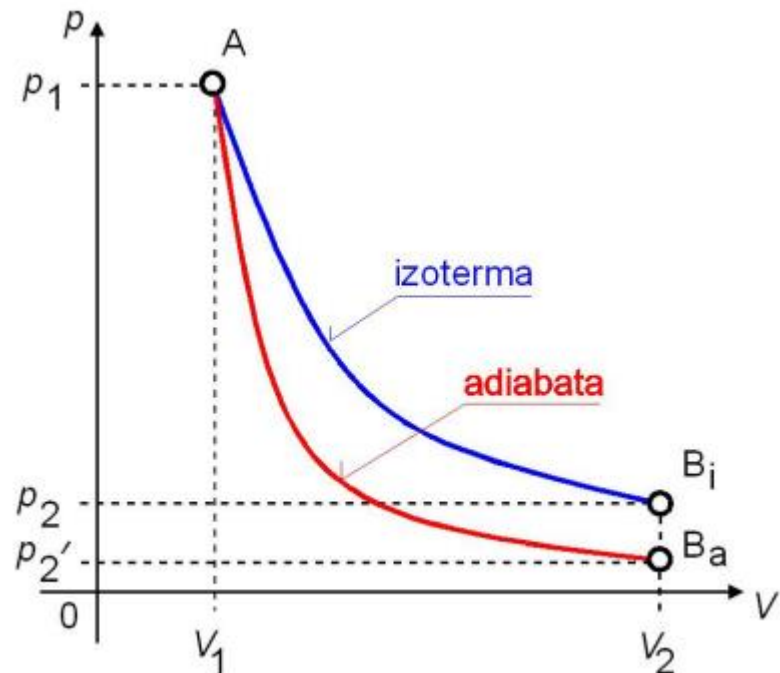
1. Struktura a vlastnosti plynů

1.4 Děje s IP

Adiabatický děj

- $Q = 0 \text{ J}$
- Neprobíhá tepelná výměna mezi plynem a okolím
- pV diagram: **adiabata (strmější než izoterma)**
- κ – **Poissonova konstanta**: $\kappa = \frac{c_p}{c_v} > 1$
- Jednoatomové molekuly: $\kappa = 5/3$
- Dvouatomové molekuly: $\kappa = 7/5$
- V praxi: rychlá komprese nebo expanze v motorech automobilů

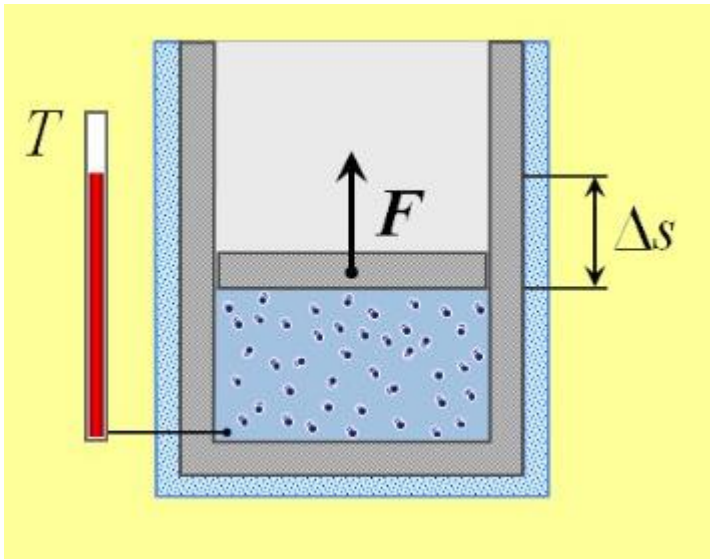
$$p_1 V_1^\kappa = p_2 V_2^\kappa$$



1. Struktura a vlastnosti plynů

1.5 Kruhový děj s IP

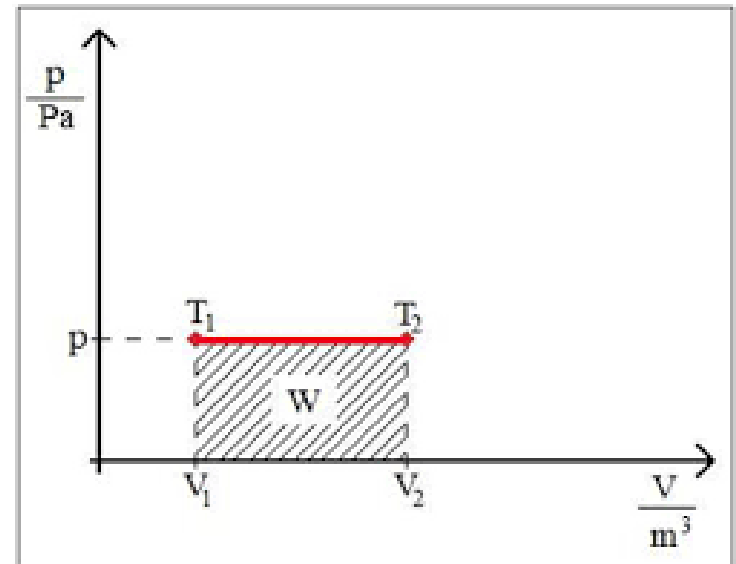
Práce vykonaná plynem při stálém tlaku



- $p = \text{konst.}$ – izobarický děj
 $W = F\Delta s = pS\Delta s = p\Delta V$
- **Práce vykonaná plynem při konstantním tlaku**

$$W = p \Delta V$$

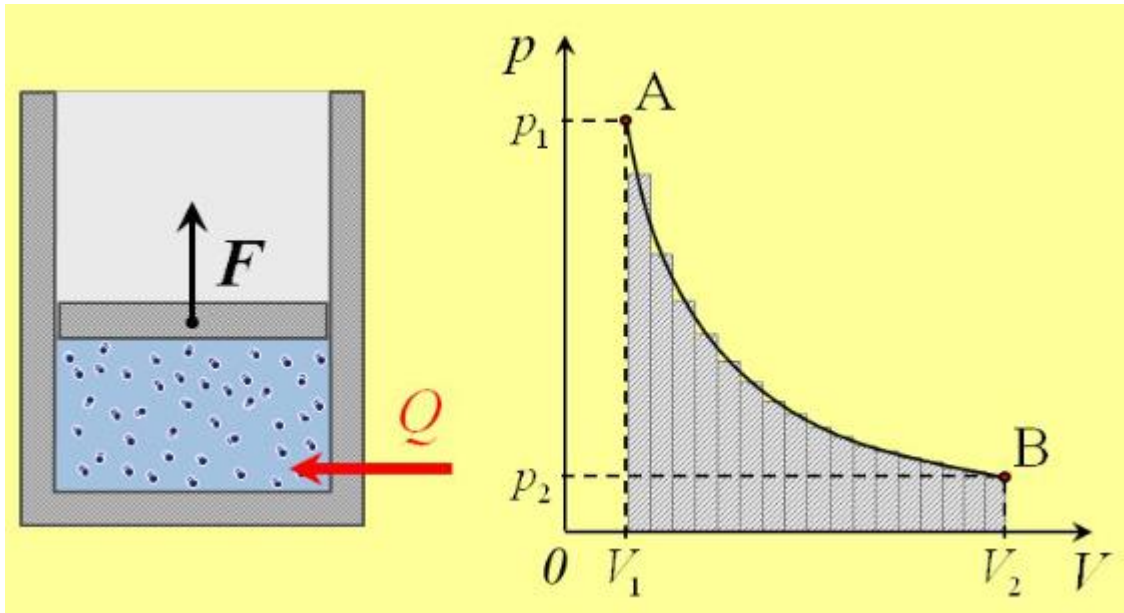
- $\Delta V \neq 0$ při **nenulové změně objemu** se koná práce
- **Graficky lze práci znázornit jako obsah plochy pod izobarou v pV diagramu**



1. Struktura a vlastnosti plynů

1.5 Kruhový děj s IP.

Práce vykonaná plynem při proměnném tlaku



- Např. $T = \text{konst.}$ – izotermický děj
- **Práce vykonaná plynem při proměnném tlaku**

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p \, dV$$

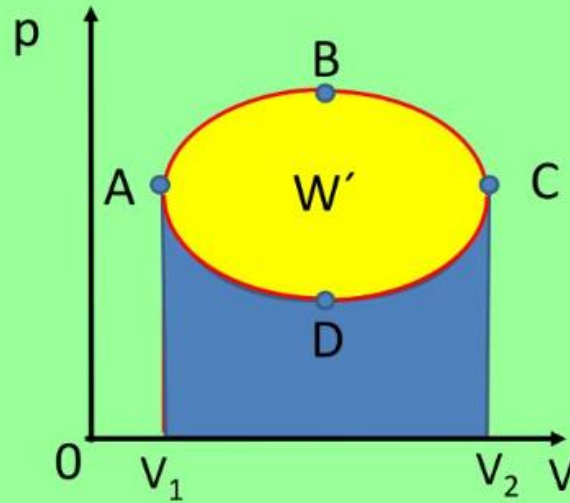
- **Graficky lze práci znázornit jako obsah plochy pod izotermou v pV diagramu**

1. Struktura a vlastnosti plynů

1.5 Kruhový děj s IP

Kruhový děj

Obsah plochy uvnitř křivky znázorňuje užitečnou práci vykonanou plynem.



- konečný stav je totožný s počátečním
- stroj pracuje mezi teplotou T_1 a T_2
- Celková změna vnitřní energie $\Delta U = 0 \text{ J}$
- **Ohřivač – těleso, od kterého plyn přijal teplo Q_1**
- **Chladič - těleso, kterému plyn odevzdal teplo Q_2**

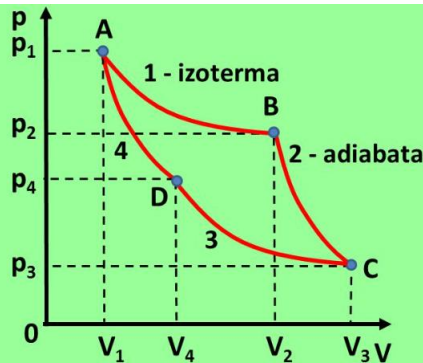
Carnotův cyklus

expanze

1. izotermická
2. adiabatická

komprese

3. izotermická
4. adiabatická



- 2 izotermické a 2 adiabatické děje
- **Účinnost Carnotova cyklu**

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Účinnost kruhového děje:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

1. Struktura a vlastnosti plynů

1.6 Druhý a třetí termodynamický zákon

Perpetuum mobile II. druhu

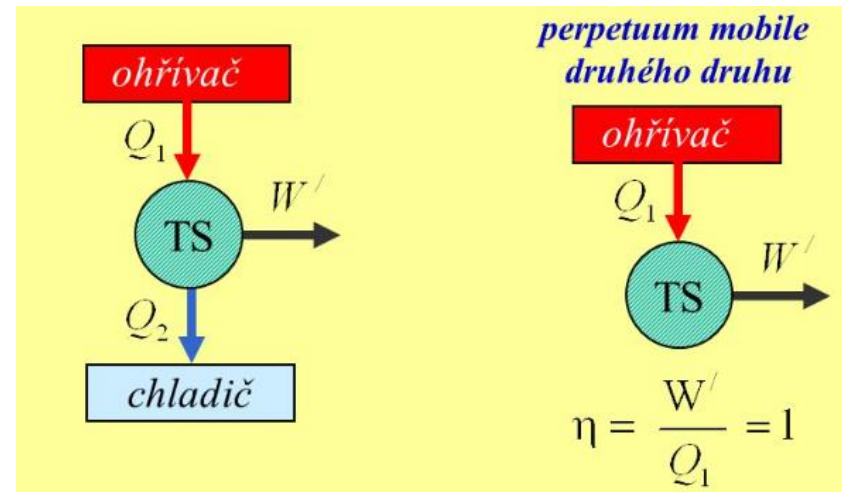
- Tepelný stroj, který koná stejně velkou práci, jako je teplo dodávané do stroje (žádné teplo se neodevzdá chladiči)

