

Fizika I

STATIKA FLUIDA

Doc. dr. sc. Iva Movre Šapić

10. STATIKA FLUIDA

Fluidi:

- Tekućine – poprimaju oblik posude, nestlačiv volumen
- Plinovi – poprimaju oblik posude, stlačiv volumen

Lako mijenjaju oblik, odnosno mogu teći.

Mehanika fluida često se zove **hidromehanika**:

- Hidrostatika – opisuje fluide u mirovanju
- Hidrodinamika – opisuje fluide u gibanju

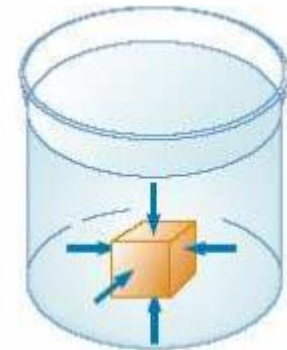
Tlak

- U fluidima u mirovanju sile su uvijek okomite na površinu s kojom je fluid u kontaktu.
- Sile koje djeluju okomito na površinu zovemo **pritisnim silama**.
- **Tlak** se definira kao omjer sile i površine na koju ta sila djeluje okomito:

$$p = \frac{F}{S}$$

Ako sila nije jednaka u svim točkama površine S , tlak u određenoj točki se definira kao:

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta S} = \frac{dF}{dS}$$



Tlak

- Tlak je **skalarna veličina**. Možemo pisati i:

$$d\vec{F} = p d\vec{S}$$

vektor u smjeru normale na
element površine dS

- Jedinica tlaka je **pascal**:

$$[p] = \frac{[F]}{[S]} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa}$$

- Može se upotrebljavati i jedinica bar: $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
- Plinove je lako stlačiti, tekućine smatramo nestlačivim

$$\kappa = -\frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dp} \right)_T$$

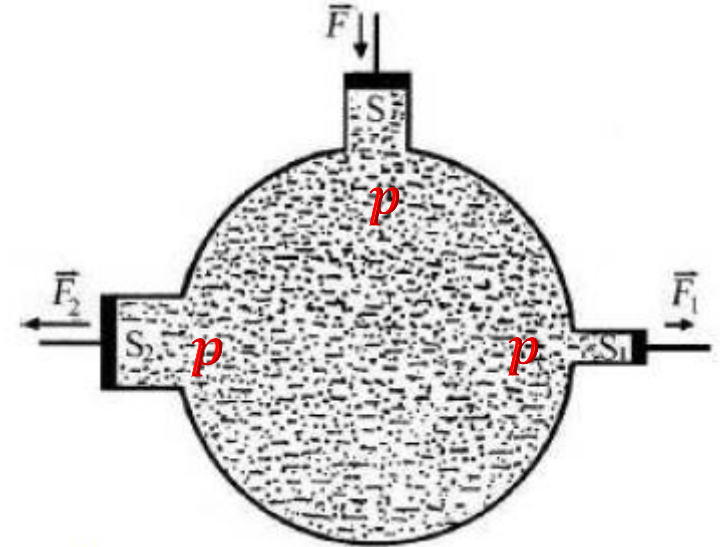
Pascalov zakon

Kad vanjska sila djeluje na fluid tlak se jednoliko širi u svim smjerovima unutar obujma tekućine i djeluje u svim njezinim točkama.

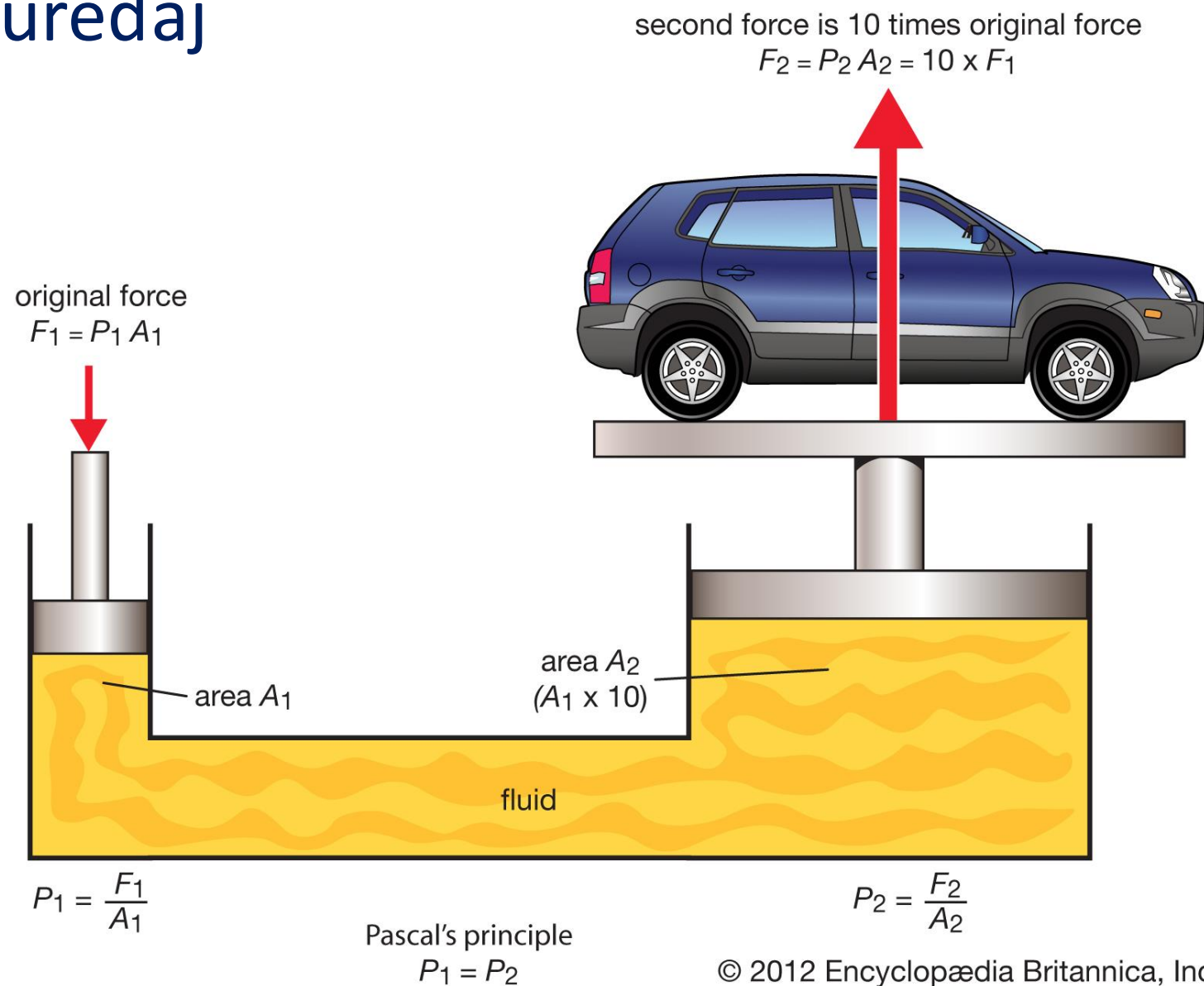
- u svakoj točki nestlačivog, mirnog fluida je tlak jednak

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

- princip rada hidrauličkih uređaja

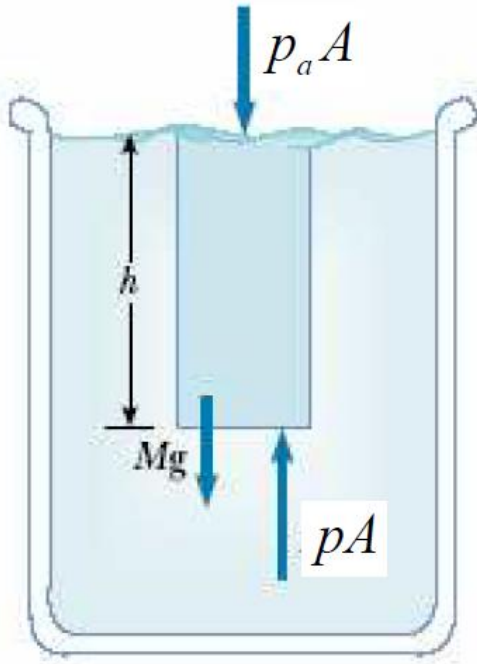


Hidraulički uređaj



Hidrostatski tlak

Tlak uzrokovan težinom samog fluida nazivamo **hidrostatskim tlakom**.



$$\sum F_y = pA - p_a A - Mg = 0$$

$$Mg = \rho Ahg$$

$$pA - p_a A - \rho Ahg = 0$$

$$p = p_a + \rho gh$$

hidrostatski tlak

Hidrostatski paradoks

Koliki je tlak na dnu svake posude?



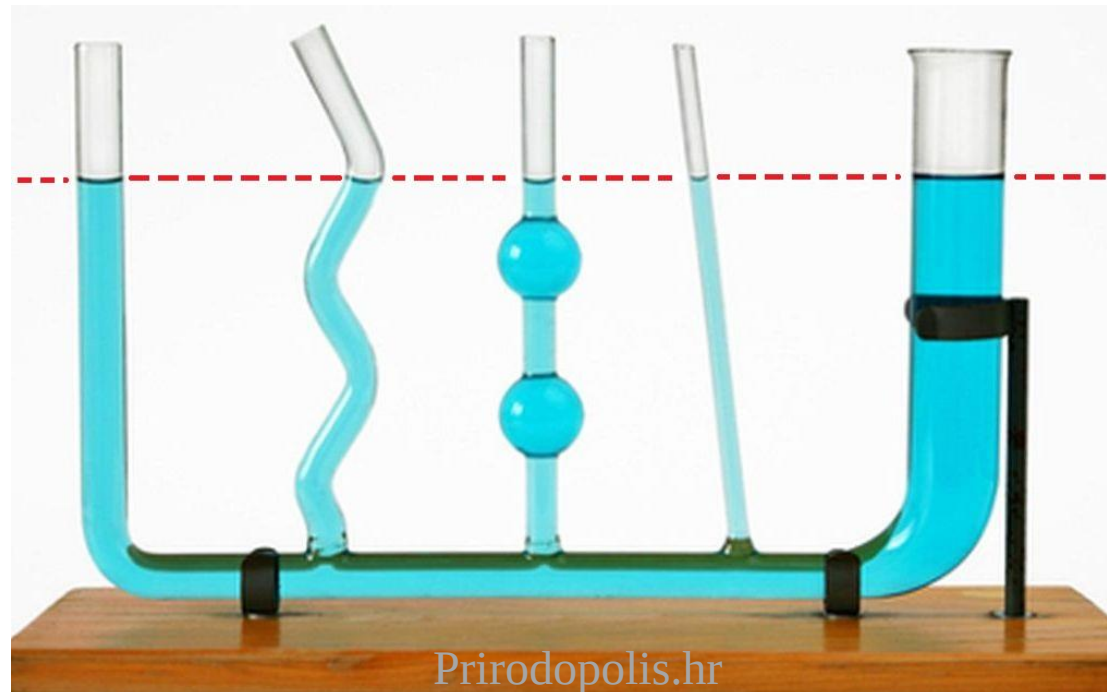
Količina fluida nije jednaka u posudama, ali visina je – stoga je tlak na dnu svih posuda jednak, ne ovisi o obliku posude.

Hidrostatski paradoks

- U međusobno spojenim posudama, razina tekućine u svim posudama nalazi se na istoj visini, bez obzira na oblik posuda. Jer je hidrostatski tlak jednak u svim točkama na jednakoj dubini.

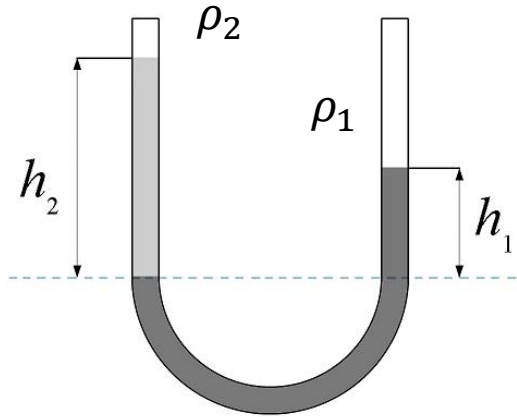
https://phet.colorado.edu/sims/html/under-pressure/latest/under-pressure_en.html

- Spojene posude:



Hidrostatski tlak

Primjena – određivanje gustoće nepoznate tekućine



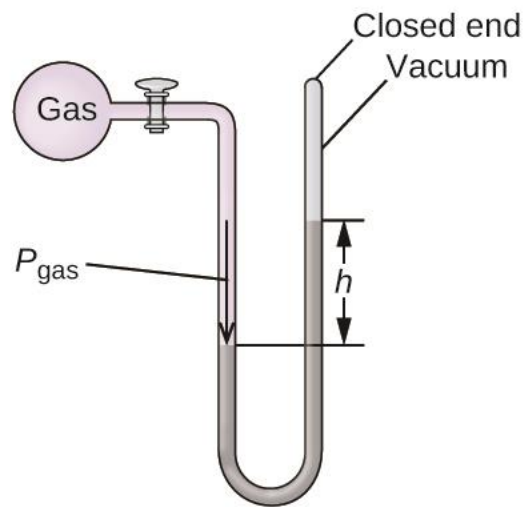
- Budući da u svim točkama određenog horizontalnog presjeka ukupni tlak mora biti jednak, slijedi:

$$p_a + \rho_1 g h_1 = p_a + \rho_2 g h_2$$

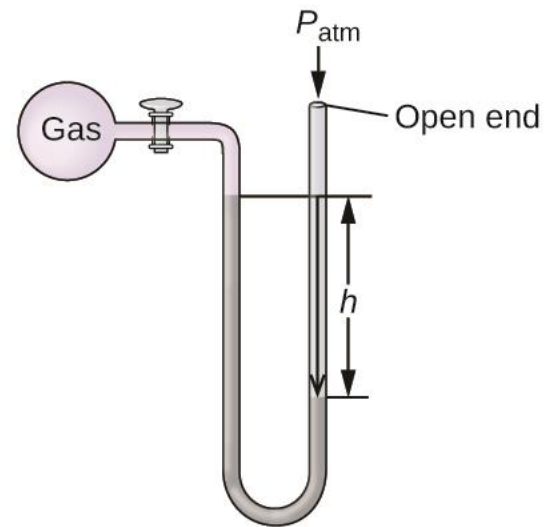
$$\rho_2 = \rho_1 \frac{h_1}{h_2}$$

Hidrostatski tlak

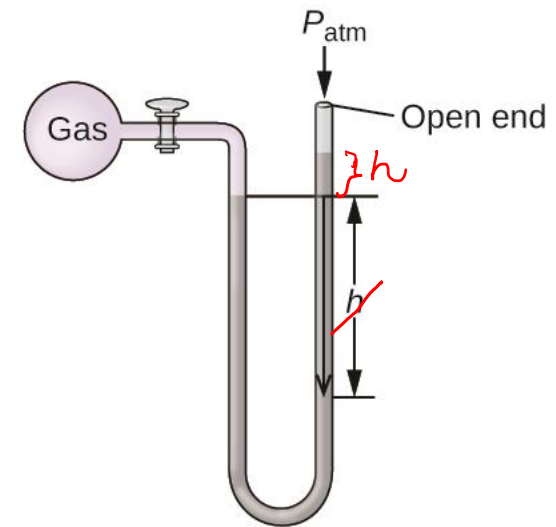
Primjena – manometri



$$P_{\text{gas}} = hpg$$



$$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} - hpg$$

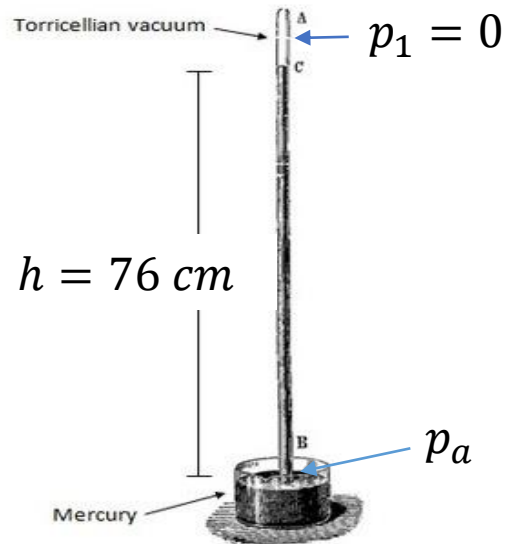


$$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} + hpg$$

Atmosferski tlak

= tlak zbog vlastite težine stupca zraka iznad Zemljine površine

Prvi izmjerio E.Torricelli: živin barometar



Torricellian vacuum tube. Source: Hmolpedia

$$p_a = \rho g h + p_1$$

$$p_1 = 0$$

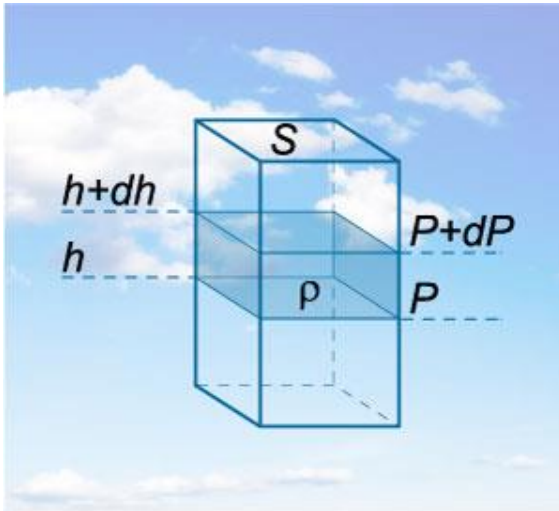
$$p_a = \rho g h$$

Nakon uvrštavanja gustoće žive i mjerenja h :

$$p_a = 101325 \text{ Pa}$$

Atmosferski tlak - Barometarska formula

Opisuje smanjivanje tlaka s nadmorskom visinom



- povećanjem h tlak se smanjuje:

$$dp = -\rho g dh$$

- pretpostavka izotermne atmosfere, $T = \text{konst}$:

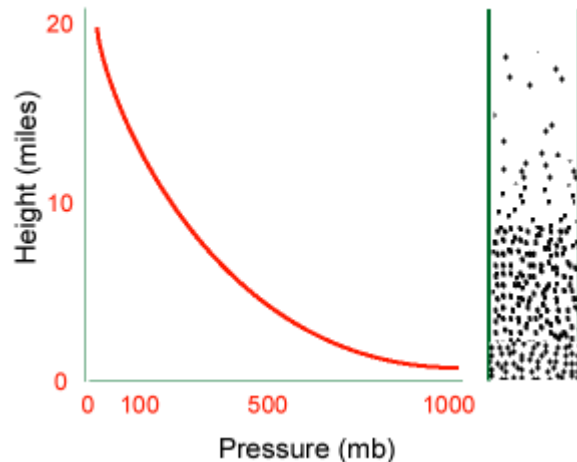
$$\rho(h) = \frac{\rho_0}{p_0} p(h)$$

$$\int_0^h dh = -\frac{p_0}{\rho_0 g} \int_{p_0}^p \frac{dp}{p}$$

$$p = p_0 e^{-\frac{\rho_0}{p_0} gh}$$

Barometarska formula

- p_0, ρ_0 – tlak i gustoća na $h = 0$

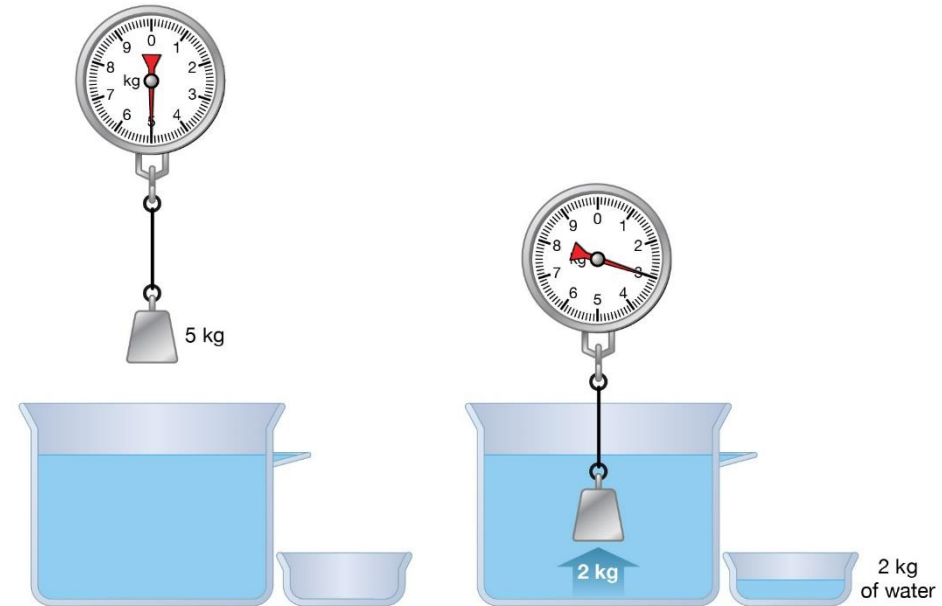


Uzgon – Arhimedov zakon

- Arhimed iz Sirakuze (287. - 212. pr.n.e.)



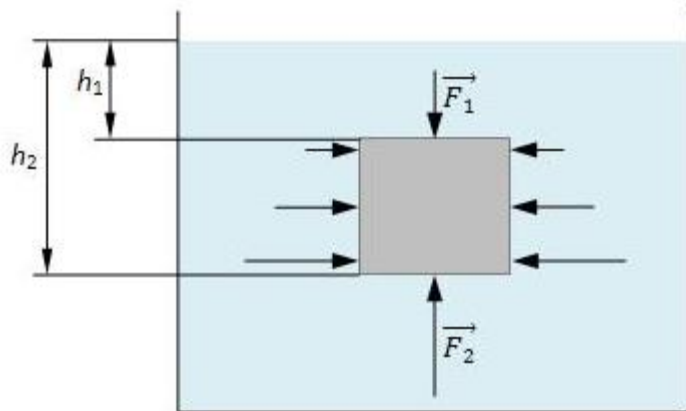
Archimedes' principle



© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

- tijelo uronjeno u fluid gubi na težini onoliko kolika je težina istisnutog fluida

Uzgon



- Tlak na gornjoj bazi tijela: $p_1 = p_a + \rho_f g h_1$
- Tlak na donjoj bazi tijela: $p_2 = p_a + \rho_f g h_2$
- Sile: $F_1 = p_1 S$; $F_2 = p_2 S$
- Bočne sile se ponište, a rezultantna sila je

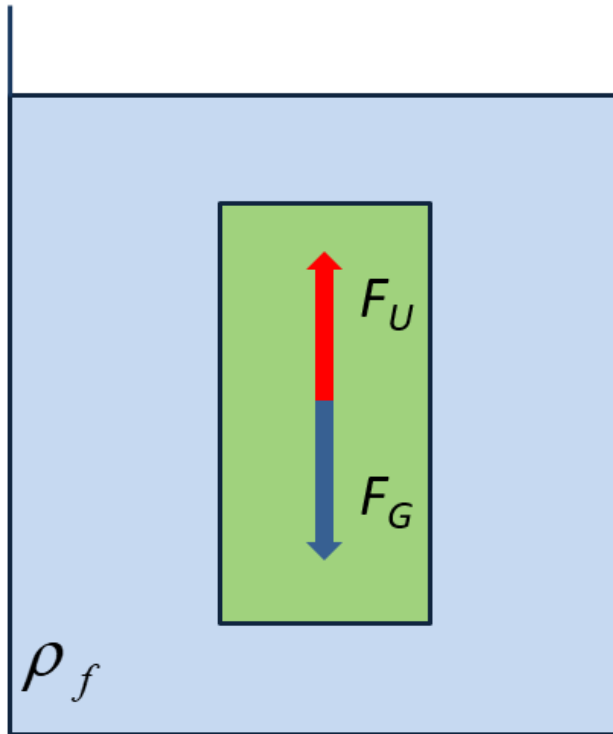
$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$\begin{aligned} F_U &= F_2 - F_1 = p_2 S - p_1 S \\ &= (p_a + \rho_f g h_2 - p_a - \rho_f g h_1) S \\ &= \rho_f g (h_2 - h_1) S = \rho_f g V \end{aligned}$$

$$F_U = \rho_f g V$$

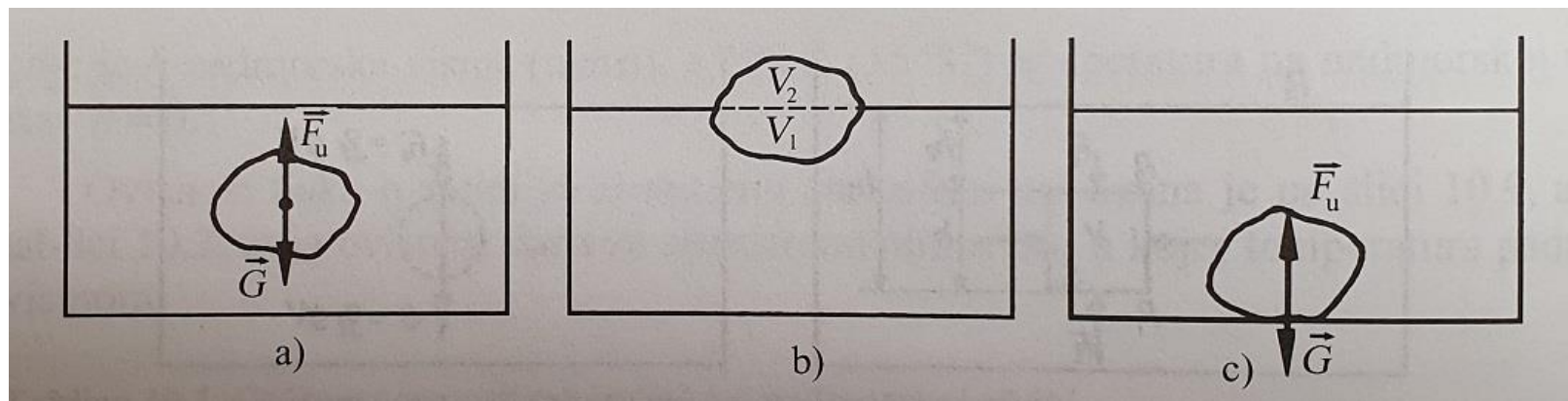
$$F_U = m_f g \quad \text{Arhimedov zakon}$$

Uzgon



- na tijelo uronjeno u fluid javlja se rezultantna sila prema gore kao posljedica hidrostatskog tlaka – **uzgon**
- Smjer djelovanja uzgona – suprotan od smjera sile teže

Uzgon



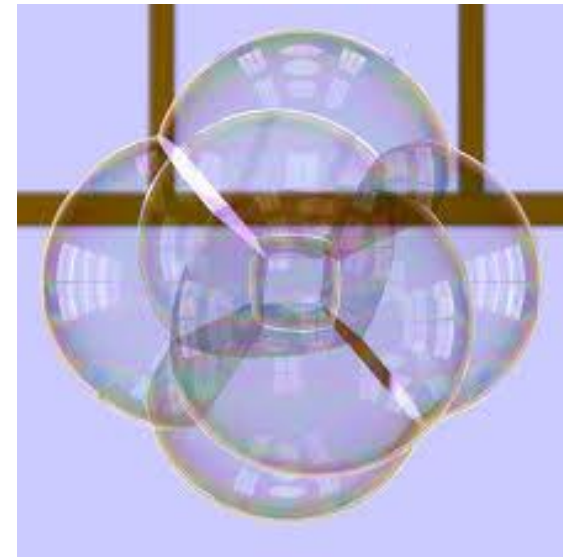
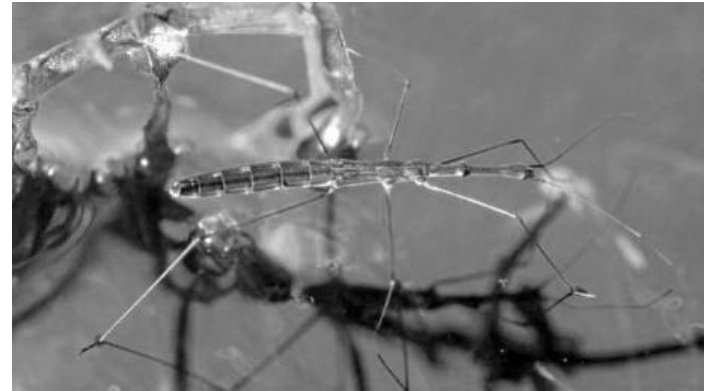
- a) tijelo lebdi u fluidu: težina tijela uravnotežena uzgonom, jednake gustoće!
- b) tijelo pliva: uzgon **na uronjeni dio tijela** jednak težini
- c) tijelo tone: težina tijela veća od uzgona

https://phet.colorado.edu/sims/html/density/latest/density_en.html

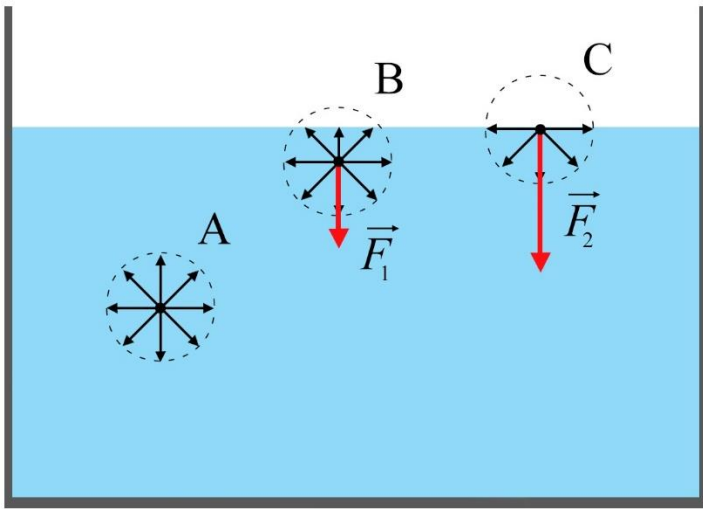
Uzgon



Površinska napetost

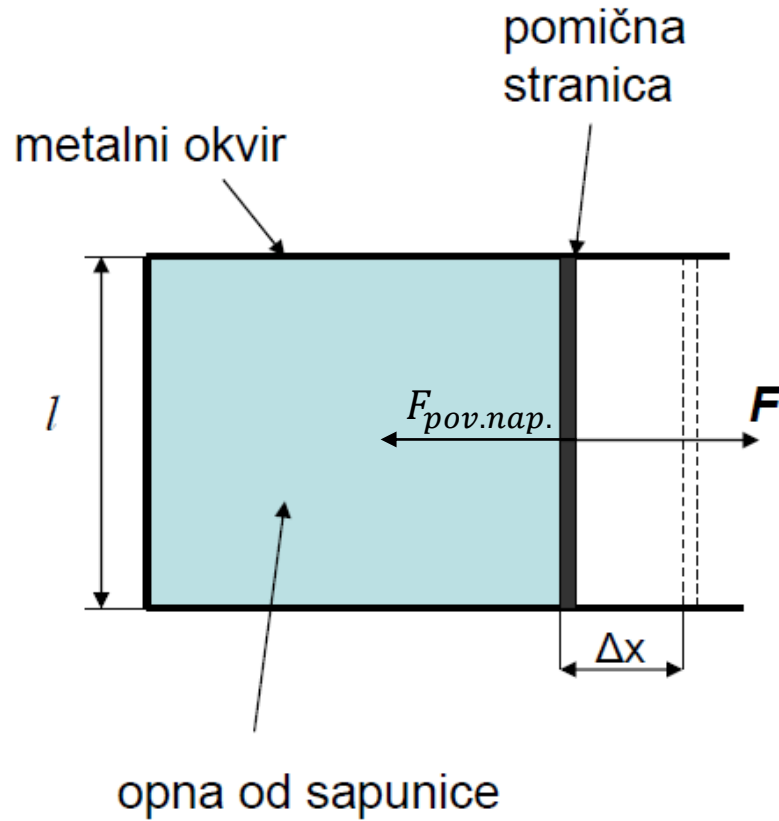


Površinska napetost



- Sila nastoji smanjiti slobodnu površinu tekućine.
- Međumolekularne sile:
 - kohezivne – sile između istovrsnih molekula
 - adhezivne – sile između različitih molekula

Površinska napetost



- rad potreban za povećanje površine

$$\Delta W = F \Delta x$$

$$\Delta S = 2l\Delta x$$

$$\sigma = \frac{\Delta W}{\Delta S} = \frac{F}{2l} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} = \frac{\text{J}}{\text{m}^2} \right]$$

- koeficijent površinske napetosti

Tlak ispod zakrivljene površine tekućine

U mjehuriću sapunice (ili mjehuriću zraka u vodi) tlak je veći od vanjskog tlaka za neki dodatni „nadtlak“ Δp .

Površinska napetost u mjehuriću nastoji stegnuti mjehurić sve dok se ne uspostavi ravnoteža zbog tlaka unutar mjehurića.

- Rad za povećanje $r \rightarrow (r + dr)$

$$dW = 2\sigma dS = 2\sigma 8r\pi dr$$

$$S = 4r^2\pi \rightarrow dS = 8r\pi dr$$

- Pri povećanju mjehurića rad sile na unutrašnju površinu mjehurića:

$$dW = \Delta p S dr = \Delta p 4r^2\pi dr$$

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

U slučaju mjehurića zraka u tekućini ili kapljice tekućine dodatni je tlak unutar takve jednostruke sferne površine:

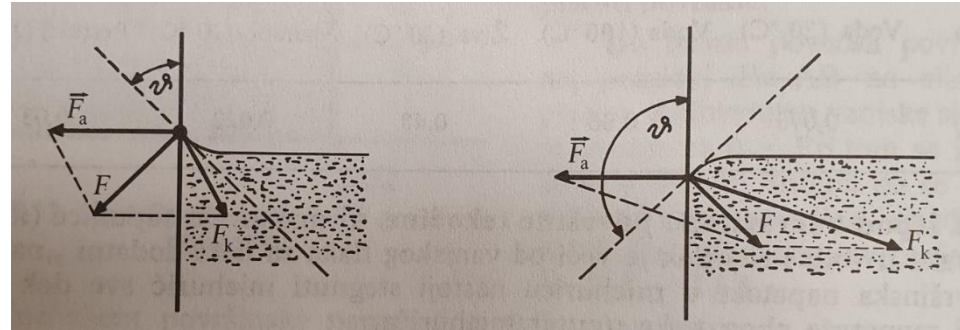
$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r}$$

Kapilarnost

- pojave na granici tekućine i čvrstog tijela
- rezultat kohezije i adhezije

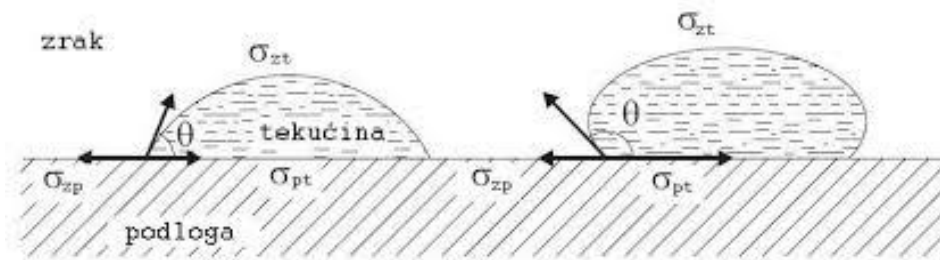
adhezija > kohezija

moči stijenu

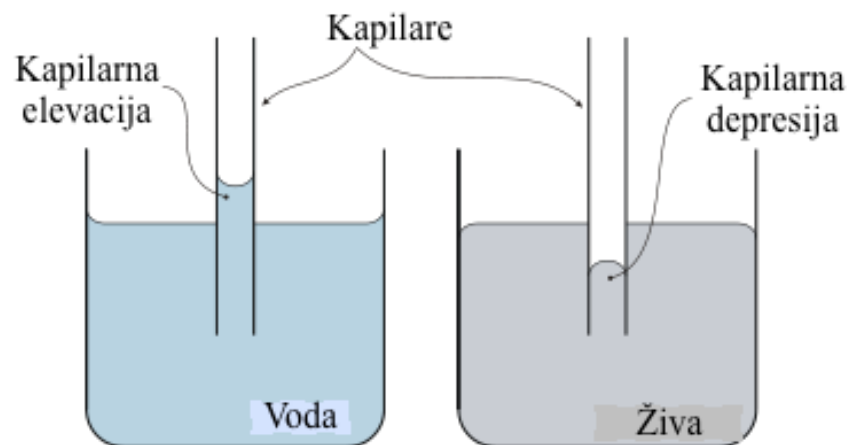


adhezija < kohezija

ne moči stijenu



Kapilarnost



Vertikalna komponenta sile površinske napetosti podiže tekućinu u kapilari sve dok težina stupca tekućine ne postane jednaka toj sili:

$$2r\pi\sigma \cos\vartheta = r^2\pi h\rho g$$

$$h = \frac{2\sigma \cos\vartheta}{\rho g r}$$