2.5.2 Jevy způsobené povrchovým napětím

Předpoklady: 2501

Pomůcky: voda, miska, jar, párátko (špejle), roztok jaru, rámeček s nitkou.

Př. 1: Vysvětli, proč voda unikající z netěsnícího kohoutku nevytéká velmi tenkým proudem, ale vykapává v kapkách.

Povrchová síla vody se snaží zmenšit její povrch $\Rightarrow$ drží kapalinu u výtoku. Na kapalinu působí dvě síly:

- Povrchová síla směrem nahoru – úměrná obvodu kapky, která se vytváří u výtoku.
- Gravitační síla směrem dolů – úměrná množství vody v kapce.

Množství vody narůstá $\Rightarrow$ zvětšuje se gravitační síla, povrchová síla se příliš nemění $\Rightarrow$ v určitém okamžiku se obě síly vyrovnají, ihned poté začne gravitační síla převažovat a kapku utrhne.

Př. 2: Nastav kohoutek tak, aby z něj kapala studená voda. Poté nastav kohoutek tak, aby z něj kapala se stejnou frekvencí voda horká. Které vody nakape za stejnou dobu větší množství?

S rostoucí teplotou povrchové napětí klesá $\Rightarrow$ horké kapičky drží u výtoku menší povrchová síla $\Rightarrow$ utrhnou se dříve $\Rightarrow$ budou menší než kapičky studené $\Rightarrow$ jejich celkový objem bude menší.

Př. 3: Urči průměr vodní kapky v místě zaškrcení, pokud sto kapek má objem 7 ml.

$\sigma = 73\cdot10^{-3}\ \mathrm{N\cdot m^{-1}}$, $V = 7\ \mathrm{ml} = 7\cdot10^{-6}\ \mathrm{m^3}$, $d = ?$

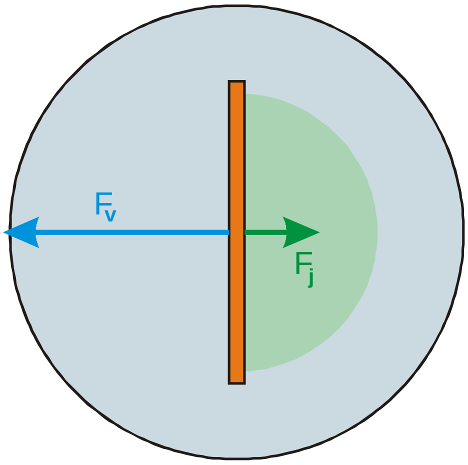
Hmotnosti 100 kapek: $m = V\rho = 7\cdot10^{-6}\cdot10^{3}\ \mathrm{kg} = 7\cdot10^{-3}\ \mathrm{kg}$.

Hmotnost jedné kapky: $m = 7\cdot10^{-5}\ \mathrm{kg}$.

$$F = F_g$$
$$\sigma\cdot o = mg$$
$$\sigma\cdot\pi d = mg$$
$$d = \frac{mg}{\sigma\pi} = \frac{7\cdot10^{-5}\cdot10}{73\cdot10^{-3}\cdot\pi}\ \mathrm{m} = 3\cdot10^{-3}\ \mathrm{m}$$

Vodní kapka má v místě zaškrcení průměr 3 mm.

Př. 4: Na vodní hladině plave párátko (sirka). Napravo od párátka kápneme do vody jar, který podstatně zmenší její povrchové napětí. Nakresli do obrázku síly povrchového napětí, které působí na sirku. Jakým směrem se sirka začne pohybovat?

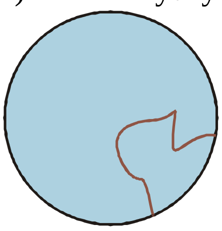


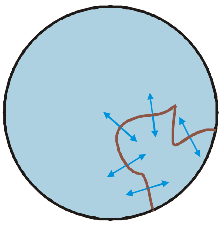
Povrchové napětí napravo od sirky se zmenší $\Rightarrow$ síla, kterou se kapalina napravo od sirky snaží sirku přitáhnout a zmenšit tak svůj povrch (zelená šipka), se zmenší $\Rightarrow$ sirka bude více přitahována nalevo, kam se začne pohybovat.

Pedagogická poznámka: Příklad by určitě měli studenti udělat sami, je z něj dobře poznat zda mají představu o správném směru povrchové síly (pro mnohé je přirozenější představou opačný směr působení, i když neodpovídá významu povrchového napětí). Následovat by měla demonstrace.

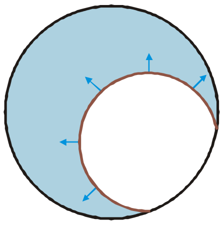
Pedagogická poznámka: Při posledním průchodu měl jeden ze studentů námitky proti vysvětlení pohybu párátka pomocí povrchového napětí a argumentovat tím, že kapka jaru byla velká a odstrčila párátko svým dopadem. V hodině jsme tedy ihned hledali provedení pokusu, které by tuto námitku vyloučilo (menší kapka z menší výšky, ale hlavně kápnutí větší kapkou čisté vody z větší výšky, které se sirkou nic neudělá). Myslím, že příště pokud se nikdo neozve, zkusím podobnou debatu vyvolat sám.

Př. 5: Na okraji kruhového rámečku je přivázána smyčka z nitě. Rámeček ponoříme do mýdlového roztoku tak, aby se na něm vytvořila mýdlová blána (smyčka z nitě je součástí blány). Co se stana pokud mýdlovou blánu propíchneme:
a) uvnitř smyčky b) mimo smyčku.





V každém bodě nitě, působí povrchové síly kapaliny stejně silně do opačných směrů $\Rightarrow$ pokud existuje blána na obou stranách, nit zůstává nenapnutá.

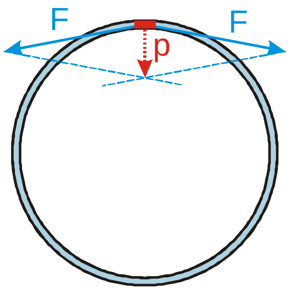


Pokud blánu propíchneme uvnitř smyčky, budou na nit působit síly vnější blány, které smyčku natáhnou tak, aby zabírala maximální plochu (a zmenšila tak co nejvíce plochu blány).

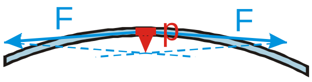
Pokud blánu propíchneme mimo smyčku, budou na nit působit síly vnitřní blány, které smyčku rychle smrští ke kraji rámečku (a plochu blány zmenší na nulu).

Podíváme se na bubliny, které foukají děti z bublifuku. Bublinu tvoří vzduch uzavřený v tenké vrstvičce kapaliny $\Rightarrow$ kapalina má dva povrchy (jako blanka na rámečku). Kapalina se snaží zmenšit své povrchy $\Rightarrow$ stlačuje vzduch uvnitř (do okamžiku, kdy tlak vzduchu vyrovná tlak kapaliny).
Kde se ale bere tlak kapaliny, když povrchová síla působí pouze ve směru povrchu?

Př. 6: Nakresli povrchové síly působící na okraje malé části zakřiveného povrchu. Jaká je jejich výslednice. Je větší tlak uvnitř velké nebo malé bubliny?



Kvůli zakřivení povrchu nemají obě síly přesně opačný směr $\Rightarrow$ mají nenulovou výslednici, která směřuje kolmo do středu zakřivení a způsobuje tak tlak na vzduch uvnitř bubliny.



Povrch větší bubliny má menší zakřivení $\Rightarrow$ směry obou povrchových sil jsou více opačné, velikosti sil se nemění (povrchové napětí je stejné) $\Rightarrow$ jejich výslednice je menší a menší je také tlak uvnitř bubliny.

http://www.youtube.com/watch?v=kvrsAhuvs3M (čas 3:30)

Tlak, který vytváří povrchové napětí zakřiveného povrchu kapaliny, se nazývá kapilární a existují samozřejmě vzorce pro jeho výpočet.

- Kapilární tlak, který vytváří povrchové napětí uvnitř válcového povrchu (jedno zakřivení): $p_k = \frac{\sigma}{R}$
- Kapilární tlak, který vytváří povrchové napětí uvnitř koule (zakřivení ve dvou směrech): $p_k = \frac{2\sigma}{R}$.
- Kapilární tlak uvnitř bubliny (zakřivení ve dvou směrech, dva povrchy): $p_k = \frac{4\sigma}{R}$ (bublina má dva povrchy).

Př. 7: Urči tlak uvnitř mýdlové bubliny o průměru $8\,\text{cm}$. Předpokládej, že mýdlo zmenšilo povrchové napětí vody na třetinu normální hodnoty. Jaký tlak bude uvnitř bubliny o průměru 2cm?

$d_1 = 8\,\text{cm} = 8\cdot 10^{-2}\,\text{m} \Rightarrow r_1 = 4\cdot 10^{-2}\,\text{m}$, $\sigma = \dfrac{73\cdot 10^{-3}}{3}\,\text{N}\cdot\text{m}^{-1} = 24\cdot 10^{-3}\,\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$,

$d_2 = 2\,\text{cm} = 2\cdot 10^{-2}\,\text{m} \Rightarrow r_1 = 10^{-2}\,\text{m}$, $p = ?$

Vzorec pro velikost kapilárního tlaku uvnitř mýdlové bubliny: $p_k = \dfrac{4\sigma}{R}$.

Dosazení: $p_{k1} = \dfrac{4\sigma}{r_1} = \dfrac{4\cdot 24\cdot 10^{-3}}{4\cdot 10^{-2}}\,\text{Pa} = 2{,}4\,\text{Pa}$

Velká bublina: $p_{k1} = \dfrac{4\sigma}{r_1} = \dfrac{4\cdot 24\cdot 10^{-3}}{4\cdot 10^{-2}}\,\text{Pa} = 2{,}4\,\text{Pa}$

Malá bublina: $p_{k2} = \dfrac{4\sigma}{r_2} = \dfrac{4\cdot 24\cdot 10^{-3}}{10^{-2}}\,\text{Pa} = 9{,}6\,\text{Pa}$

Př. 8: Urči tlak uvnitř vzduchové bubliny o průměru 4 cm, která se nachází 2 m pod hladinou vody o teplotě $20\,°\text{C}$. Jak se bude během jejího výstupu měnit tlak uvnitř bubliny a její poloměr?

$d = 4\,\text{cm} = 4\cdot 10^{-2}\,\text{m} \Rightarrow r = 2\cdot 10^{-2}\,\text{m}$, $h = 2\,\text{m}$, $\sigma = 73\cdot 10^{-3}\,\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$

Tlak uvnitř bubliny se skládá ze tří částí:

- Kapilární tlak povrchového napětí: $p_k = \dfrac{2\sigma}{R}$ (kapalina má pouze jeden povrch).
- Hydrostatický tlak sloupce vody nad bublinou: $p_h = h\rho g$.
- Atmosférický tlak: $p_n = 100000\,\text{Pa}$ (není udáno, předpokládám normální hodnotu).

Hodnoty jednotlivých tlaků spočteme zvlášť.

- $p_k = \dfrac{2\sigma}{R} = \dfrac{2\cdot 73\cdot 10^{-3}}{2\cdot 10^{-2}}\,\text{Pa} = 7{,}3\,\text{Pa}$
- $p_h = h\rho g = 2\cdot 1000\cdot 10\,\text{Pa} = 20000\,\text{Pa}$
- $p_n = 100000\,\text{Pa}$

Velikost kapilárního tlaku je v porovnání se zbývajícími hodnotami zanedbatelná.
Celkový tlak uvnitř bubliny:

$p = p_k + p_h + p_n = 7{,}3 + 20\,000 + 100\,000\ \text{Pa} = 120\,007{,}3\ \text{Pa} \doteq 120\,000\ \text{Pa}$.

Tlak uvnitř bubliny bude během jejího výstupu k hladině klesat, zejména kvůli poklesu hydrostatického tlaku. Objem bubliny se tak bude zvětšovat, což způsobí i pokles kapilárního tlaku, který je však vůči poklesu hydrostatického tlaku zanedbatelný.

Shrnutí: