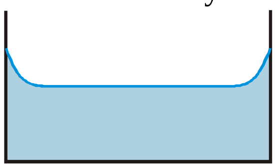
2.5.3 Kapilární jevy

Předpoklady: 2502

Postřeh: Hladina vody ve skleněné nádobě není u krajů vodorovná. Voda „šplhá“ po stěnách nahoru.

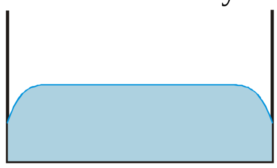
Dva základní druhy chování kapaliny v nádobě:

Kapalina smáčí stěny nádoby.



Například voda ve skle, líh ve skle, rtuť v mědi.

Kapalina nesmáčí stěny nádoby.

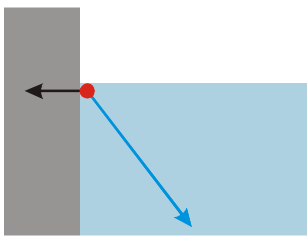


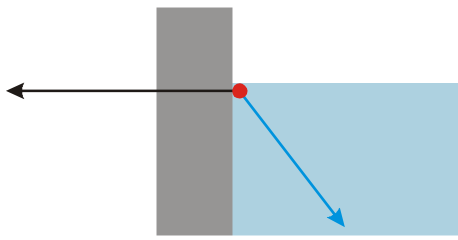
Například voda ve vosku, rtuť ve skle.

Je zřejmé, že o chování kapaliny u stěny nádoby rozhoduje:

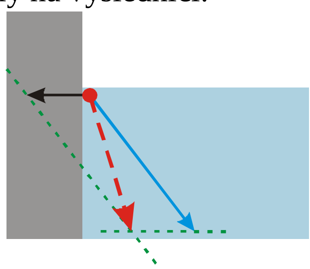
- vzájemné přitahování částic kapaliny,
- přitahování částic kapaliny částicemi pevné látky.

Př. 1: Na následujících obrázcích jsou nakresleny síly působící na jednu z krajních částic kapaliny. Modrá síla znázorňuje celkové působení ostatních částic kapaliny, černá síla znázorňuje celkové působení částic pevné látky. U každého obrázku najdi výslednou sílu a rozhodni, zda v tomto případě bude kapalina smáčet (nesmáčet) stěnu nádoby.

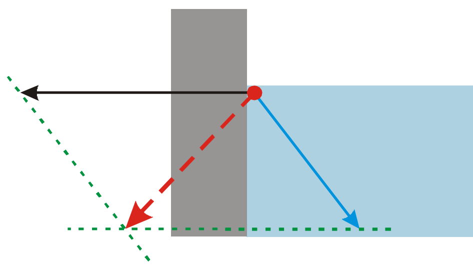




Sečteme síly na výslednici:



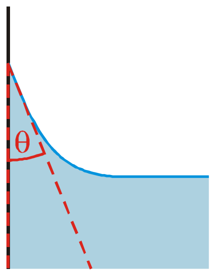
Částice kapaliny je vtahována dovnitř kapaliny, od stěny nádoby $\Rightarrow$ kapalina nesmáčí stěnu.



Částice kapaliny je vtahována ven z kapaliny, ke stěně nádoby $\Rightarrow$ kapalina smáčí stěnu.

V obou případech se hladina kapaliny zakřiví tak, aby její povrch byl kolmý k výsledné síle a nenastal tak pohyb v povrchové vrstvě.

Kvantitativně je smáčivost povrchu kapalinou určena stykovým úhlem θ.



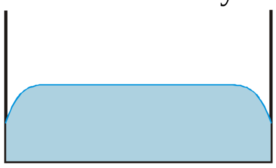
Př. 2: Urči rozsahy hodnot stykového úhlu pro jednotlivé možnosti zakřivení povrchu kapaliny u stěny nádoby.

- $\theta = 0$ - kapalina dokonale smáčí stěnu nádoby.
- $\frac{\pi}{2} > \theta > 0$ - kapalina smáčí stěnu nádoby.
- $\theta = \frac{\pi}{2}$ - povrch kapaliny je nezakřivený.
- $\pi > \theta > \frac{\pi}{2}$ - kapalina nesmáčí stěnu nádoby.
- $\theta = \pi$ - kapalina dokonale nesmáčí stěnu nádoby.

Konkrétní hodnoty: voda-sklo $\theta = 8°$, rtuť-sklo $\theta = 128°$.

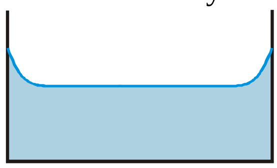
Zakřivený povrch kapaliny způsobuje také změny tlaku v kapalině (kapilární tlak z minulé hodiny):

Kapalina nesmáčí stěny nádoby.



Výsledná síla vzniklá součtem povrchových sil směřuje dovnitř (jako u kapky) $\Rightarrow$ tlak v kapalině se zvětšuje.

Kapalina smáčí stěny nádoby.

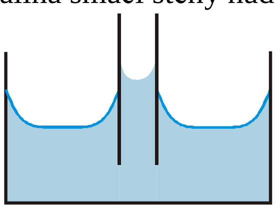


Výsledná síla vzniklá součtem povrchových sil směřuje ven z kapaliny $\Rightarrow$ tlak v kapalině se snižuje.

