

Vlastnosti kapalin a plynů

Hydrostatický tlak, Archimedův princip,
Pascalův zákon, proudění kapalin, rovnice
kontinuity, Bernoulliho rovnice.
Povrchové napětí, viskozita.

Tekutina (kapalina nebo plyn)

Liší se od pevné látky tím, že nedeždrží tvar a dříve či později vyplní nádobu a přizpůsobí se jejímu tvaru – nemá uspořádání molekul na delší vzdálenost

Ideální tekutina – nemá žádné vnitřní tření, není viskózní

Viskózní tekutiny – med, asfalt, disperze různých látek (škrob), ...

Kapalné krystaly – látky s vlastnostmi krystalů i tekutin

Síly v tekutině - tlak

Hustota tekutiny $\rho = \frac{m}{V}$

Na těleso uvnitř tekutiny působí tekutina silou ΔF na jeho povrchu ΔS , tedy tlakem

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta S} \quad [Pa]$$

Plyny jsou snadno stlačitelné, kapaliny mohou být i zcela nestlačitelné

Pascalův zákon

Změníme-li tlak v jednom místě tekutiny, objeví se táž změna prakticky ihned v každé části této tekutiny i na stěnách nádoby, ve které je tekutina uzavřena.

V nestlačitelné a neviskozni tekutině působí tlak všemi směry stejně.

1652 - Blaise Pascal

Tlak působí vždy kolmo na povrch ponořeného tělesa.

Hydraulický převod (lis)

Spojené nádoby – přenos tlaku podle
Pascalova zákona

Převod síly

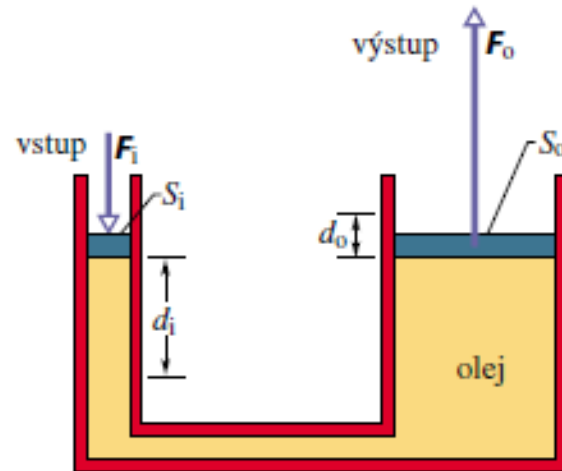
$$F_o = F_i \frac{S_o}{S_i}$$

Převod posunutí

$$d_o = d_i \frac{S_i}{S_o}$$

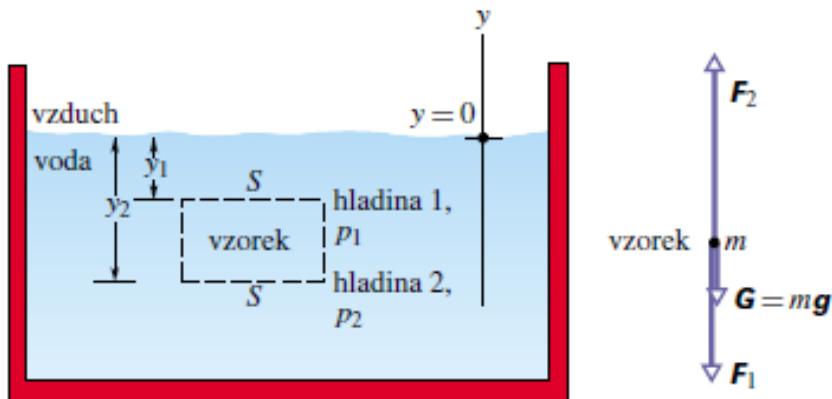
Vykonaná práce je ale stejná

$$W = F_o d_o = \left(F_i \frac{S_o}{S_i} \right) \left(d_i \frac{S_i}{S_o} \right) = F_i d_i$$



Hydrostatický tlak

Tekutina v rovnováze – staticky

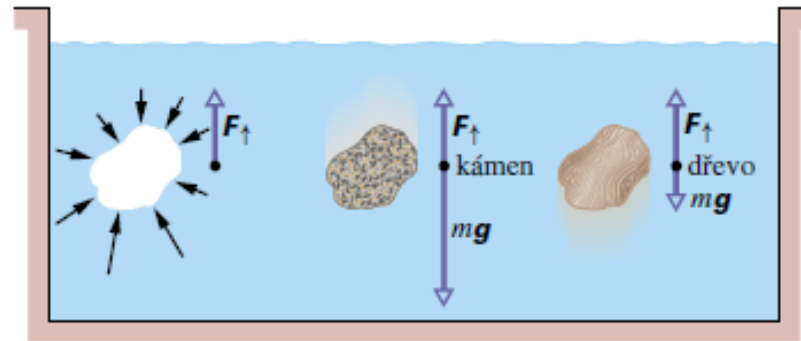


Hydrostatický tlak

$$p_2 = p_1 + \rho g(y_1 - y_2).$$

Archimedův zákon

Vztlaková síla na ponořené těleso – plování těles



Těleso ponořené do tekutiny je nadlehčováno silou, která je stejně velká jako váha tekutiny tělesem vytlačené.

Přesněji – tíha kapaliny o objemu ponořené části tělesa!

Kapaliny a jejich proudění

- Nestlačitelná kapalina – má všude stejnou a stálou hustotu
- Stlačitelná kapalina – hustota proměnná v prostoru a čase

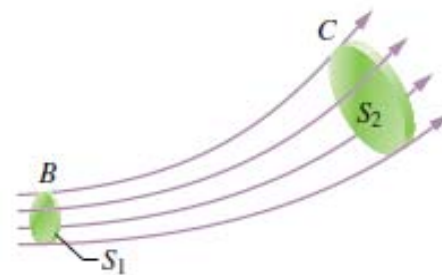
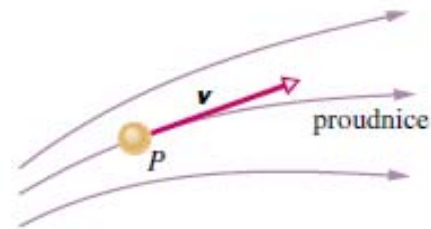
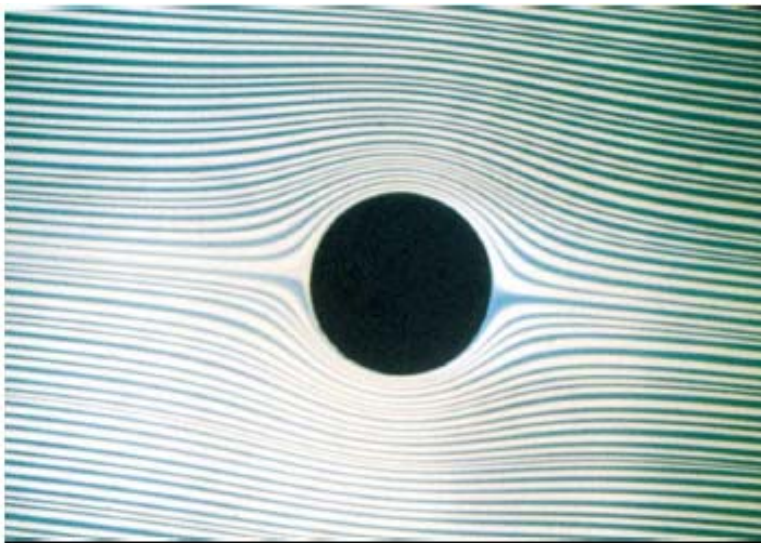
Proudění kapaliny (tekutiny)

- Laminární – nevírové (stacionární)
- Turbulentní – víry (nestacionární)

Laminární proudění

Proudnice – zviditelnění pomocí barvy, kouře

Proudové trubice – ohraničené proudnicemi

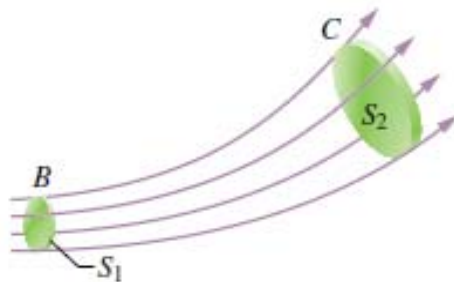


Rovnice kontinuity proudění

Nestlačitelná tekutina v proudové trubici nevzniká ani nezaniká, zachovává se tedy její objem prošlý proudovou trubicí za určitý čas

$$\Delta V = S_1 v_1 \Delta t = S_2 v_2 \Delta t$$

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$



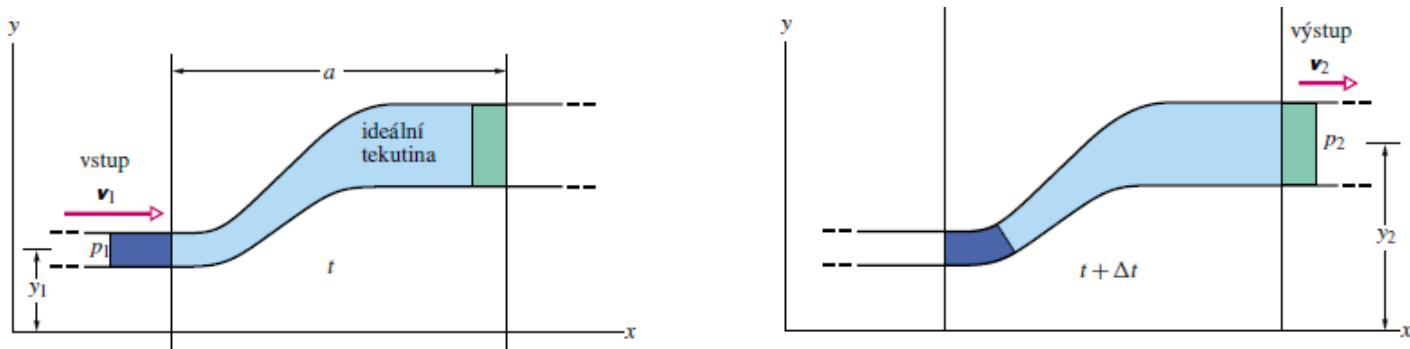
Objemový tok $R = Sv = \text{konst.}$

Pro stlačitelnou tekutinu je konstantní hmotnostní tok

$$Sv\rho = \text{konst.}$$

Bernoulliova rovnice

Daniel Bernoulli, 19.století - zákon zachování energie pro částici tekutiny



$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gy = \text{konst.}$$

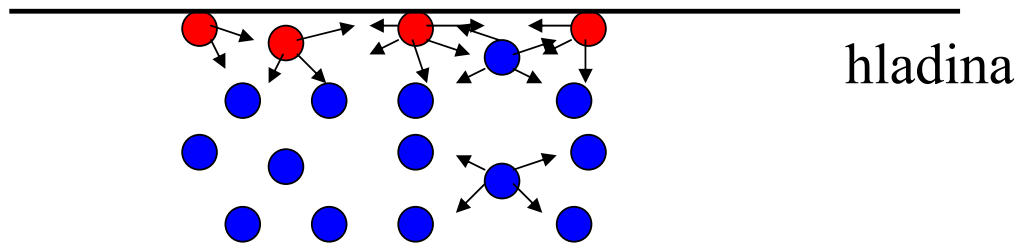
Když při proudění po vodorovné proudnici vzrůstá rychlost částic tekutiny, pak klesá tlak tekutiny, a obráceně.

