

## 2.5.1 Povrchová síla, povrchové napětí

### Předpoklady:

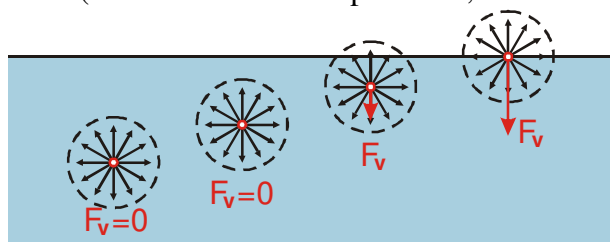
Základní vlastnosti kapalin:

- Vzdálenost částic je srovnatelná se vzdáleností částic u pevných látek (srovnatelná hustota)  $\Rightarrow$  vzájemné přitahování částic hraje velkou roli.
- Kinetická energie kmitavého pohybu je větší než u pevných látek (a tedy srovnatelná s polohovou -  $E_k \doteq E_p$ )  $\Rightarrow$  částice kapaliny kmitají kolem rovnovážných poloh, které se řádově po nanosekundách mění (změny rovnovážných poloh ve směru vnějších sil vnímáme jako tekutost).

### Pokus:

- Na vodní hladinu opatrně položíme bokem minci  $\Rightarrow$  mince klesá ke dnu  $\Rightarrow$  hustota kovu je větší než hustota vody (podle očekávání).
- Stejnou minci položíme na vodní hladinu na plocho  $\Rightarrow$  mince plave  $\Rightarrow$  musela se objevit další síla, která působí na minci směrem nahoru.

Vzájemné působení částic kapaliny: Na každou částici působí částice v jejím bezprostředním okolí (sféra molekulového působení, řádově 1 nm, několik mezimolekulových vzdáleností).



Výsledná síla na částici u hladiny směřuje dovnitř do kapaliny  $\Rightarrow$  krajní molekuly jsou vtahovány dovnitř, kam ale nemohou (už jsou tam jiné molekuly)  $\Rightarrow$  kapalina se snaží zmenšovat svůj povrch (aby nešťastných molekul na okrajích, které se tlačí dovnitř, bylo co nejméně).  $\Rightarrow$

- Povrch kapaliny se chová jako tenká pružná blána.
- Molekuly v povrchové vrstvě mají větší potenciální energii než molekuly uvnitř kapaliny (povrchová energie).
- Kapalina má tendenci vytvářet kapky (koule má při daném objemu nejmenší povrch).

<http://www.youtube.com/watch?v=Oz36sApgMMo>

<http://www.youtube.com/watch?v=ZyTwLAW-Z8c&feature=related>

**Pedagogická poznámka:** Druhé video je pro studenty velmi přesvědčivé, kapka vody se v něm opravdu chová tak, jako by byla zabalena do průhledné fólie.

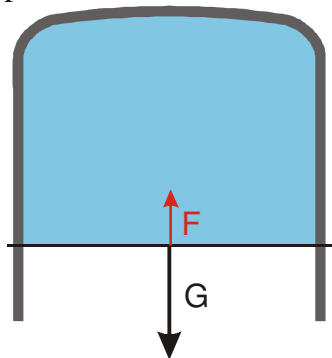
Co udrželo minci na hladině?

Mince při klesání do vody vytváří na hladině prohlubeň  $\Rightarrow$  zvětšuje povrch kapaliny  $\Rightarrow$  kapalina se snaží povrch opět zmenšit a prohlubeň zarovnat  $\Rightarrow$  působí na minci směrem vzhůru a tím ji udrží na hladině.

Proč kolmo položená mince klesne?

Dotýká se povrchu kapaliny na menší ploše  $\Rightarrow$  dokáže prorazit povrchovou vrstvu, pak už ji nic nenadlehčuje.

Pevný rámeček s jednou pohyblivou příčkou namočíme do vody s jarem. Voda vytvoří blanku, která začne táhnout příčku nahoru (voda se snaží zmenšit svůj povrch). Můžeme měřit povrchovou sílu, kterou voda táhne za příčku.



Pozor:

- Síla, kterou naměříme, je dvakrát větší než síla, kterou voda z jednoduchého povrchu táhne za příčku, protože blanka má dva povrchy.
- Síla, která vzniká kvůli nerovnoměrnému působení kapaliny na její krajní molekuly, nesměruje dovnitř kapaliny, ale vodorovně s jejím povrchem.

Pokusem je možné zjistit, že povrchová síla blány na příčku, je přímo úměrná její délce  $\Rightarrow F = k \cdot l$ . Konstanta úměrnosti  $k$  se značí sigma  $\sigma \Rightarrow F = \sigma \cdot l$ .

**Př. 1:** Urči jednotky, ve kterých se udává velikost konstanty  $\sigma$  ze vztahu pro velikost povrchové síly. Jaký je význam konstanty  $\sigma$ ?

$$F = \sigma \cdot l$$

$\sigma = \frac{F}{l}$  (konstanta  $\sigma$  udává, jak moc se kapalina snaží zmenšit svůj povrch  $\Rightarrow$  **povrchové napětí**)

Jednotka:  $\sigma = \frac{F}{l} = \frac{1\text{N}}{1\text{m}} = 1\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ .

Povrchové napětí závisí na:

- teplotě (s rostoucí teplotou klesá),
- druhu kapaliny.

Hodnoty povrchového napětí některých kapalin vůči vzduchu při 20°C:

kapalina	voda	voda 50°C	voda 100°C	ethanol	rtuť	diethylether
$\sigma_{20} [10^{-3} \text{N} \cdot \text{m}^{-1}]$	73	68	59	22	487	16

Materiálovou konstantou, která určuje velikost povrchové síly, je povrchové napětí  $\sigma [ \text{N} \cdot \text{m}^{-1} ]$ . Povrchové napětí je dáno vztahem  $\sigma = \frac{F}{l}$ .

**Př. 2:** Pokus se vysvětlit, proč se u hodnot povrchového napětí udává i sousloví „vůči vzduchu“.

Na molekuly v povrchové vrstvě kapaliny působí také molekuly druhého prostředí a ovlivňují tak velikost povrchové síly a tím i velikost povrchového napětí.

Proč jsme v pokusu s rámečkem použili místo čisté vody vodu s jarem?

- Jar snižuje povrchové napětí vody (typicky 3-4 krát) a tím i povrchovou sílu, která je u čisté vody tak silná, že většinou rychle přetrhne blanku, která vznikne na rámečku.
- Molekuly jaru se „rozmístí“ na povrchu vody a zabraňují tak jejímu vypařování (a tím protržení blanky).

**Př. 3:** Urči sílu, kterou musíme držet příčku na rámečku, pokud se přidáním jaru snížilo povrchové napětí vody na čtvrtinu. Příčka rámečku má délku 7 cm.

$$l = 7 \text{ cm}, \sigma = \frac{\sigma_{\text{voda}}}{4} = \frac{73 \cdot 10^{-3}}{4} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}, G = ?$$

$$G = 2F \quad (\text{blanka má dva povrchy})$$

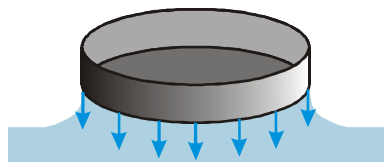
$$G = 2\sigma l = 2 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 10^{-2} \text{ N} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Příčku rámečku je nutné držet silou 0,0025 N.

**Pedagogická poznámka:** Z hlediska vnímání výuky je předchozí příklad zajímavý tím, že i když byli studenti deset, patnáct minut před jeho řešením upozorněni na skutečnost, že blanka má dva povrchy, jen velmi málo z nich tento fakt zohlední při řešení příkladu.

**Př. 4:** Víčko od spindle balení CD má tvar nízkého válce bez jedné z podstav. Víčko o hmotnosti 8 g se dotýká vodní hladiny vrchní stranou (strana s plnou podstavou). Jakou silou musíme víčko od vodní hladiny odtrhnout, jestliže má průměr 12,6 cm. Změní se potřebná síla, když se víčko bude vody dotýkat spodní stranou (strana bez podstavu).

$$\sigma = 73 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}, d = 12,6 \text{ cm} = 0,126 \text{ m}, m = 8 \text{ g} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ kg}, F = ?$$

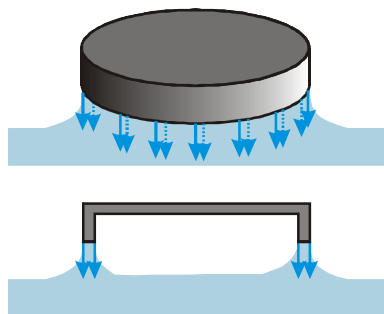


Voda přilne k vrchní straně víčka. Když se snažíme víčko z vody vytáhnout, musíme překonávat kromě gravitace i povrchovou sílu vodního sloupce, který táhne za víčkem.

$$F = \sigma l = \sigma \pi d = 73 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 0,126 \text{ N} = 2,9 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

$$F_g = mg = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \text{ N} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

$$F_c = F + F_g = 2,9 \cdot 10^{-2} + 8 \cdot 10^{-2} \text{ N} = 10,9 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$



Jak je vidět z kolmého řezu, v tomto případě (podobně jako v případě rámečku) je voda přichycena k víčku pomocí dvou vrstviček  $\Rightarrow$  voda je přitahována dvěma povrchy a tedy i dvojnásobnou silou.

$$F = 2\sigma l = \sigma \pi d = 2 \cdot 73 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 0,126 \text{ N} = 5,8 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

$$F_g = mg = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \text{ N} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

$$F_c = F + F_g = 5,8 \cdot 10^{-2} + 8 \cdot 10^{-2} \text{ N} = 13,8 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

**Pedagogická poznámka:** Pokud je čas můžete zkusit se studenty podebatovat o tom, zda je možné tento rozdíl rozeznat, nebo jak pokus změnit, aby byl rozdíl sil větší.

**Př. 5:** Starý československý desetník má hmotnost 1,1 g a průměr 22 mm. Ověř, zda ho může povrchová síla vody udržet na hladině. Vysvětli.

$$\sigma_{20} = 73 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}, m = 1,1 \text{ g} = 0,0011 \text{ kg}, d = 22 \text{ mm} \Rightarrow r = 11 \text{ mm} = 0,011 \text{ m}, F_g = ?, F_p = ?$$

Na desetník na hladině působí dvě síly:

- gravitační síla  $F_g$  směrem dolů,
- povrchová síla vody směrem nahoru.

Povrchová síla vody by měla být větší (mince se drží nad hladinou).

$$F_g = mg = 0,0011 \cdot 10 \text{ N} = 0,011 \text{ N}$$

$$F_p = \sigma l = \sigma \cdot 2\pi r = \sigma_{20} = 73 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,011 = 0,005 \text{ N}$$

Šok: Povrchová síla vody nemá ani poloviční velikost potřebnou k tomu, aby se mince udržela na hladině  $\Rightarrow$  na minci působí další síla směrem nahoru.

Nápad: Hladina se pod mincí prohne  $\Rightarrow$  zespoda působí na minci hydrostatický tlak kapaliny  $\Rightarrow$  spočteme jak moc se hladina musí prohnout, aby hydrostatický tlak dodal potřebnou sílu.

$$F_h = pS = h\rho g \cdot \pi r^2$$

$$h = \frac{F_g - F_p}{\rho g \cdot \pi r^2} = \frac{0,011 - 0,005}{1000 \cdot 10 \cdot \pi \cdot 0,011^2} \text{ m} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,6 \text{ mm}$$

Spočtená hodnota přibližně odpovídá výšce mince, což je přibližně hloubka pronutí vodní hladiny.

**Shrnutí:** Povrchové částice kapaliny jsou přitahovány dovnitř. Tak vzniká povrchová síla, popisovaná pomocí povrchového napětí.