

2.5.1 Povrchová síla, povrchové napětí

Předpoklady:

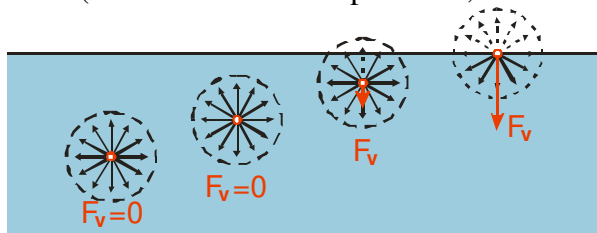
Základní vlastnosti kapalin:

- 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.

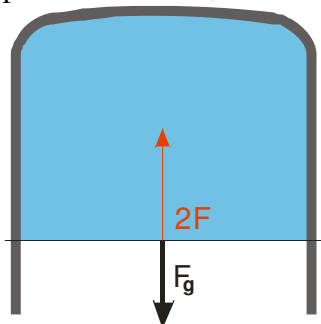
Co udrželo minci na hladině?

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 σ ze vztahu pro velikost povrchové síly. Jaký je význam konstanty σ ?

$$F = \sigma \cdot l$$

$\sigma = \frac{F}{l}$ (konstanta σ 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 $\sigma [N \cdot m^{-1}]$. 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.

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

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

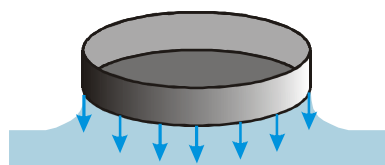
$$G = 2\sigma l = 2 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 10^{-2} \text{ N} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

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 spindlu 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).

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

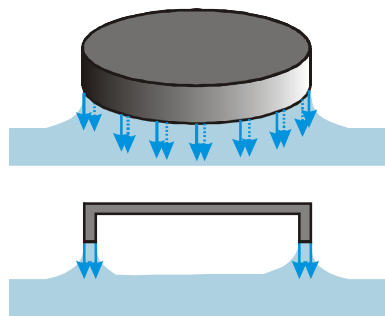


Voda přilne k vrchní straně víčka. Když se snažíme víčko z vody vytáhnout, musíme překonávat kromě gravitace i povrchovou sílu vodního sloupce, který táhneme za víčkem.

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

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

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



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.

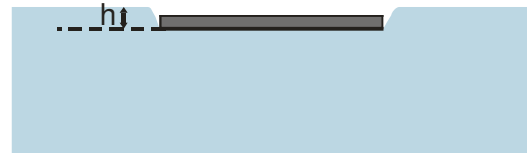
Povrchová síla vody by měla být větší (mince se drží nad hladinou).

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

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

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 prohnut, 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 prohnutí vodní hladiny.

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