Povrchové jevy

- Kapky, bubliny
- Kapilární jevy
- Laplaceův vzorec
- Smáčení povrchů
- Ultrazvukové rozprašování
- Experimenty s povrchovým napětím

Povrchová vrstva

Přitažlivé síly mezi částicemi kapaliny



Povrchová energie

Povrchové napětí

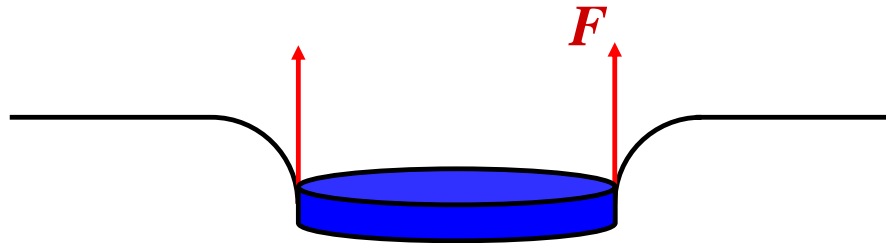
Povrchová energie na 1m^2

$$\sigma = \frac{\Delta W}{\Delta S} \quad [Jm^{-2}, Nm^{-1}]$$

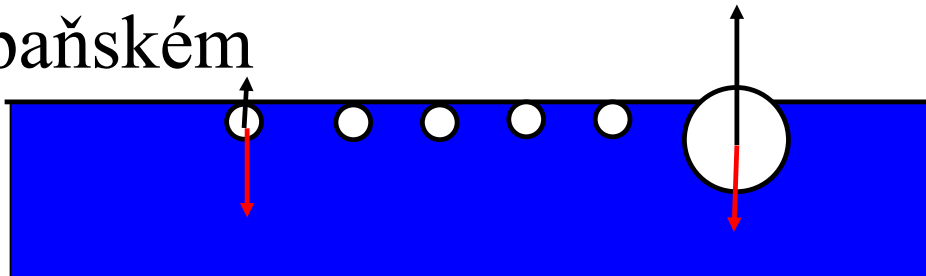
$\sigma [10^{-3} Nm^{-1}] \quad pro \quad 20^\circ C$			
Voda	73.0	oleje	20-40
Ethanol	22.0	rtuť	491
glycerol	62.5		

Povrchové síly

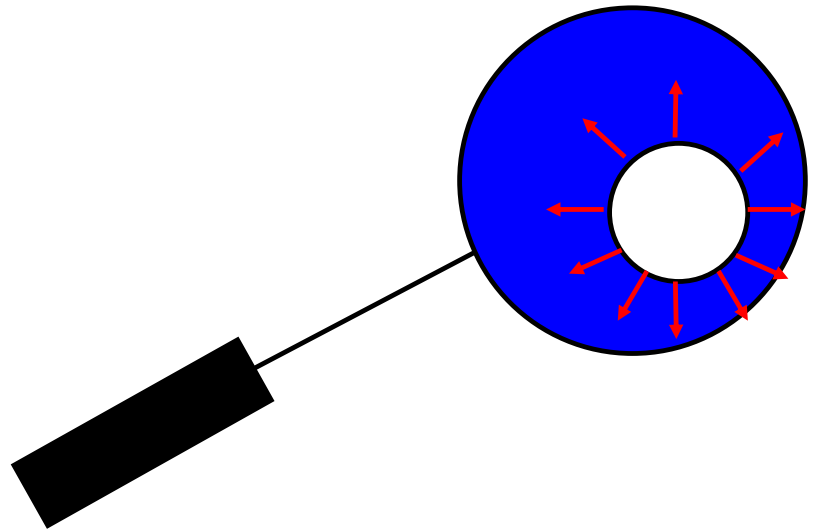
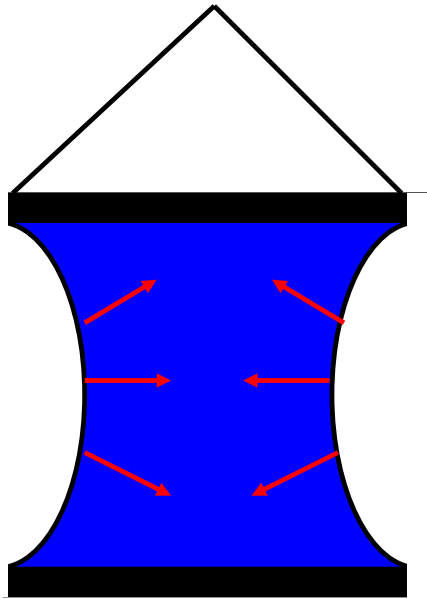
- Plování těles těžších než voda



- Plování pod hladinou – např. bublinky v šampaňském



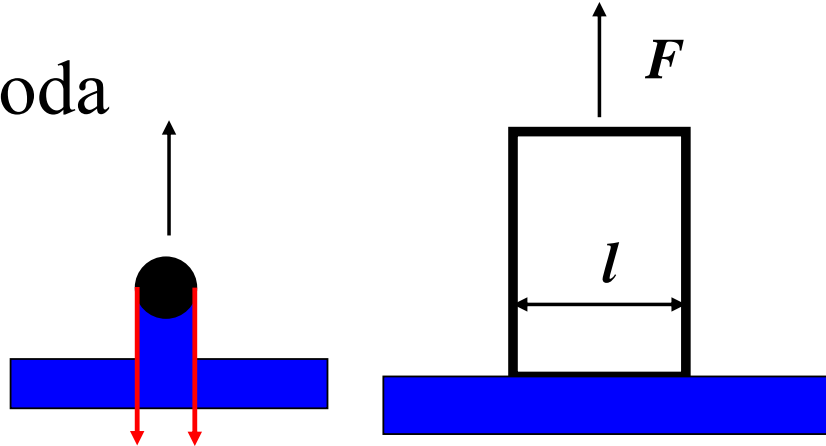
Povrchové napětí - experimenty



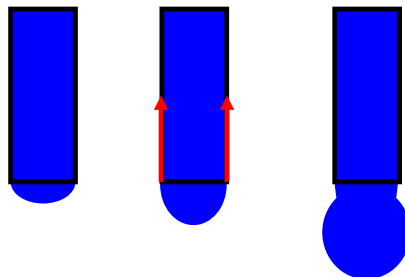
Měření povrchového napětí

- Rámečková metoda

$$F = 2\sigma l$$



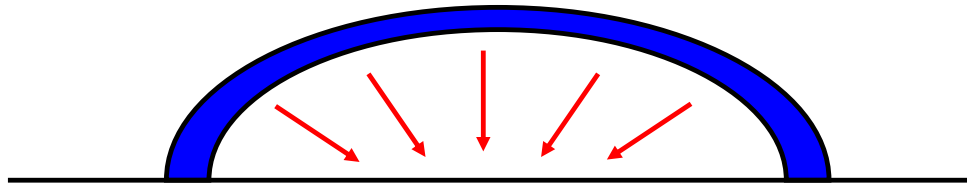
- Kapková metoda



Laplaceův vztah

Křivost hladiny → dodatečný kapilární tlak

$$p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$



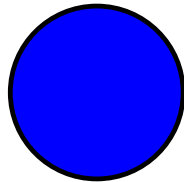
Tvar kapalného tělesa = minimum povrchové energie

Poloměry křivosti mohou být kladné i záporné!

Kapky a bubliny

Kapka

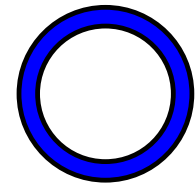
$$p = \frac{2\sigma}{r}$$



$$\sigma_{\text{voda}} = 73 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$$
$$p \approx 150 \text{ Pa}, \quad 2r = 1 \text{ mm}$$

Bublina

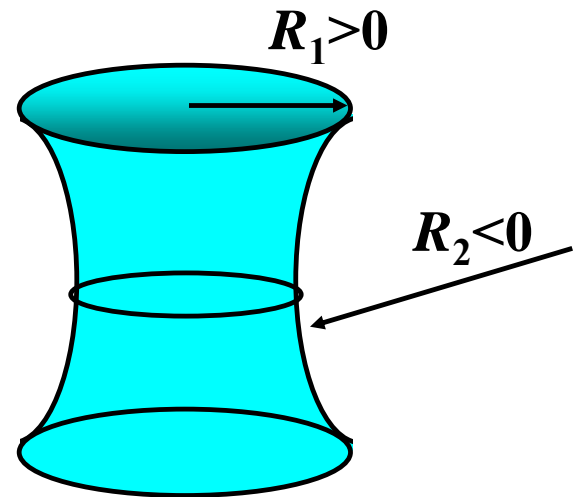
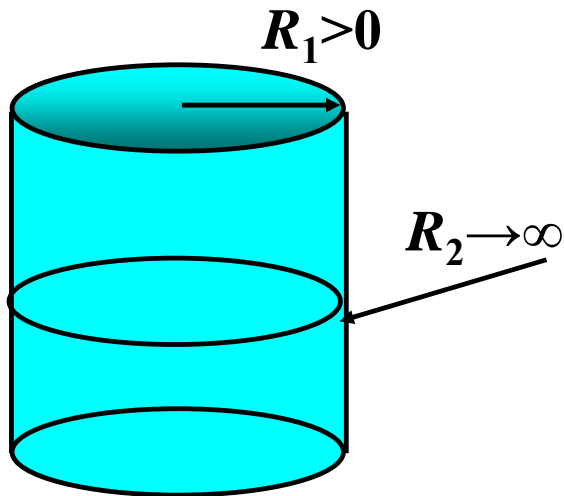
$$p = \frac{4\sigma}{r}$$



$$\sigma_{\text{voda}} = 73 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$$
$$p \approx 300 \text{ Pa}, \quad 2r = 1 \text{ mm}$$

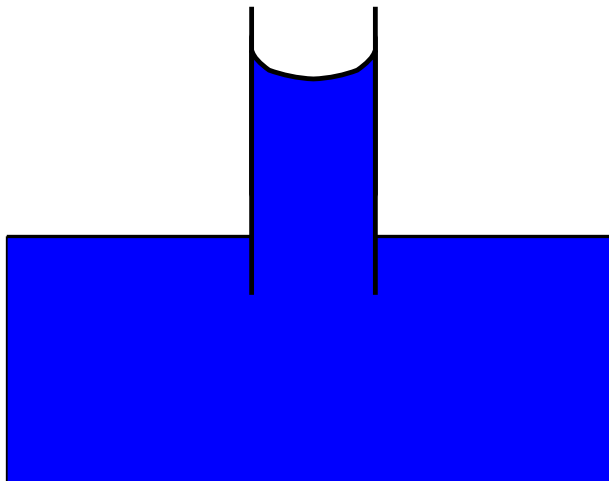
Tlak pod sedlovou plochou

$$p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = 0$$

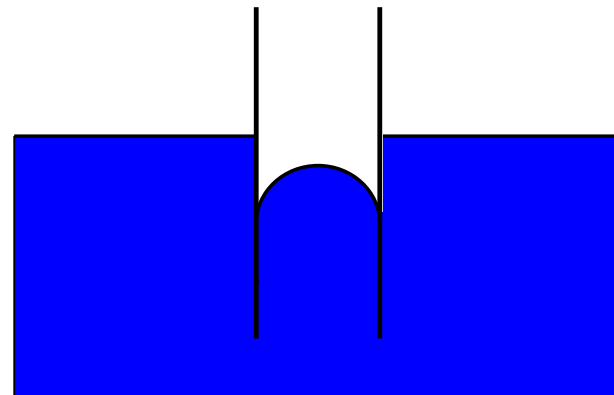


Kapilární tlak

Elevace



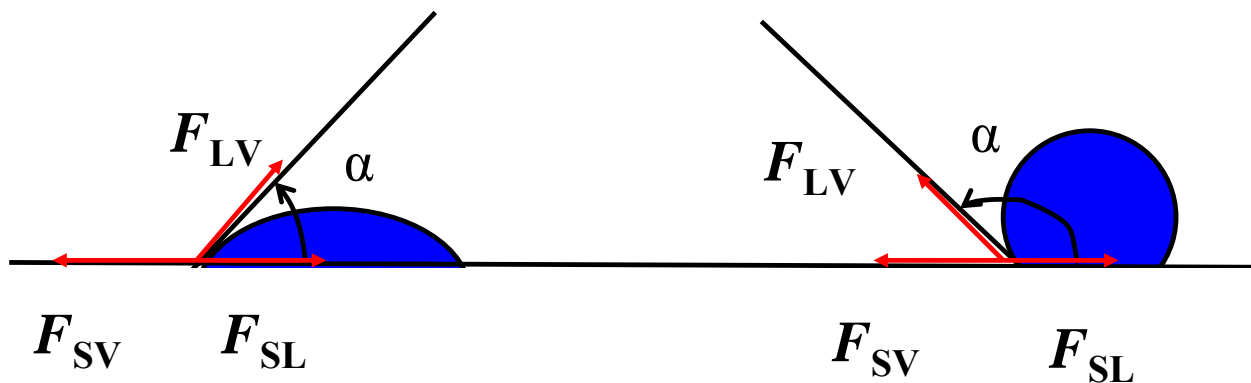
Deprese



Smáčení

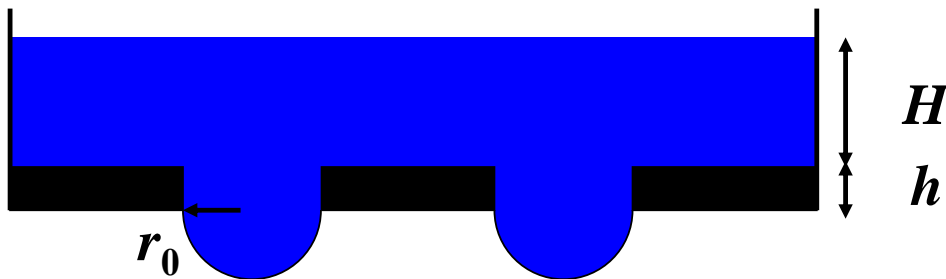
Rovnováha povrchových sil – kontaktní úhel

$$\sigma_{SV} - \sigma_{SL} - \sigma_{LV} \cos \alpha = 0$$



Fyzika „cedníku“

Kapalina se udrží uvnitř cedníku díky
povrchovému napětí

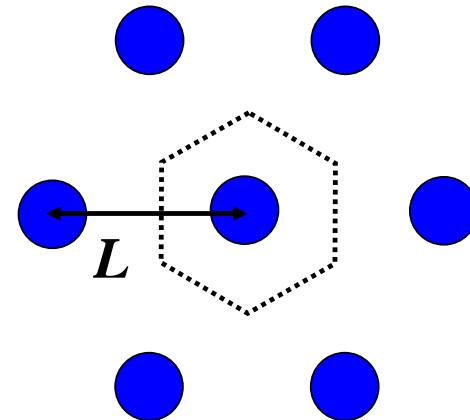
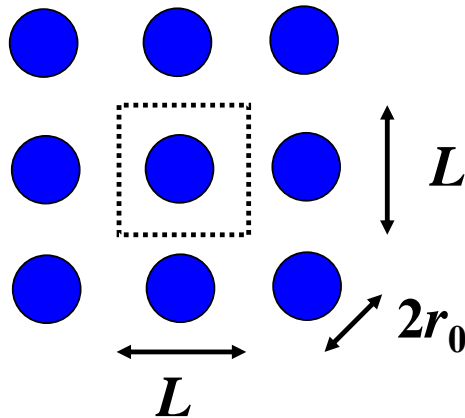


Maximální výška vrstvy kapaliny

$$H_{\max} = \frac{2\sigma}{r_0\rho g} - h$$

Cedník – maximum kapaliny

Maximum kapaliny na jednotku plochy



Optimální poloměr otvorů

$$r_0^3 = \frac{\sigma}{\rho g} \frac{L^2}{\pi h}$$

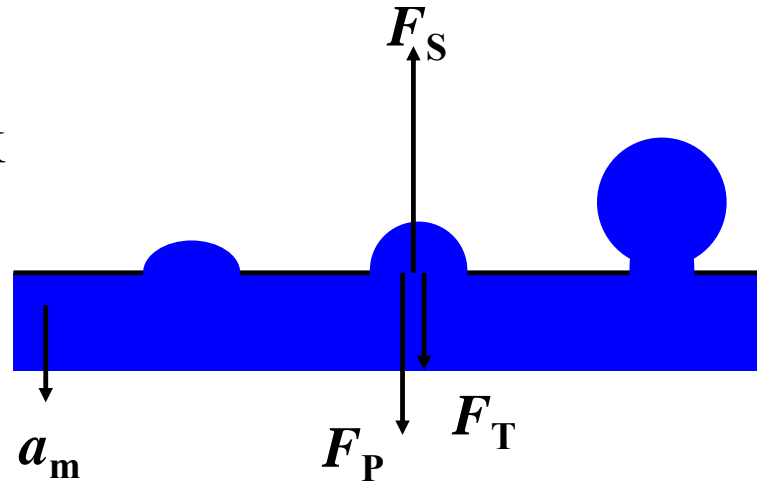
$$r_0^3 = \frac{\sigma}{\rho g} \frac{L^2}{\pi h} \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Ultrazvukové rozprašování

Ultrazvuk vytváří pohyb hladiny kapaliny

Průměrný poloměr kapek

$$r = 0.365 \sqrt[3]{\frac{\sigma}{\rho f_r^2}}$$



Úzká distribuce velikosti kapek

Výkon a velikost kapek je elektronicky říditelná

Viskozita

Způsobena vnitřním třením v plynu, kapalině

Dynamická viskozita $[\eta] = Pa \cdot s$



$$\tau = \frac{F_{\text{tř}}}{S} = \eta \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

Vysoce viskozní kapaliny – med, glycerin, ...

Nízkoviskozní kapaliny – voda, líh, ...

Třecí síla na kouli v pohybu ve viskozní kapalině –

Stokesova formule

$$F = 6\pi r \eta v$$

Dynamická viskozita

Teplotně silně závislá – exponenciálně!

Vyšší teploty – nižší viskozita

Nižší teploty – vyšší viskozita

Dynamická viskozita [$10^{-3}Pa\cdot s$]				
aceton	benzen	ethanol	glycerol	voda
0.33	0.65	1.20	1480	1.00

Literatura

V prezentaci byla použita materiálová data z matematicko-fyzikálních tabulek:

BROŽ, J., ROSKOVEC, V., VALOUCH, M.:
Fyzikální a matematické tabulky, SNTL Praha
1980

a materiály z knihy

HALLIDAY, D., R. RESNICK, J. WALKER
Fyzika. Brno: VUTIUM, 2000. díl 2
Mechanika - Termodynamika