Druhý termodynamický zákon

- Nelze sestavit periodicky pracující tepelný stroj, který by jen přijímal teplo od ohříváče a konal stejně velkou práci
- **Nelze sestavit perpetuum mobile II. druhu**

Třetí termodynamický zákon

- **Žádným konečným počtem kroků nelze dosáhnout při ochlazování teploty tělesa absolutní nuly (0 K)**



Perpetuum mobile I. druhu

- Tepelný stroj, který koná práci aniž je mu dodávána energie



2. Struktura a vlastnosti pevných látek

2.1 Krystalické a amorfní látky

Krystalické látky

- pravidelné uspořádání částic v krystalové mřížce
- velké přitažlivé síly mezi částicemi
- vzdálenost částic je v průměru 0,5 nm
- Většina krystalických látek patří mezi **polykrystaly**



Polykrystaly

- složeny z velkého počtu krystalů, tzv. **zrn**
- **rozměry zrna: 10 μ m-10mm**
- uvnitř zrna pravidelná struktura, vzájemná poloha zrn je nahodilá
- Př.: všechny kovy, okem viditelná zrna má zinek Zn
- jsou **izotropní** – ve všech směrech stejné vlastnosti



Monokrystaly

- rozložení částic se periodicky opakuje v celém krystalu – tzv. **dalekodosahové uspořádání**
- některé mají pravidelný geometrický tvar
- Př.: NaCl, křemen SiO₂, diamant
- jsou většinou **anizotropní**



2. Struktura a vlastnosti pevných látek

2.1 Krystalické a amorfní látky

Amorfní látky

- **krátkodosahové** periodické uspořádání částic na vzdálenost cca 0,1 nm
- Př.: pryskyřice, asfalt, vosk, sklo, plasty
- většinou jsou **izotropní**
- **nemají pevně danou teplotu tání**



Polymery

- zvláštní skupina **amorfních látek organického původu**
- **dlouhé makromolekuly vytvářejí sítě**
- Př.: kaučuk, celulóza, bavlna, bílkoviny celofán, termoplasty (PVC), polyepoxidové pryskyřice (lepidla)



2. Struktura a vlastnosti pevných látek

2.2 Ideální krystalová mřížka a její poruchy

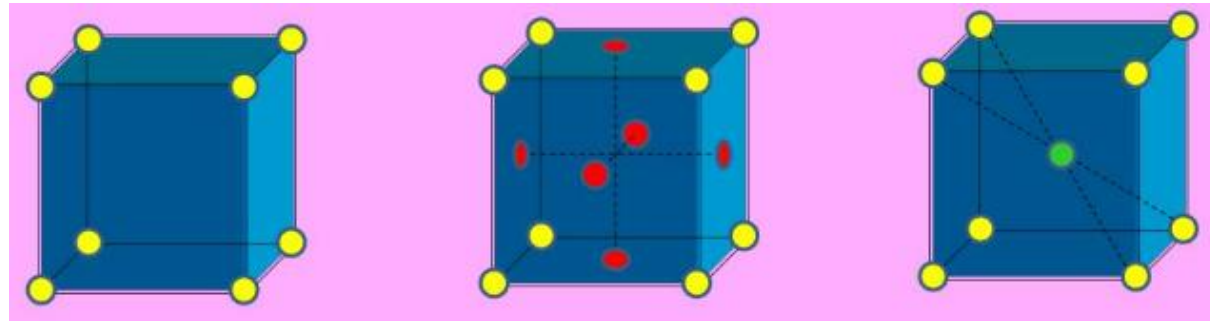
Ideální krystalová mřížka

- **prostorová geometrická mřížka, která je obsazena pravidelně rozloženými částicemi**
- je tvořena z tzv. **elementárních buněk**
- Př. kubická – krychlová, jednoklonná, trojklonná, šesterečná, čtverečná, klencová, ...

Kubická základní buňka

- Prostá
- Plošně centrovaná
- Prostorově centrovaná

- Délka strany krychle – a **mřížkový parametr (mřížková konstanta)**



$a = 0,334 \text{ nm}$ (polonium α) $a = 0,405 \text{ nm}$ (Al) $a = 0,287 \text{ nm}$ (Fe)

- Př.: **prostá** – v přírodě se vyskytuje výjimečně – na jednu buňku připadá **1 atom**
- **plošně centrovaná** – kovy: Al, Ni, Cu, Ag, Au, Fe, Pb – na jednu buňku připadají **4 atomy**
- **prostorově centrovaná** – Li, Na, K, Cr – na jednu buňku připadají **2 atomy**

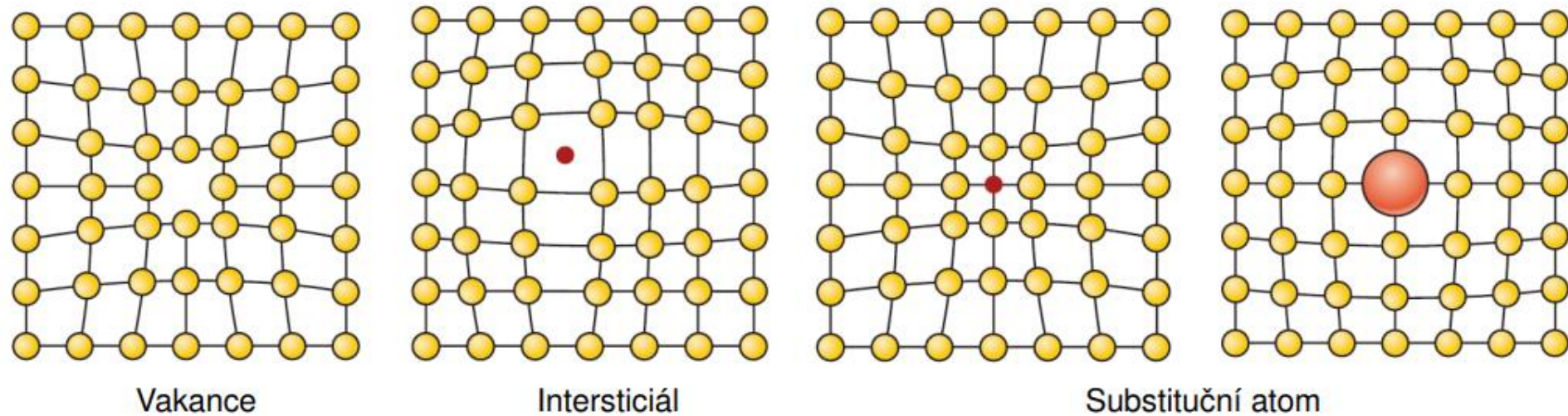
2. Struktura a vlastnosti pevných látek

2.2 Ideální krystalová mřížka a její poruchy

Poruchy krystalové mřížky

- **odchytky od pravidelného uspořádání v reálných krystalech**
- **bodové** – vakance, intersticiální poloha, příměs
- **plošné** – na povrchu krystalů, na hranici zrn

Bodové poruchy



- **Vakance** – neobsazení částice ve struktuře krystalové mřížky, chybějící částice
- **Intersticiál** – částice navíc
- **Příměsi** – cizí částice v krystalu, využití: polovodiče nebo speciální slitiny (C ve struktuře Fe)

2. Struktura a vlastnosti pevných látek

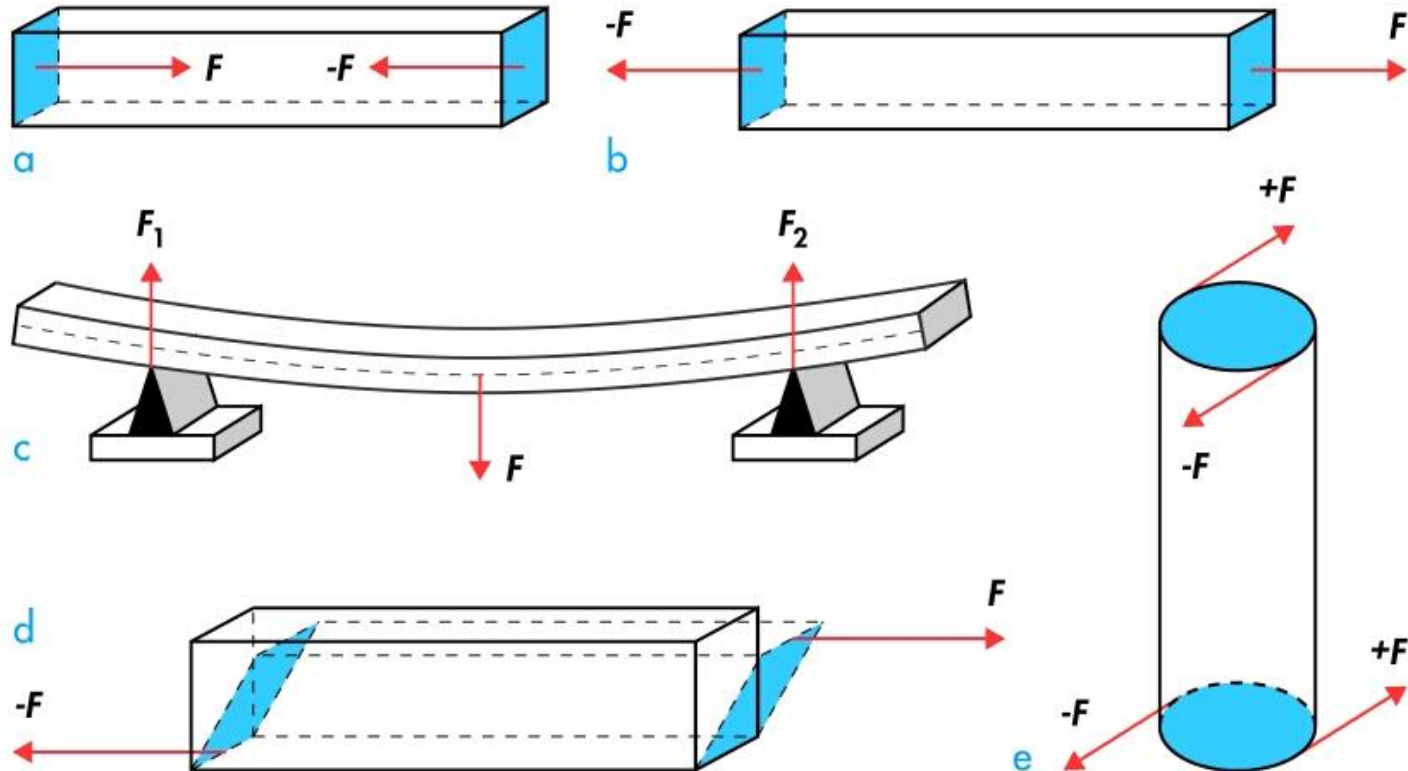
2.3 Deformace pevného tělesa

Deformace pevného tělesa

- **vlivem působení vnější síly dojde ke změně vzájemné polohy částic**
- **elastická (pružná)** – dočasná, těleso získá po čase původní tvar (houba, guma)
- **plastická (nepružná)** – trvalá změna tvaru (ohnutý drát)

Typy deformací

- a) **tlakem** – pilíře
- b) **tahem** – lano
- c) **ohybem** – lávka
- d) **smykem** – nýt
- e) **kroucením** – vrták

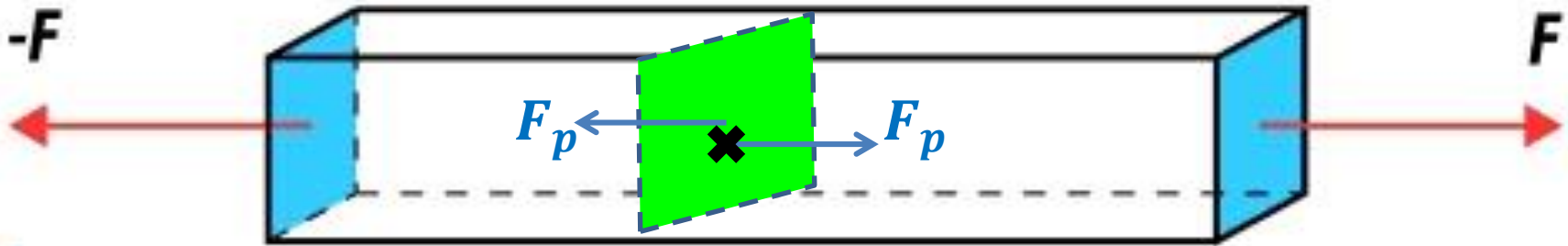


2. Struktura a vlastnosti pevných látek

2.4 Síla pružnosti. Normálové napětí

Síla pružnosti

- Při deformaci tahem se vzdálenosti mezi částicemi zvětšují, převládají přitažlivé síly
- Při pružné deformaci jako reakce na vnější **tahovou sílu F** vzniká v libovolném **příčném řezu** síla pružnosti F_p



Normálové napětí – σ_n [σ_n] = Pa

- vzniká při působení vnějších sil v libovolném příčném řezu
- v určitém okamžiku se vnější síla rovná síle pružnosti: $F_p = F$
- S – plocha kolmého řezu
- **Mez pevnosti σ_p** – hodnota napětí, po jejímž překročení dojde k destrukci materiálu
- **Dovolené napětí σ_n** – dané bezpečnostními normami jako maximální přípustná hodnota
- **Součinitel bezpečnosti** – $s_b = \frac{\sigma_p}{\sigma_n}$, kovy: 4-8, dřevo a kámen: 10, provazy a lana: 4-6

$$\sigma_n = \frac{F_p}{S} = \frac{F}{S}$$

2. Struktura a vlastnosti pevných látek

2.4 Síla pružnosti. Normálové napětí

Vzorový příklad

Př. Jaký minimální průměr musí mít lano zvedající náklad o hmotnosti $m = 2,5$ t, aby normálové napětí nepřekročilo hodnotu 60 MPa?

$$m = 2,5 \text{ t} = 2\,500 \text{ kg}$$

$$\sigma_n = 60 \text{ MPa} = 6 \cdot 10^7 \text{ Pa}$$

$$d = ? \text{ (m)}$$

$$\sigma_n = \frac{F_p}{S} = \frac{F}{S}$$

$$F = mg$$

$$S = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4} = \frac{F}{\sigma_n}$$

$$d = \sqrt{\frac{4mg}{\pi\sigma_n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2500 \cdot 10}{3,14 \cdot 6 \cdot 10^7}} = 0,023 \text{ m} = \mathbf{2,3 \text{ cm}}$$

Lano musí mít minimální průměr 2,3 cm.

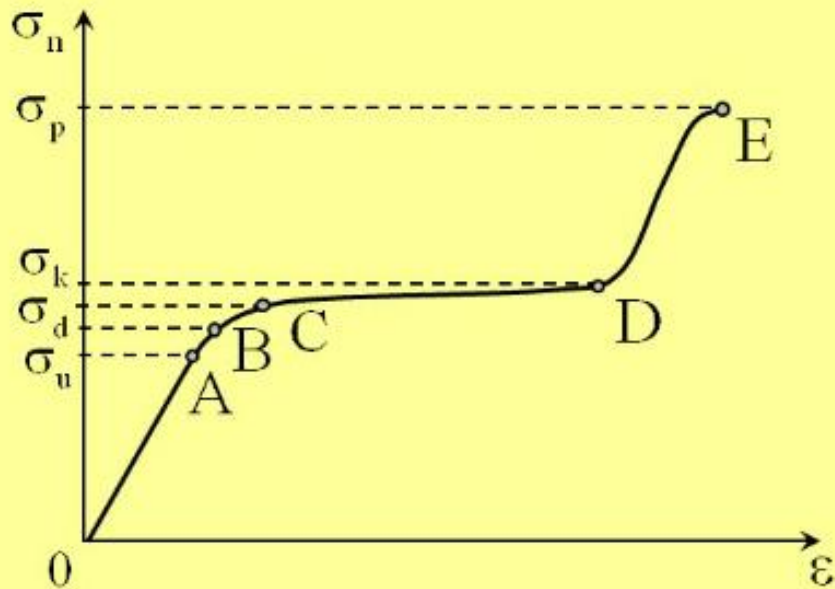
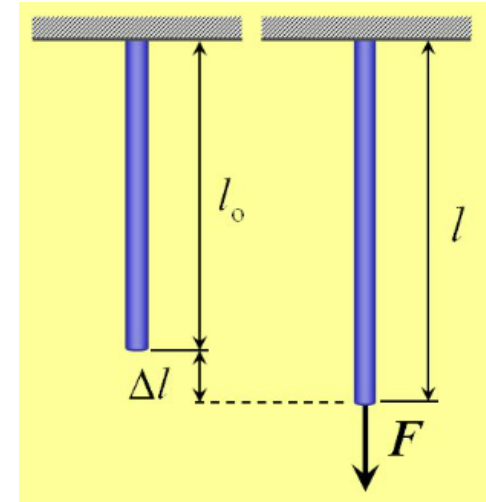
2. Struktura a vlastnosti pevných látek

2.5 Křivka deformace – Hookův zákon

Křivka deformace

- zobrazuje závislost normálového napětí na relativním prodloužení
- lineární část OA matematicky popisuje Hookův zákon
- l_0 – počáteční délka
- l – konečná délka
- absolutní prodloužení : $\Delta l = l - l_0$
- relativní prodloužení – ε [ε] = %

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$



- σ_u - mez úměrnosti – pružná deformace
- σ_d - mez pružnosti – hranice pružné deformace
- σ_d - mez kluzu – malá změna síly způsobí velké prodloužení
- σ_p - mez pevnosti – po překročení dojde k destrukci

OA – Hookův zákon

AB – dopružování – ještě pružná deformace

BE – trvalá deformace

CD – oblast tečení

DE – oblast zpevnění

2. Struktura a vlastnosti pevných látek

2.5 Křivka deformace – Hookův zákon

Hookův zákon

- R. Hook (1635 – 1702): anglický fyzik, zákon objevil v roce 1676
- popisuje lineární část OA křivky deformace
- σ_n – normálové napětí
- ε – relativní prodloužení
- E – modul pružnosti v tahu $[E] = \text{Pa}$
materiálová konstanta

$$\sigma_n = E \varepsilon$$

materiál	E (GPa)
ocel	220
měď	80 – 120
hliník	70
dřevo	10 – 15
lidský vlas	1
pavučina	30 – 50

2. Struktura a vlastnosti pevných látek

2.6 Teplotní roztažnost pevných látek

Délková teplotní roztažnost

- se změnou teploty se mění rozměry tělesa
- Δl – prodloužení tyče, ΔT – změna teploty
- l_0 – počáteční délka tyče, l – konečná délka tyče
- α – součinitel délkové teplotní roztažnosti $[\alpha] = \text{K}^{-1}$
materiálová konstanta, závisí na teplotě

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta T$$

$$l = l_0(1 + \alpha \Delta T)$$



2. Struktura a vlastnosti pevných látek

2.6 Teplotní roztažnost pevných látek

Objemová teplotní roztažnost

- se změnou teploty se mění rozměry tělesa
- V_0 – počáteční objem, V – konečný objem
- ΔT – změna teploty
- β – součinitel objemové teplotní roztažnosti $[\beta] = \text{K}^{-1}$
materiálová konstanta, závisí na teplotě
izotropní látky: $\beta \cong 3\alpha$

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

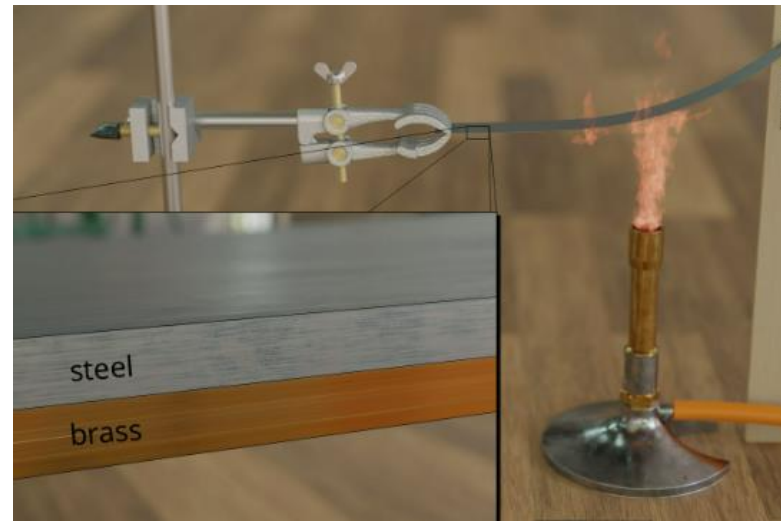


2. Struktura a vlastnosti pevných látek

2.6 Teplotní roztažnost pevných látek

Teplotní roztažnost v praxi

- mostní konstrukce – dilatační spáry
- koleje
- písty motorů
- elektrické vedení – průvěš
- teplovodní potrubí
- různorodé materiály (železobeton) – lze spojit jen při stejném α
- délková a objemová měřidla – pipety, odměrné válce jsou kalibrovány pro určitou teplotu
- bimetalový pásek – teploměry, tepelné pojistky, termostaty



3. Struktura a vlastnosti kapalin

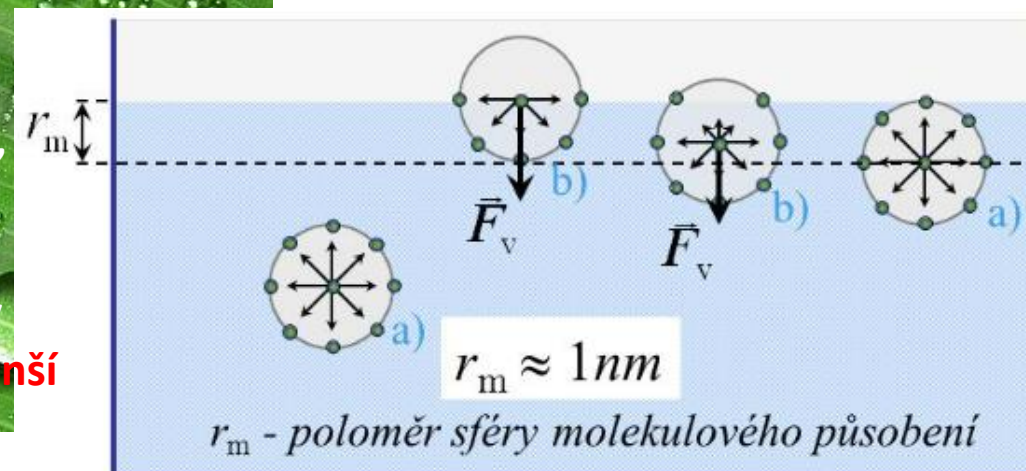
3.1 Povrchová vrstva. Povrchová síla. Povrchové napětí

Struktura kapalin

- Struktura podobná amorfním látkám
- Částice po dobu cca 1 ns kmitají kolem rovnovážné polohy
- Střední vzdálenosti molekul srovnatelné s pevnými látkami – velké přitažlivé síly

Povrchová vrstva

- chová se jako tenká pružná blána
- dokáže udržet i tělesa o vyšší hustotě
- sféra molekulového působení: koule o $r_m \approx 1 \text{ nm}$
- Povrchová vrstva: tvořena molekulami, jejichž vzdálenost od volného povrchu kapaliny je $< r_m$
- povrchová energie – kapky mají kulový tvar – pro daný objem má koule nejmenší povrch ze všech těles



3. Struktura a vlastnosti kapalin

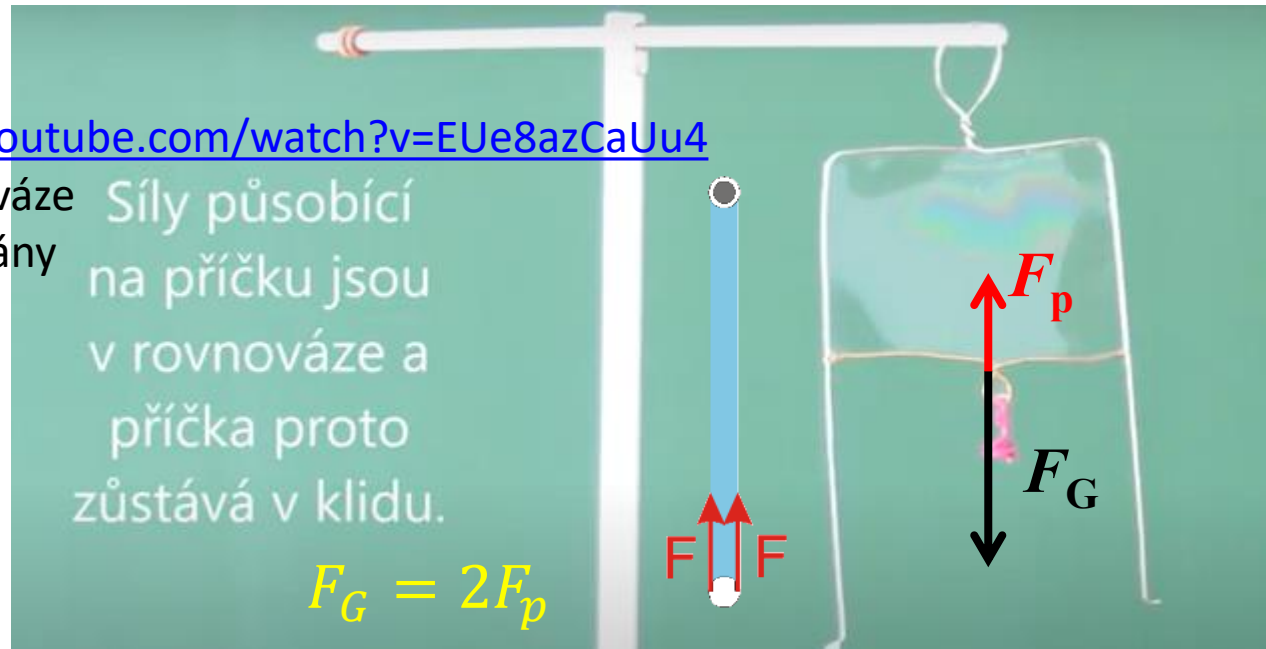
3.1 Povrchová vrstva. Povrchová síla. Povrchové napětí

Povrchová síla – F_p

- experiment: <https://www.youtube.com/watch?v=EUE8azCaUu4>
- tíhová síla závaží je v rovnováze se 2 povrchovými silami blány
- síla leží v povrchu kapaliny
- blána má **dva povrchy**

Povrchové napětí – σ_p

- skalární veličina
- $[\sigma_p] = \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$
- závisí na druhu kapaliny
voda-vzduch: 73 mN/m, voda-parafín: 38 mN/m, líh-vzduch: 22 mN/m
- s rostoucí teplotou klesá
- F – povrchová síla
- l – délka okraje povrchové blány



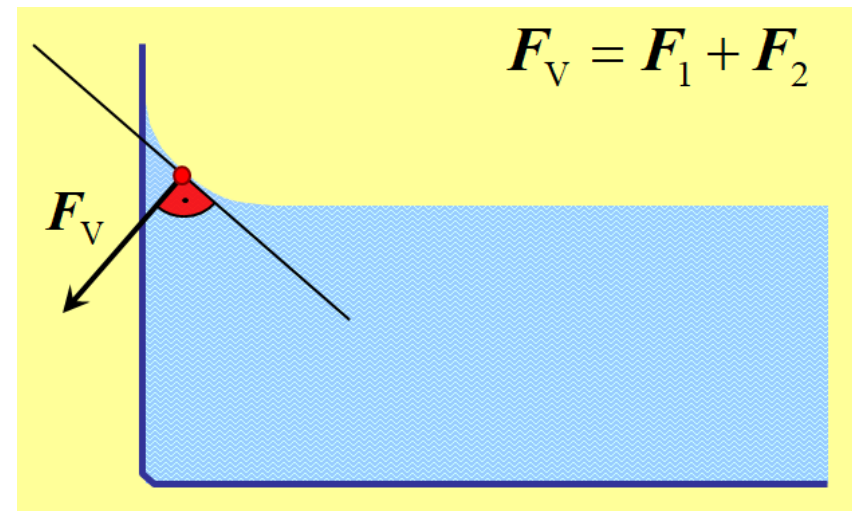
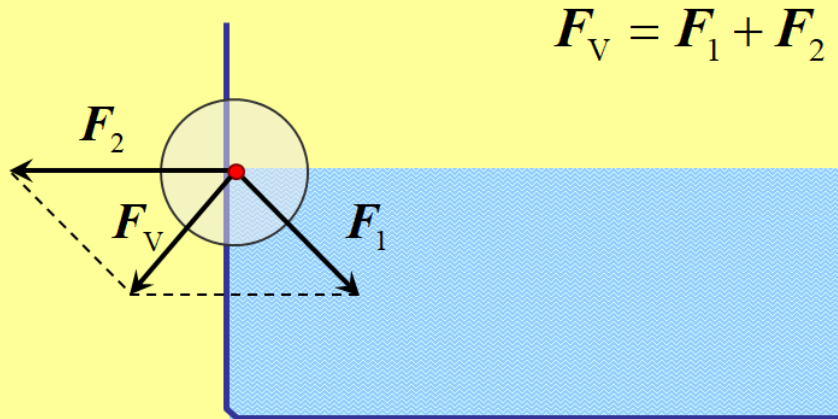
$$\sigma = \frac{F}{l}$$

3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.2 Styk kapaliny se stěnou nádoby

Kapalina smáčí stěnu nádoby

- Příklad: **voda ve skle**, rtuť v mědi
- kapalina vytváří **dutý povrch**
- F_1 – výsledná síla, kterou působí částice kapaliny na danou molekulu
- F_2 – výsledná síla, kterou působí částice nádoby na danou molekulu
- F_V – výsledná síla má směr **z nádoby** a je **kolmá na tečnu k povrchu kapaliny** v daném místě: výsledkem je **dutý povrch kapaliny**

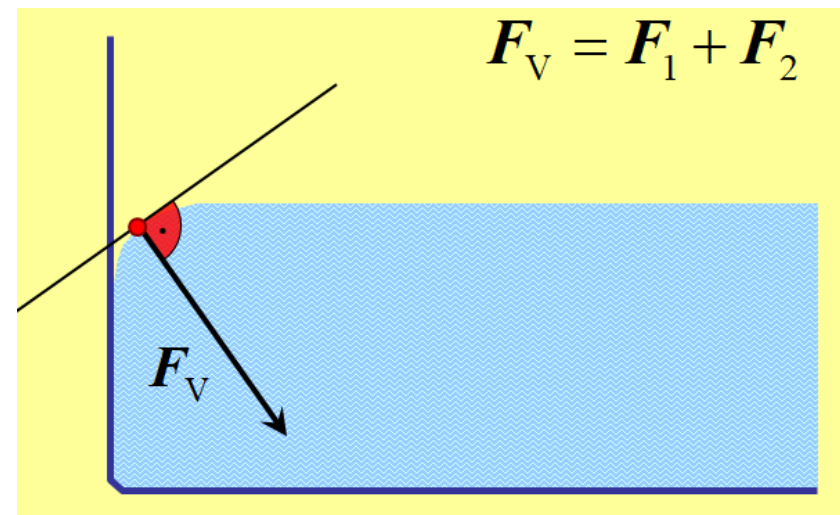
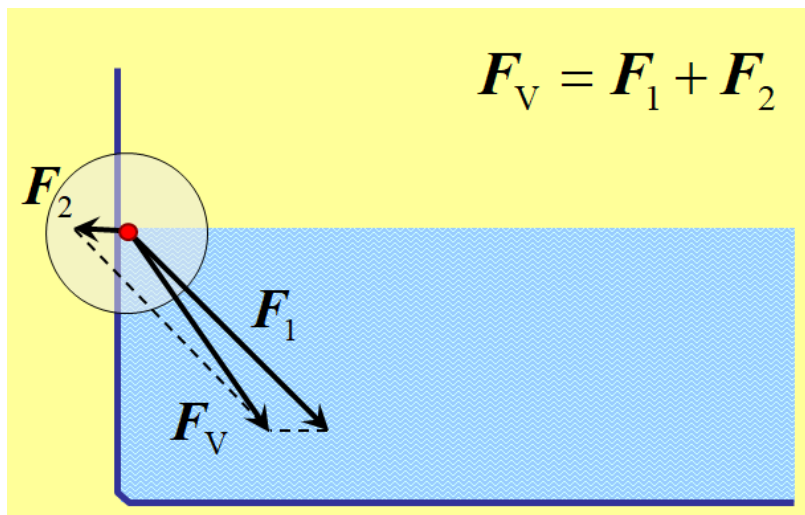
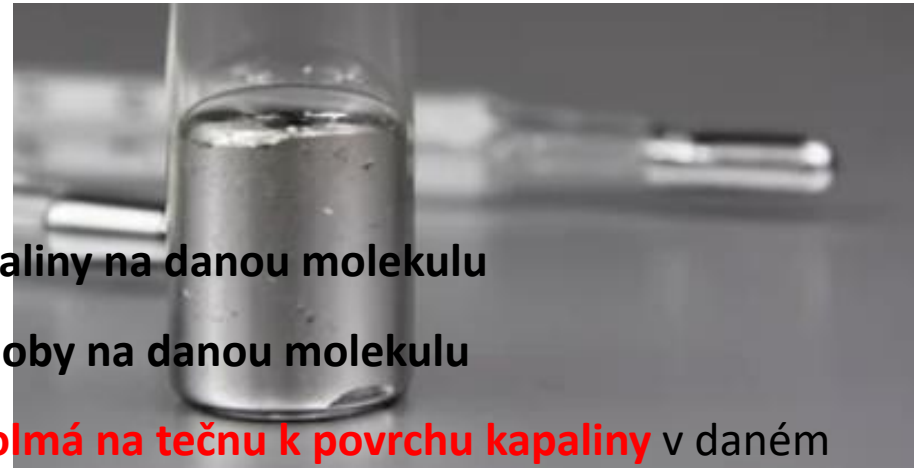


3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.2 Styk kapaliny se stěnou nádoby

Kapalina nesmáčí stěnu nádoby

- Příklad: voda v parafínu, **rtuť ve skle**
- kapalina vytváří **vypuklý povrch**
- F_1 – výsledná síla, kterou působí částice kapaliny na danou molekulu
- F_2 – výsledná síla, kterou působí částice nádoby na danou molekulu
- F_V – výsledná síla má směr **do nádoby** a je **kolmá na tečnu k povrchu kapaliny** v daném místě: výsledkem je **vypuklý povrch kapaliny**



3. Struktura a vlastnosti kapalin

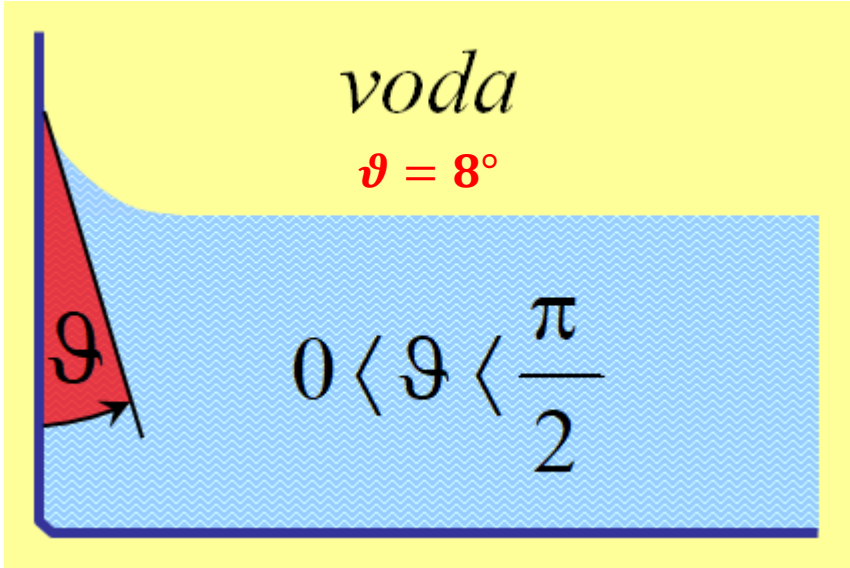
3.2 Styk kapaliny se stěnou nádoby

Stykový úhel – ϑ

- $\vartheta = 0^\circ$ – kapalina **dokonale smáčí** stěnu nádoby
- $\vartheta = 180^\circ$ – kapalina **dokonale NESmáčí** stěnu nádoby

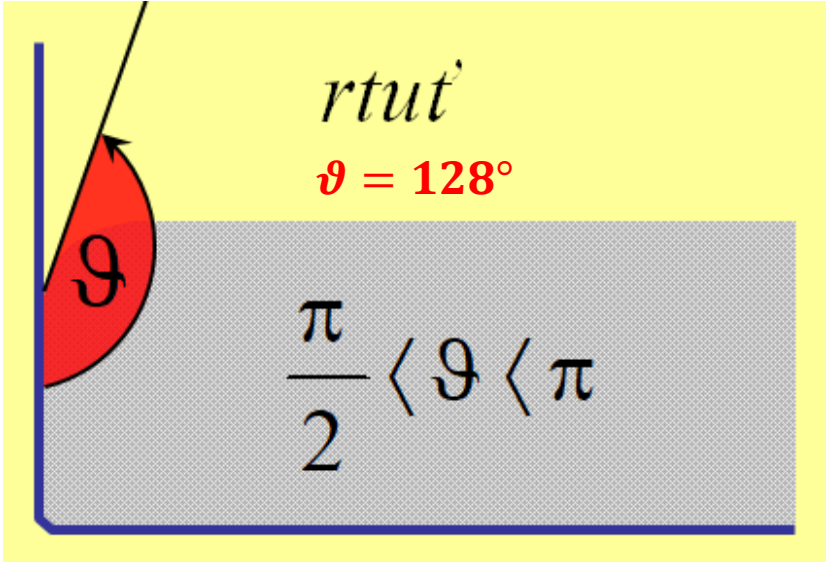
voda

$$\vartheta = 8^\circ$$

$$0 < \vartheta < \frac{\pi}{2}$$


rtuť

$$\vartheta = 128^\circ$$

$$\frac{\pi}{2} < \vartheta < \pi$$


3. Struktura a vlastnosti kapalin

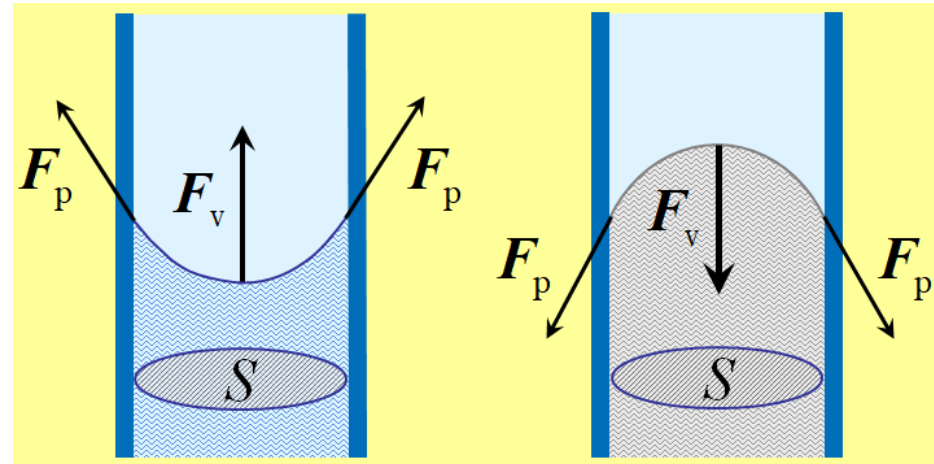
3.3 Kapilární jevy

Kapilarita

- Kapilární elevace – zvýšení hladiny kapaliny v kapiláře
- Kapilární deprese – snížení hladiny kapaliny v kapiláře
- Kapilarita je způsobená existencí kapilárního tlaku

Kapilární tlak – p_k

- je způsobený zakřivením povrchu kapaliny u stěn nádoby, v kapilárách, u kapek a bublin
- Vypuklý povrch – vnitřní tlak je větší o kapilární tlak
- Dutý povrch – vnitřní tlak je menší o kapilární tlak



$$p_k = \frac{2\sigma}{R}$$

kapka, kapilára

R – poloměr kapky,
kapiláry, bubliny

$$p_k = \frac{2\sigma}{R}$$

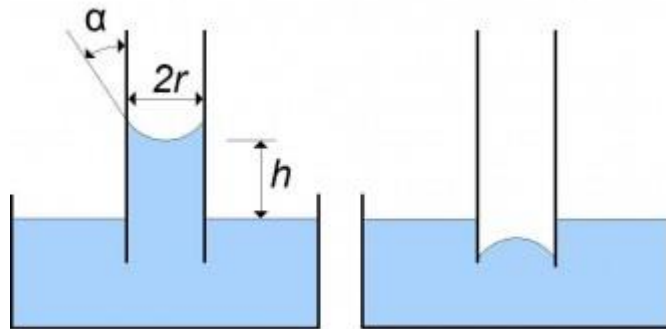
bublina – 2 povrchy

3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.3 Kapilární jevy

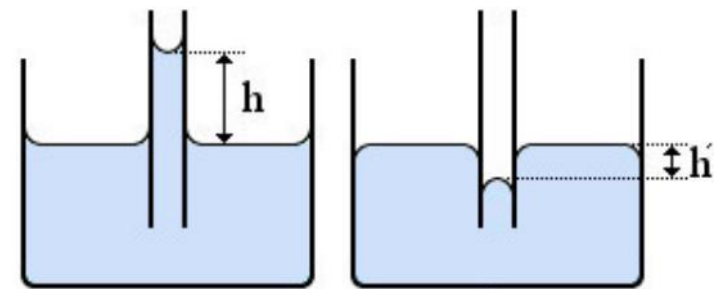
Kapilární elevace

- zvýšení hladiny kapaliny v kapiláře o výšku h



Kapilární deprese

- snížení hladiny v kapiláře o hloubku h



$$p_k = p_h$$

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g R} \cos \alpha$$

σ – povrchové napětí

R – poloměr kapky, kapiláry, bubliny

ρ – hustota kapaliny

$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

$\cos \alpha = 1$ (při řešení úloh)



3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.4 Kapilární jevy v praxi

Tenzidy a detergenty

- **Tenzidy:** látky snižující povrchové napětí vody
- **Detergenty:** čisticí prostředky (saponáty obsahující tenzidy)
- využití: mycí prostředky, prací prostředky



3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.4 Kapilární jevy v praxi

Zemědělství

- válcováním pole se vytváří kapiláry



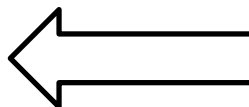
3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.4 Kapilární jevy v praxi

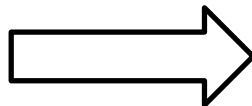
Zemědělství

- oráním pole se ničí kapiláry

Rusko



Česko



3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.4 Kapilární jevy v praxi

Příroda

- kapilární elevace způsobuje vztlínání vody ke kořenům i do větví a listů



3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.4 Kapilární jevy v praxi

Petrolejky – kahany – svíčky

- kapilární elevace způsobuje vztlínání oleje, lihu, vosku v knotu



3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.4 Kapilární jevy v praxi

Houby – utěrky – ručníky

- kapilární elevace způsobuje nasávání vody mikro kanálky mezi vlákny tkaniny



3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.4 Kapilární jevy v praxi

Psací potřeby – inkoustové pero

- kapilární elevace způsobuje nasávání inkoustu mikro kanálky mezi vlákny papíru



3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.4 Kapilární jevy v praxi

Negativní účinky – vlhnutí zdí

- kapilární elevace způsobuje vztlínání vody do zdí budov

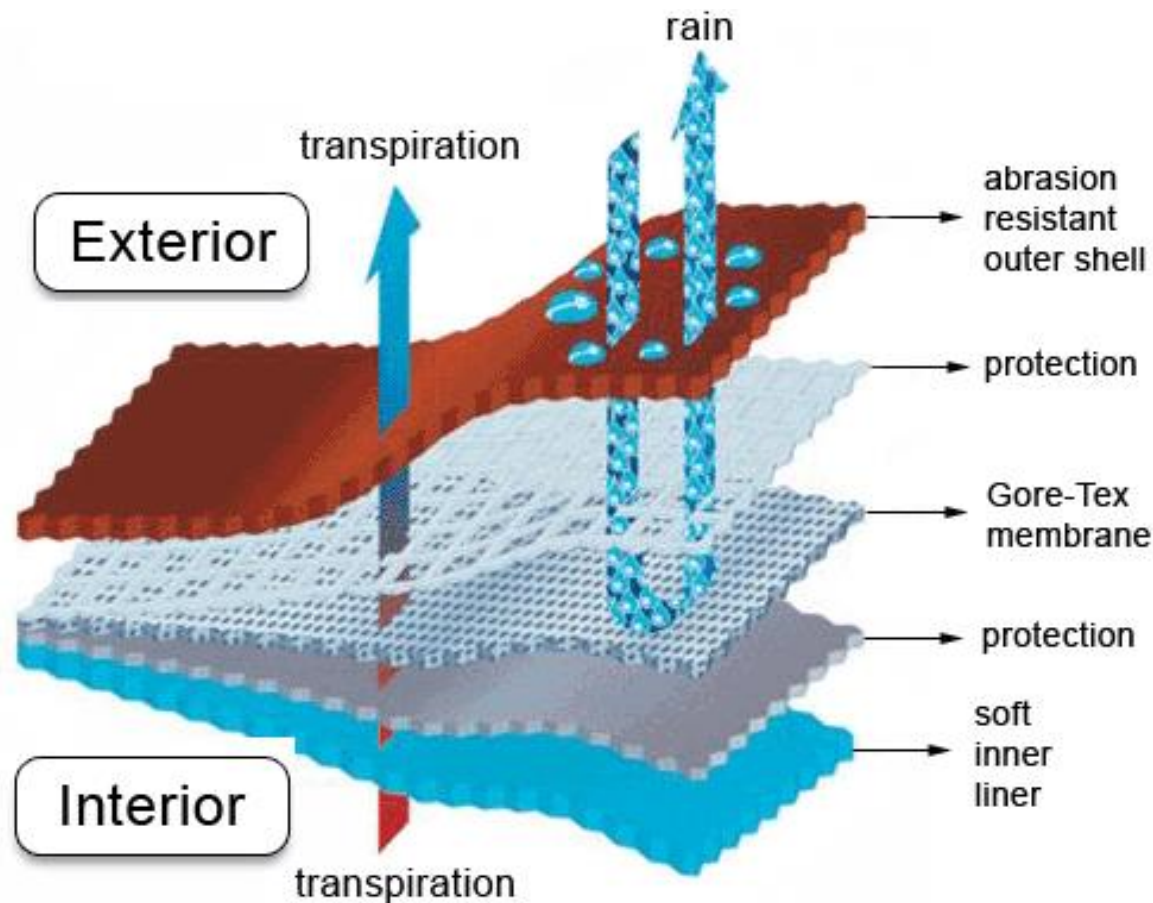


3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.4 Kapilární jevy v praxi

GoreTex

- voda nesmáčí materiál a nepronikne skrz látku

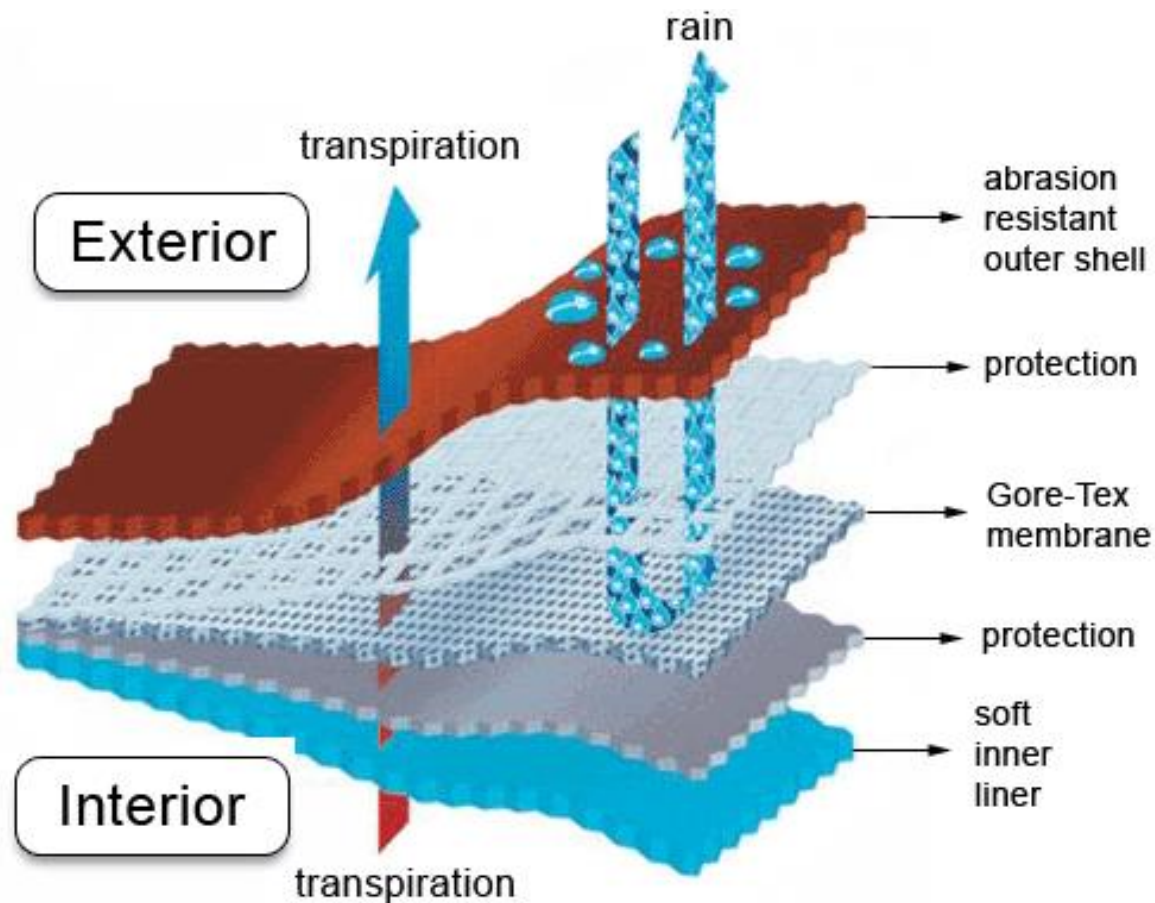


3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.4 Kapilární jevy v praxi

GoreTex

- voda nesmáčí materiál a nepronikne skrz látku

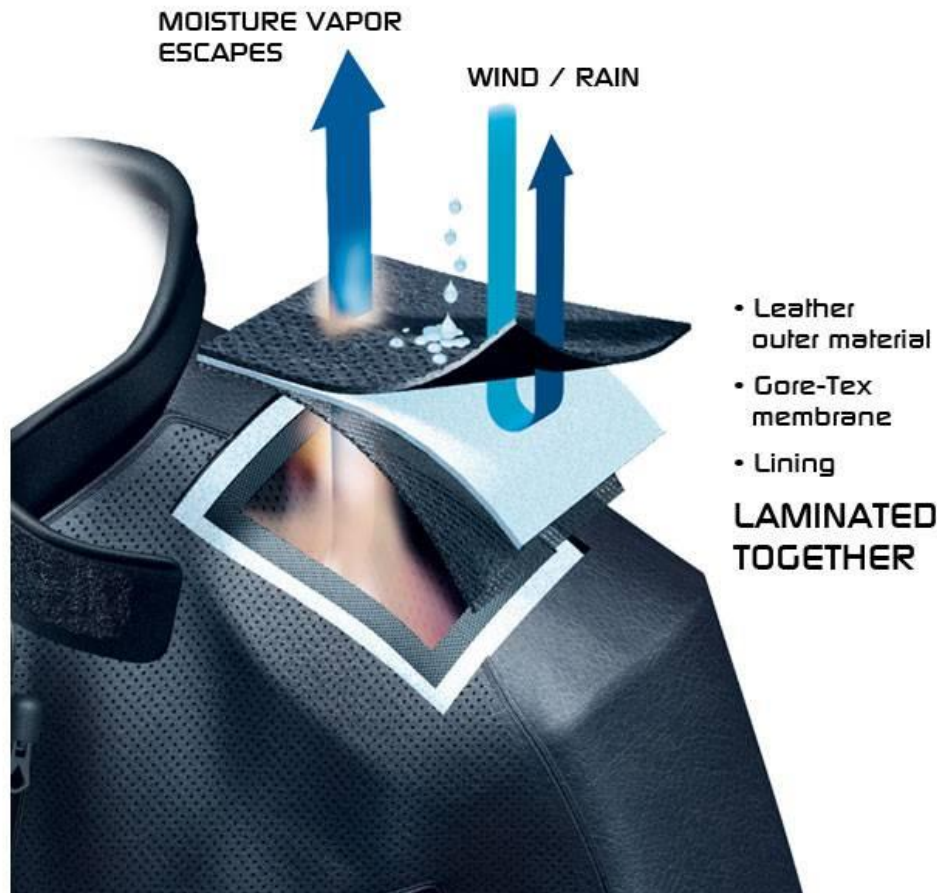


3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.4 Kapilární jevy v praxi

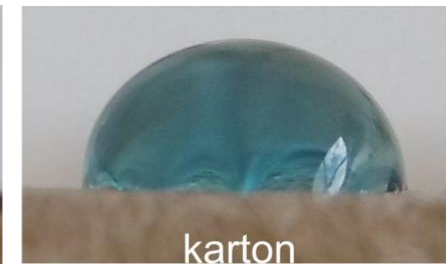
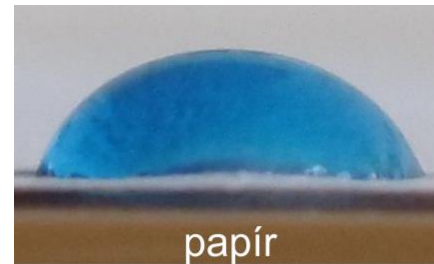
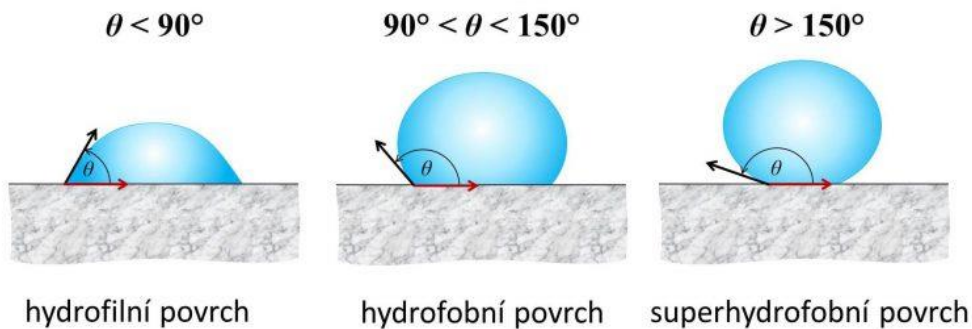
GoreTex

- voda nesmáčí materiál a nepronikne skrz látku



3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.5 Hydrofilní a hydrofobní povrchy



Hydrofilní látky

- Hydrofilní = „vodu milující“
- Hydrofilní látky jsou dobře rozpustné ve vodě: alkoholy, aminokyseliny
- Hydrofilní látky dobře absorbují vodu: cukr, sůl, rýže, gelové kuličky

Hydrofobní látky

- Hydrofobní = „vody bojí se“
- Hydrofobní látky odpuzují vodu, ve vodě jsou nerozpustné: tuky, vosky, alkany, alkeny

3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.5 Hydrofilní a hydrofobní povrchy

Hydrofilní materiály – využití

- pohlcovače vlhkosti
- hydrofilní kosmetika - oleje, krémy
- Zdravotnictví: obinadla, gely na ošetření ran
- floristika

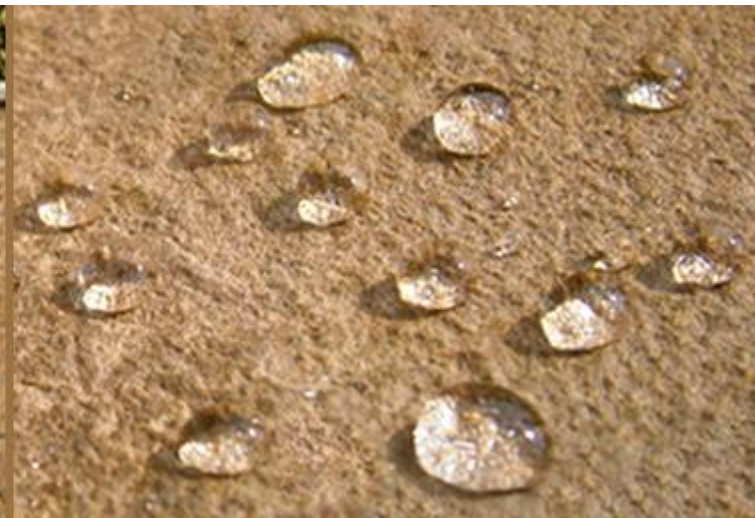


3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.5 Hydrofilní a hydrofobní povrchy

Hydrofobní materiály – využití

- impregnace kamene, betonu
- Impregnace textilu – nanomateriály
- listy rostlin
- Chytré omítky
- Samočistící okna budov nebo automobilů



3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.5 Hydrofilní a hydrofobní povrchy

Hydrofobní textilie



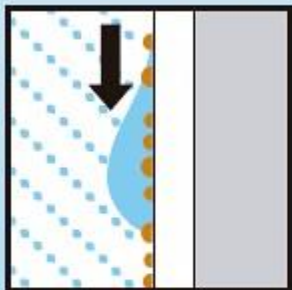
3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.5 Hydrofilní a hydrofobní povrchy

Samočistící povrchy – chytré omítky, skla oken budov, automobilů

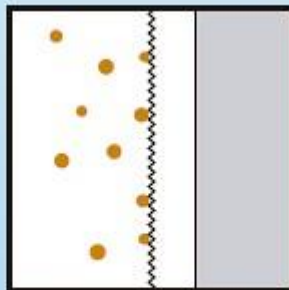


Běžná fasádní barva

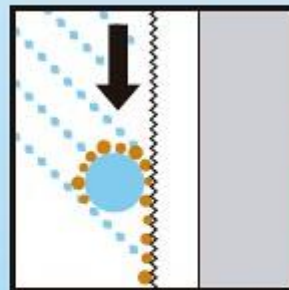


Běžná fasádní barva:
Povrch je méně hydrofobní,
a proto více smáčivý vodou.
Mohou zde zůstat nečistoty.

Působení StoLotusan Color a StoLotusan Color G



StoLotusan Color má povrch
s mikrostrukturou. Tím se extrémně
redukuje kontaktní plocha pro
částičky nečistot a vodu.



Povrch je navíc velmi hydrofobní.
Kapky deště ihned stékají a strhávají
s sebou bez problémů úplně
částičky nečistot.



3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.6 Teplotní objemová roztažnost kapalin

Většina kapalin

- s rostoucí teplotou se zvětšuje objem kapaliny
- různé kapaliny zvětšují při stejném ΔT 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



3. Struktura a vlastnosti kapalin

3.6 Teplotní objemová roztažnost kapalin

Vztah pro objem

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

- V_0 – počáteční objem
- V – konečný objem
- β – součinitel teplotní objemové roztažnosti,
[β] = K^{-1} , hodnoty v MFChT
- ΔT – změna teploty

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

Vztah pro hustotu

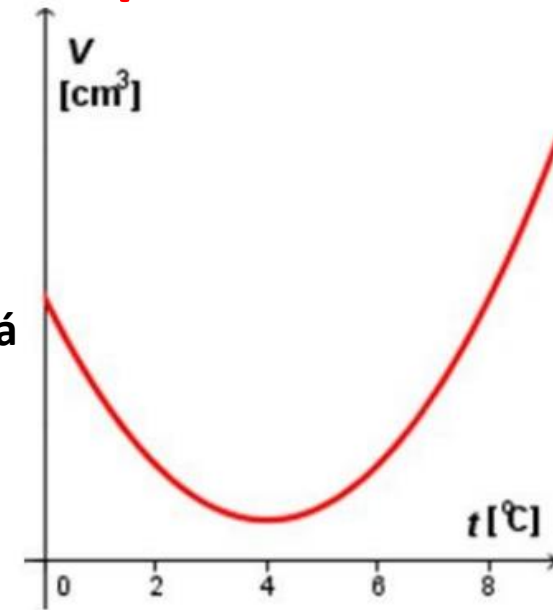
$$\rho = \rho_0(1 - \beta\Delta T)$$

3. Struktura a vlastnosti kapalin

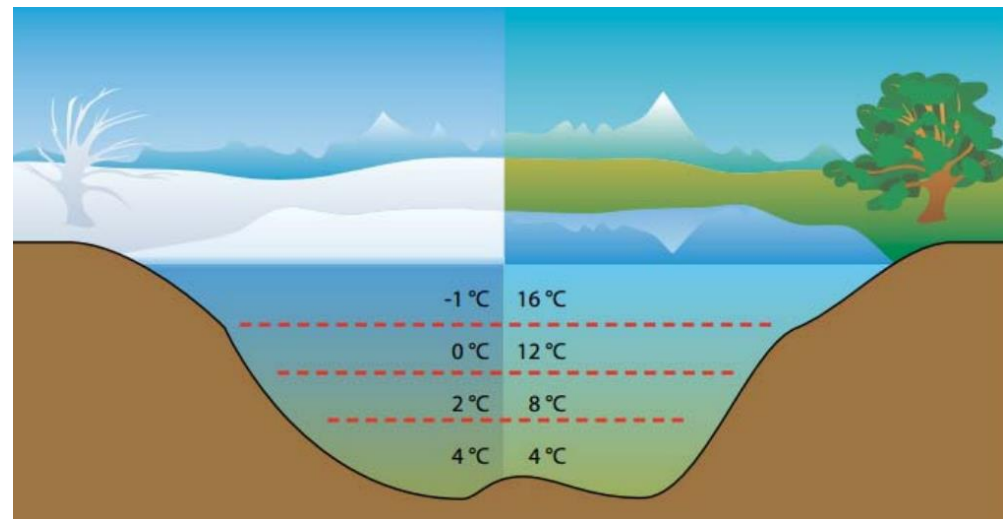
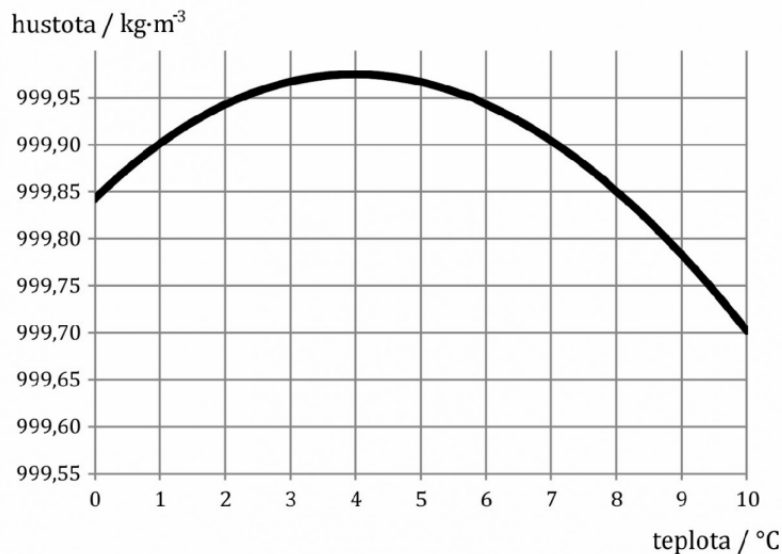
3.6 Teplotní objemová roztažnost kapalin

Anomálie vody

- $0\text{ °C} - 4\text{ °C}$: 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



4. Změny skupenství

4.1 Fázové přeměny

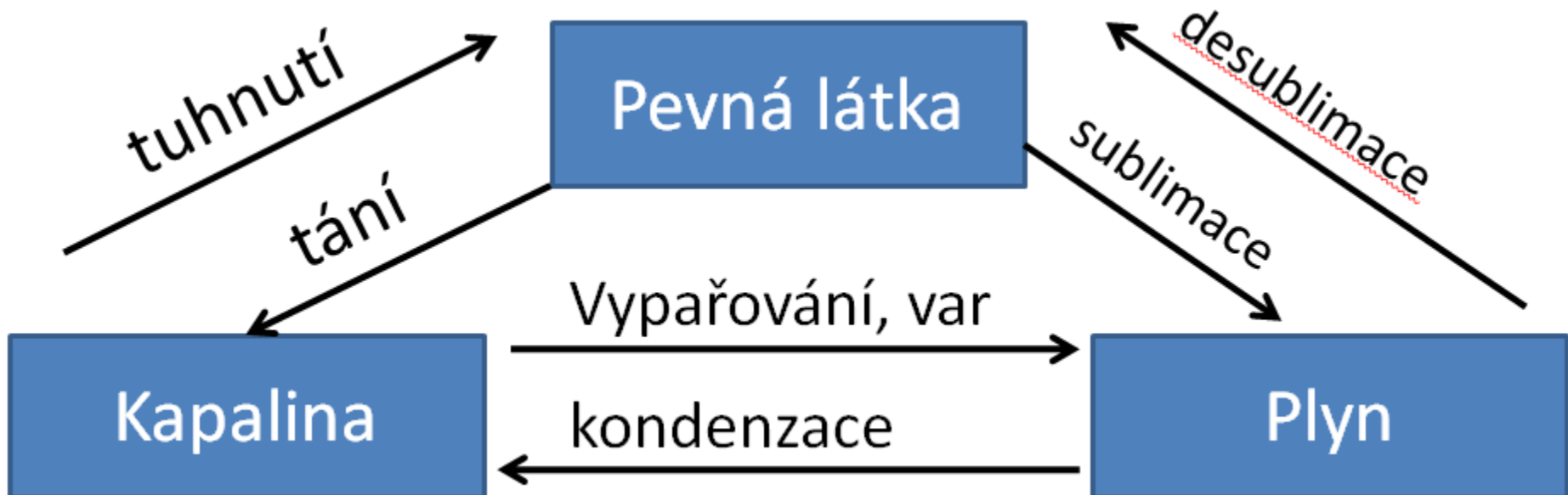
Druhy skupenství

- Pevné, kapalné, plynné, plazma

Změna skupenství – fyzikální děj, při kterém se mění skupenství látky

Fázová přeměna prvního druhu – změna **spojená s pohlcením nebo uvolněním tepla**, mění se objem, př. změna skupenství

Fázová přeměna druhého druhu – není vázána na změnu tepla, nemění se objem, př. změna krystalové mřížky



4. Změny skupenství

4.2 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

4.2 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)

Skupenské teplo tání – L_t $[L_t] = \text{J (joule)}$

$$L_t = m \cdot l_t$$

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

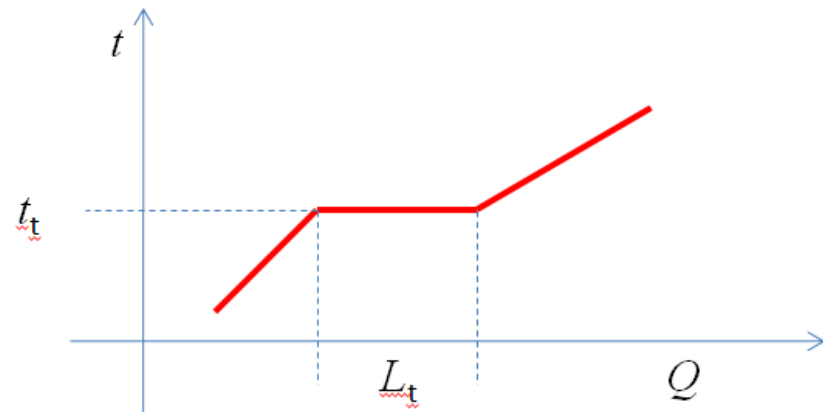
m – hmotnost látky

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

4.2 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

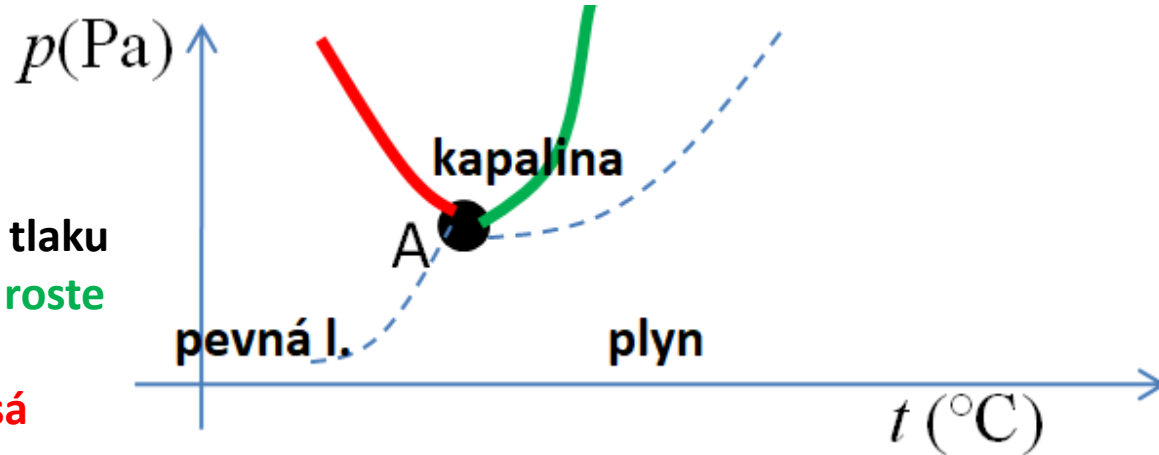
$l_t(\text{led}) = 334 \text{ kJ/kg}$

4. Změny skupenství

4.2 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°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°C**
 - **solení silnic, chodníků – i při teplotách pod 0°C voda nezamrzá**
- dochází k **samočinnému ochlazení** – rozpouštěcí i skupenské teplo se odebírá z roztoku

4. Změny skupenství

4.3 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 funguje potisk textilií a plachtovin?

<http://obchod.geodis.cz/mutoh/sublimacni-tiskarny>

Jak se čistí některé chemické látky?



4. Změny skupenství

4.3 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

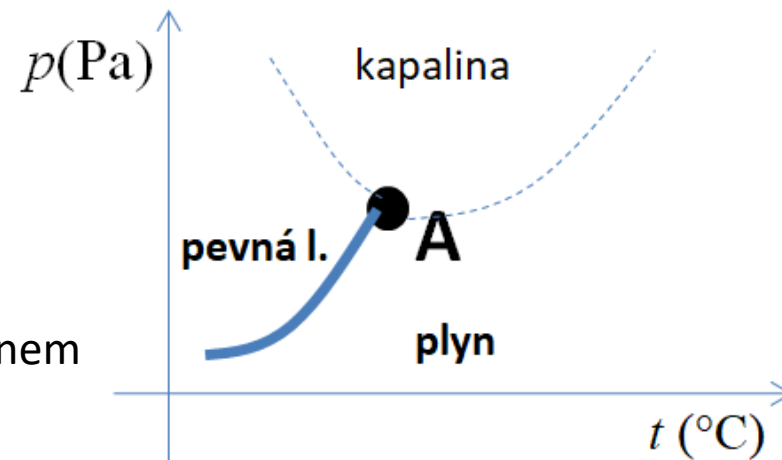
m – hmotnost látky

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 CO_2 (suchý led)



4. Změny skupenství

4.4 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

4.4 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

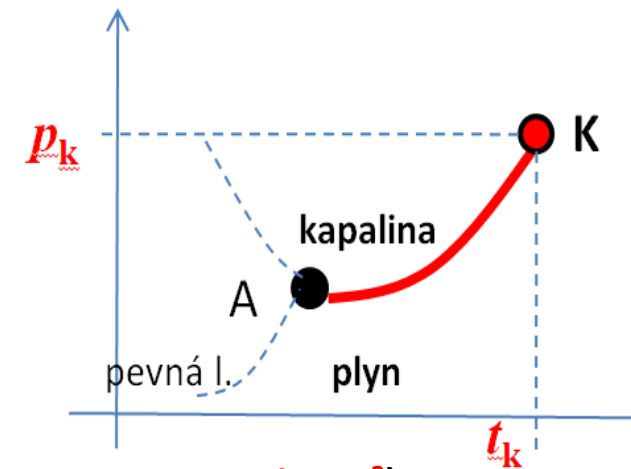
m – hmotnost látky

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⁻³**)
- Po překročení **kritického tlaku p_k** a **kritické teploty t_k** už kapalina neexistuje, pouze pára



4. Změny skupenství

4.4 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

4.5 Sytá a přehřátá pára. 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?

Lze svařovat kovy kyslíkem při teplotě -190 °C ?

Jak fungují CO_2 hasicí přístroje?

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

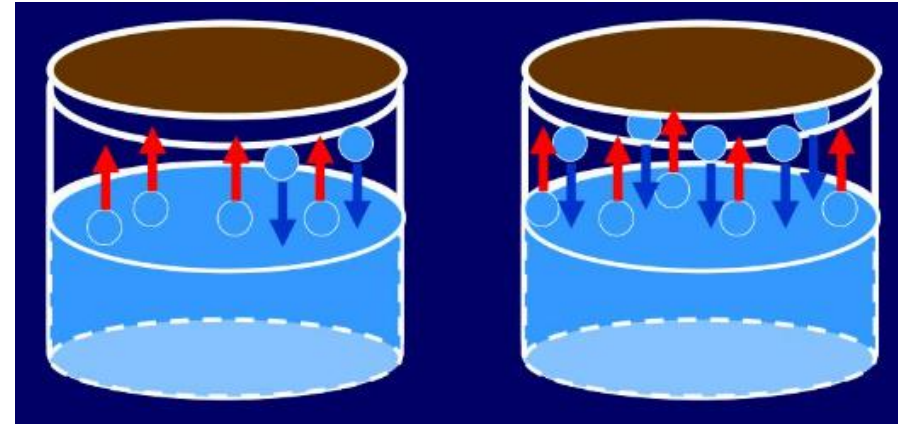


4. Změny skupenství

4.5 Sytá a přehřátá pára. Vodní pára v atmosféře

Sytá pára

- kapalina se vypařuje v uzavřeném prostoru
- molekuly kapaliny difundují nad volný povrch kapaliny, částečně kondenzují a vrací se zpět do kapaliny
- v určitém okamžiku je počet difundujících i vrácených molekul stejný – nad kapalinou vzniká **sytá pára**
- tlak syté páry nezávisí při konstantní teplotě na objemu (tj. neplatí $pV = \text{konst.}$)
- je-li tlak syté páry roven vnějšímu tlaku, dochází k varu



Přehřátá pára

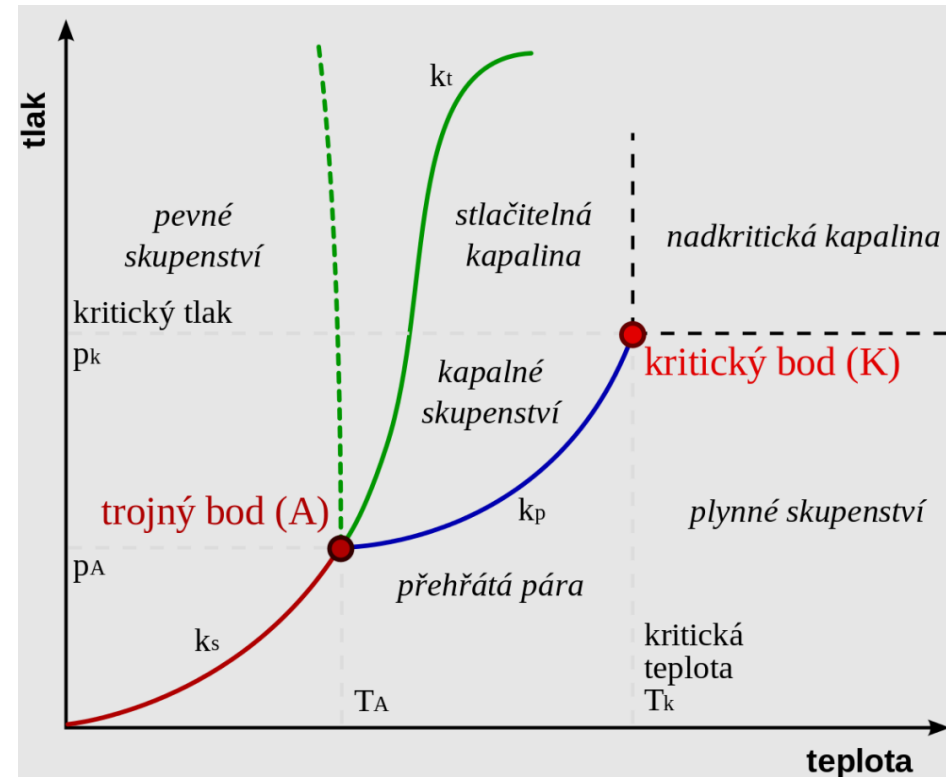
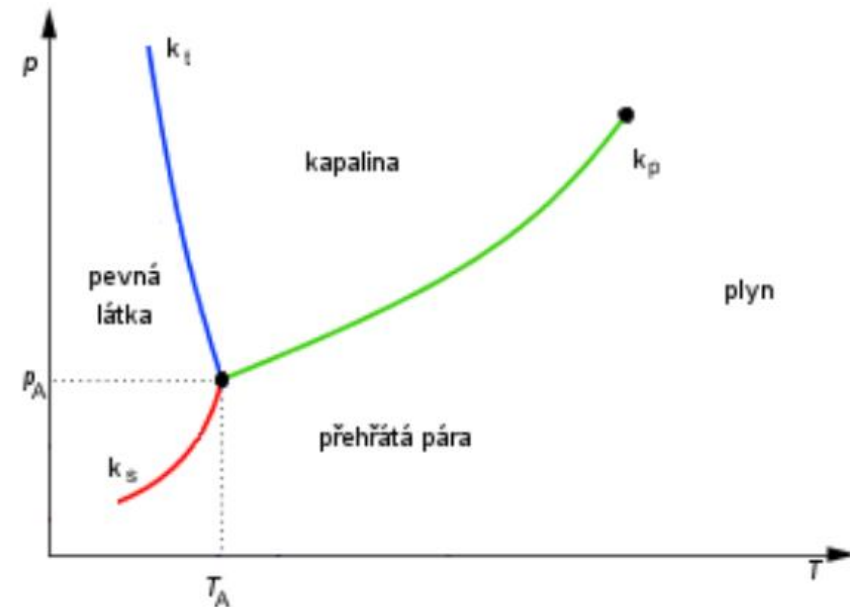
- je pára, která má nižší tlak a hustotu než sytá pára o stejné teplotě
- **platí pro ni stavová rovnice IP**
- **Vzniká:** → zahříváním syté páry bez přítomnosti kapaliny
→ zvětšením objemu syté páry bez přítomnosti kapaliny

4. Změny skupenství

4.5 Sytá a přehřátá pára. Vodní pára v atmosféře

Fázový diagram

- znázorňuje rovnovážný stav mezi pevnou látkou, kapalinou a plynem
- Bod A – **trojný bod** → rovnovážný stav všech skupenství při určitém tlaku a teplotě
- Teplota trojného bodu vody (273 K) → základní teplota termodynamické teplotní stupnice



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 – Φ**
$$\Phi = \frac{m}{V}$$

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

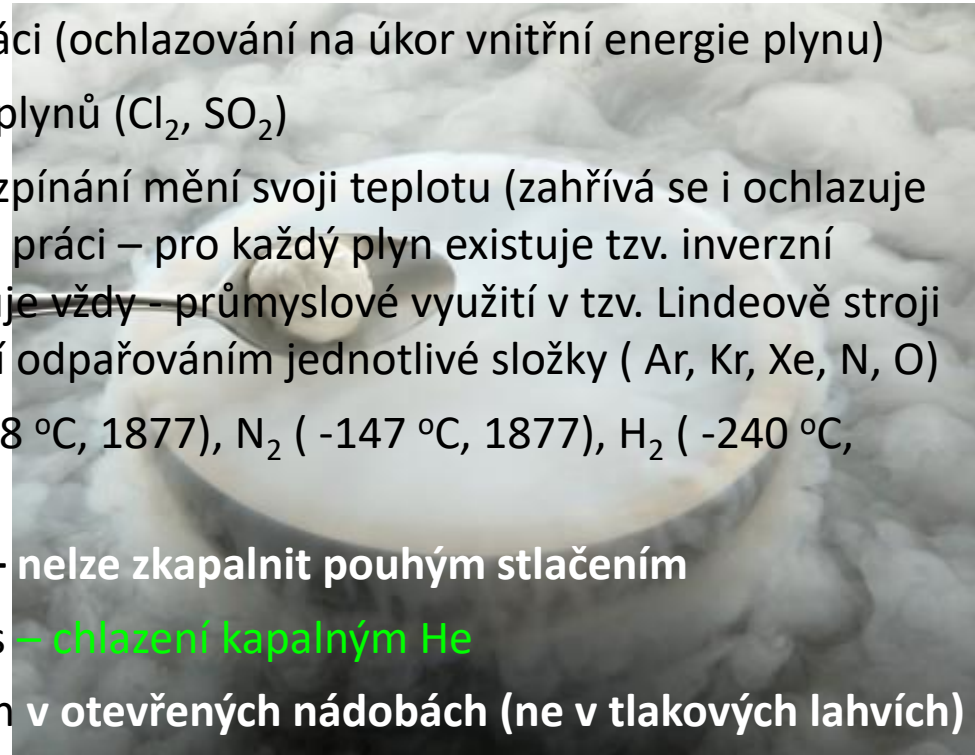
Rosný bod

- 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 (Cl_2 , 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 O_2 (-118 °C, 1877), N_2 (-147 °C, 1877), H_2 (-240 °C, 1898), He (-268 °C, 1908)
- O_2 , N_2 , 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
- **CO_2 hasicí přístroj** – v bombě zčásti kapalný 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 °C a ztuhne v bílý sníh, který netaje ale hned sublimuje. Vytěsňuje také kyslík z okolí hořícího předmětu.



4. Změny skupenství

4.5 Sytá a přehřátá pára. 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 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)