Předchozí efekt se nejvíce projeví, pokud do vody ponoříme tenkou dutou trubici (kapiláru). Kapalina uvnitř trubice vytvoří povrch se stejným typem zakřivení jako u stěny nádoby $\Rightarrow$ mění výše naznačeným způsobem tlak v kapalině (jehož vyrovnávání je příčinou vodorovné hladiny kapalin) $\Rightarrow$ mění výšku kapaliny v kapiláře.

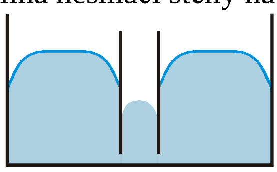
Př. 3: Odhadni, jak se změní výška hladiny v kapiláře, pokud kapalina materiál kapiláry:
a) smáčí b) nesmáčí.

Kapalina smáčí stěny nádoby.



Kapalina vytvoří v kapiláře dutý povrch, který snižuje tlak v kapalině $\Rightarrow$ kapalina musí

Kapalina nesmáčí stěny nádoby.



Kapalina vytvoří v kapiláře vypuklý povrch, který zvyšuje tlak v kapalině $\Rightarrow$ kapalina musí vystoupat níže, aby byl tlak stejný jako vystoupat výše, aby byl tlak stejný jako ve zbytku kapaliny $\Rightarrow$ **kapilární elevace.**

ve zbytku kapaliny $\Rightarrow$ **kapilární deprese.**

Pokud budeme předpokládat, že kapalina dokonale smáčí (nesmáčí) stěny kapiláry, můžeme změnu hladiny spočítat.
Změna hydrostatického tlaku musí vyrovnat kapilární tlak způsobený zakřivením povrchu kapaliny: $p = p_k$

$h\rho g = \frac{2\sigma}{R}$ (pouze jeden povrch)

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

Dodatek: Vzorec $h = \frac{2\sigma}{\rho g R}$ platí pouze pro kapaliny, které dokonale smáčí stěnu nádoby.

V ostatních případech platí vztah $h = \frac{2\sigma\cos\theta}{\rho g R}$ (pro vodu $\theta = 8°$ tak získáváme dobrou shodu se vzorcem $h = \frac{2\sigma}{\rho g R}$, protože $\cos 8° = 0{,}99$).

Př. 4: Urči vnitřní průměr kapiláry z pokusu, pokud voda vystoupala přibližně do výšky 1 cm?

$\sigma = 0{,}073\,\mathrm{N\cdot m^{-1}}$, $h = 1\,\mathrm{cm} = 0{,}01\,\mathrm{m}$, $\rho = 1000\,\mathrm{kg\cdot m^{-3}}$, $g = 10\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$, $h = ?$

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

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

$$R = \frac{2\sigma}{h\rho g} = \frac{2\cdot 73\cdot 10^{-3}}{0{,}01\cdot 1000\cdot 10}\,\mathrm{m} = 0{,}0015\,\mathrm{m} = 1{,}5\,\mathrm{mm} \Rightarrow d = 3\,\mathrm{mm}$$

Kapilára má vnitřní průměr $3\,\mathrm{mm}$.

Př. 5: Do vařící vody strčíme kapiláru. Jak se bude během chladnutí vody měnit výška vody v kapiláře?

S rostoucí teplotou povrchové napětí vody klesá $\Rightarrow$ při chladnutí vody bude její povrchové napětí růst a podle vzorce $h = \frac{2\sigma}{\rho g R}$ bude růst i výška vody v kapiláře.

Značný význam kapilárních jevů:

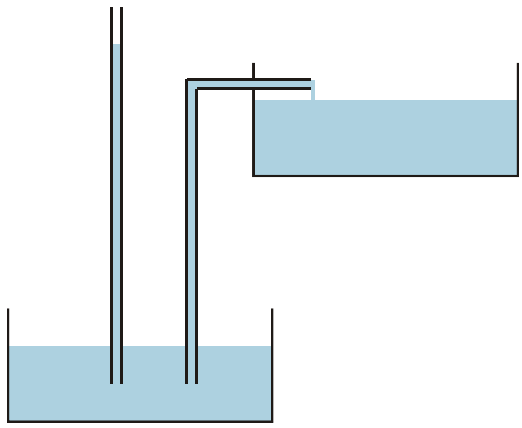
- vzlínání vody z hloubek tenkými kapilárami k povrchu,
- transport vody v cévách rostlin,
- nasávání kapalin do knotů.

Př. 6: Po zasetí osiva se pole často válcují. Zkus vysvětlit.

Semena potřebují na vzklíčení dostatek vláhy. Válcováním se v půdě vytváří tenké kapiláry, kterými může z hloubek vzlínat voda k povrchu.

K opačnému účelu pak slouží okopávání a orba, kdy se kapiláry naopak narušují, aby voda nevzlínala vzhůru a zbytečně se nevypařovala z půdy. Navíc během okopávání odstraníme vzrostlý plevel, nový pak klíčí jenom obtížně, protože vrchní vrstva půdy obsahuje málo vody (kvůli přerušení kapilár).

Př. 7: Jedním z návrhů na perpetum mobile je zařízení, které využívá kapilární elevace. Voda vzlíná kapilárou, která je ukončena ještě před maximální možnou výškou. Voda vytékající z této kapiláry pak pohání svou potenciální energii například vodní turbínu.



Perpetum nemůže fungovat uvedeným způsobem. Kapalina stoupá v kapiláře pouze díky přilnavosti ke stěně kapiláry $\Rightarrow$ vystoupá ke konci, ale na konci kapiláry nebude vytékat ven, protože ji bude v kapiláře držet přilnavost ke stěně.

Shrnutí: