

# **POVRŠINSKI NAPON**

# Priroda

---



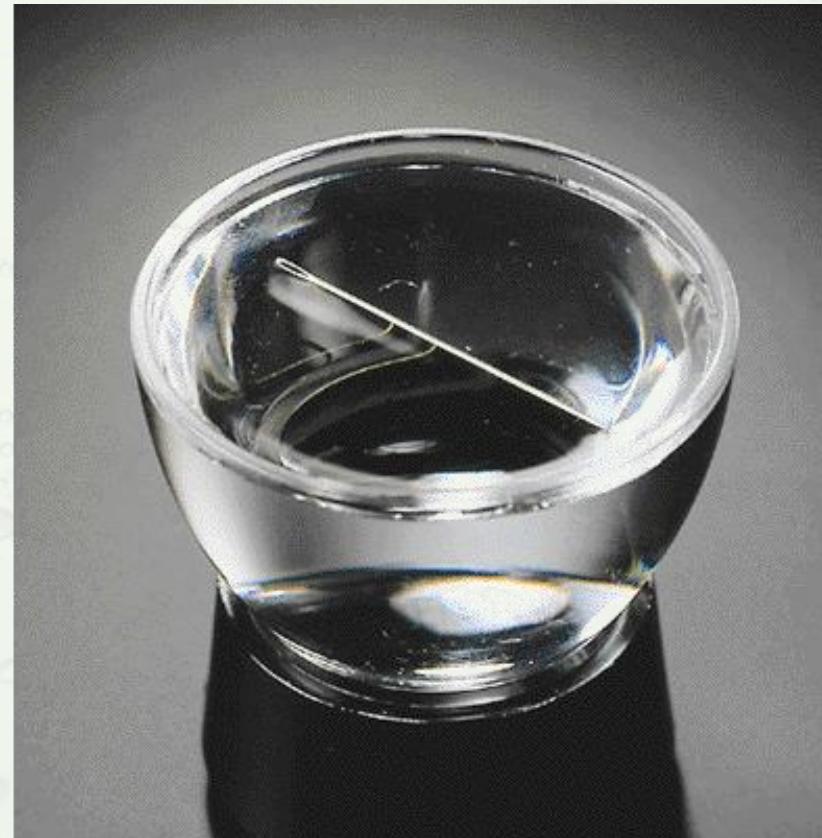
# Zašto ovaj insekt može da hoda po površini vode?

---

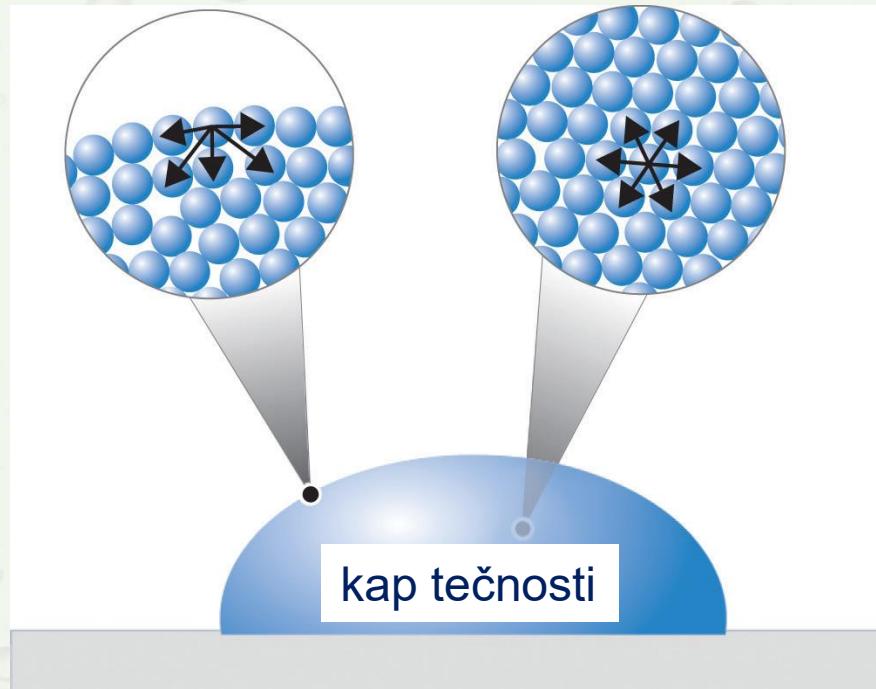


# Zašto neki mali predmeti plivaju po površini vode?

---



# Površinski napon



jake međumolekulske interakcije  
↓  
veliki površinski napon

Potrebno je uložiti energiju da se molekul iz unutrašnjosti dovede na površinu.

# Definicija

---

$p = \text{const}, T = \text{const}, n = \text{const} : dG = \gamma d\mathcal{A}$

$V = \text{const}, T = \text{const}, n = \text{const} : dA = \gamma d\mathcal{A}$

$\gamma$ - površinski napon

$$\gamma = \left( \frac{\partial G}{\partial \mathcal{A}} \right)_{p,T,n}$$

$$\gamma = \left( \frac{\partial A}{\partial \mathcal{A}} \right)_{V,T,n}$$

# Površinska Gibsova slobodna energija i površinska entalpija

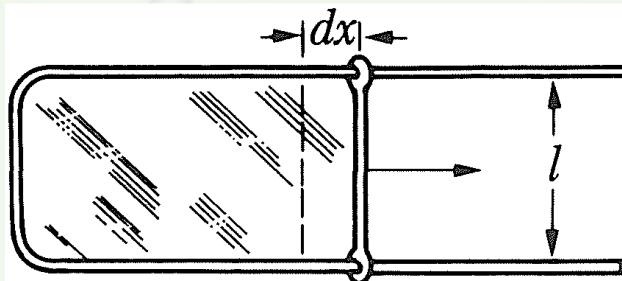
---

$$\gamma = \left( \frac{\partial G}{\partial \mathcal{A}} \right)_{P,T,n} = G^s \quad \text{površinska Gibsova slobodna energija}$$

$$H^s = \gamma - T \frac{d\gamma}{dT} \quad \text{površinska entalpija}$$

# Obrazovanje površine: rad i sila

---



$$d\mathcal{A} = 2 \cdot l dx$$

$$dW = \gamma d\mathcal{A}$$

$\gamma$  – površinska energija ( $\text{J/m}^2$ )

$$|\vec{F}| = \frac{dW}{dx} = \frac{\gamma d\mathcal{A}}{dx} = 2\gamma l$$

$\gamma$  – površinski napon ( $\text{N/m}$ )

# Površinski napon odabralih tečnosti

---

tečnost	površinski napon (mN/m)	temperatura (°C)
neon	5,2	-247
kiseonik	15,7	-193
etanol	22,3	20
maslinovo ulje	32,0	20
voda	72,8	20
živa	465,0	20
srebro	800,0	970
zlato	1000,0	1070
bakar	1100,0	1130

# Površinski napon odabralih tečnosti

---

tečnost	površinski napon (mN/m)	temperatura (°C)
neon	5,2	-247
kiseonik	15,7	-193
etanol	22,3	20
maslinovo ulje	32,0	20
voda	72,8	20
živa	465,0	20
srebro	800,0	970
zlato	1000,0	1070
bakar	1100,0	1130

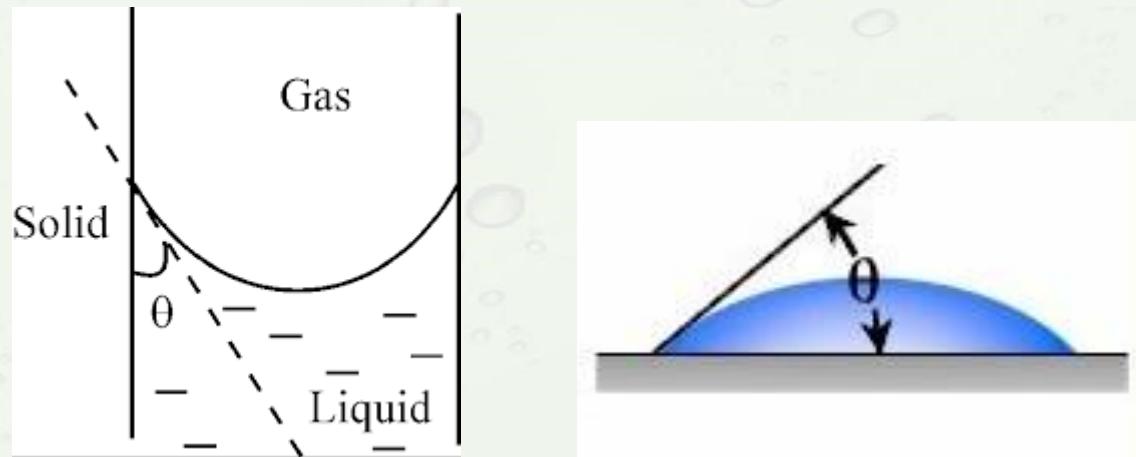
# Površinski napon maslinovog ulja i vode

tečnost	površinski napon (mN/m)	temperatura (°C)
maslinovo ulje	32,0	20
voda	72,8	20

površina vode je ispuštenja od površine ulja



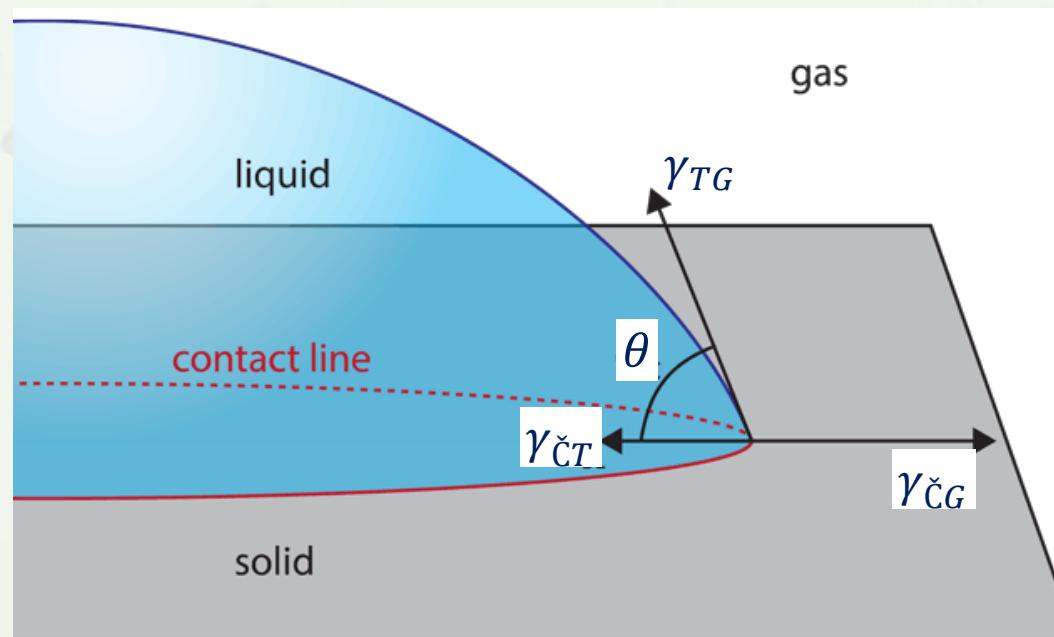
# Ugao dodira



**Ugao dodira** – ugao između meniska tečnosti i zida suda u kome se tečnost nalazi (meren u tečnosti).

# Ugao dodira

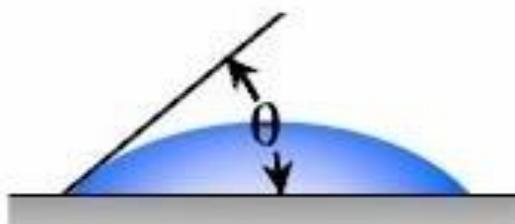
Ugao dodira se definiše iz ravnoteže sila na graničnu liniju između G, T i Č faze u horizontalnoj ravni:



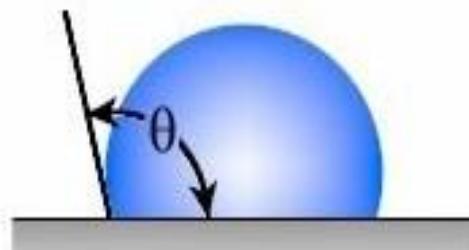
$$\gamma_{CG} = \gamma_{CT} + \gamma_{TG} \cos \theta$$

# Ugao dodira

$$\gamma_{\text{cG}} = \gamma_{\text{cT}} + \gamma_{TG} \cos \theta$$



tečnost k quasi površinu



tečnost ne k quasi površinu

$$\gamma_{\text{cG}} > \gamma_{\text{cT}}$$

$$\gamma_{\text{cG}} < \gamma_{\text{cT}}$$

$$\cos \theta > 0$$

$$\cos \theta < 0$$

$$\theta < 90^\circ$$

$$90^\circ < \theta < 180^\circ$$

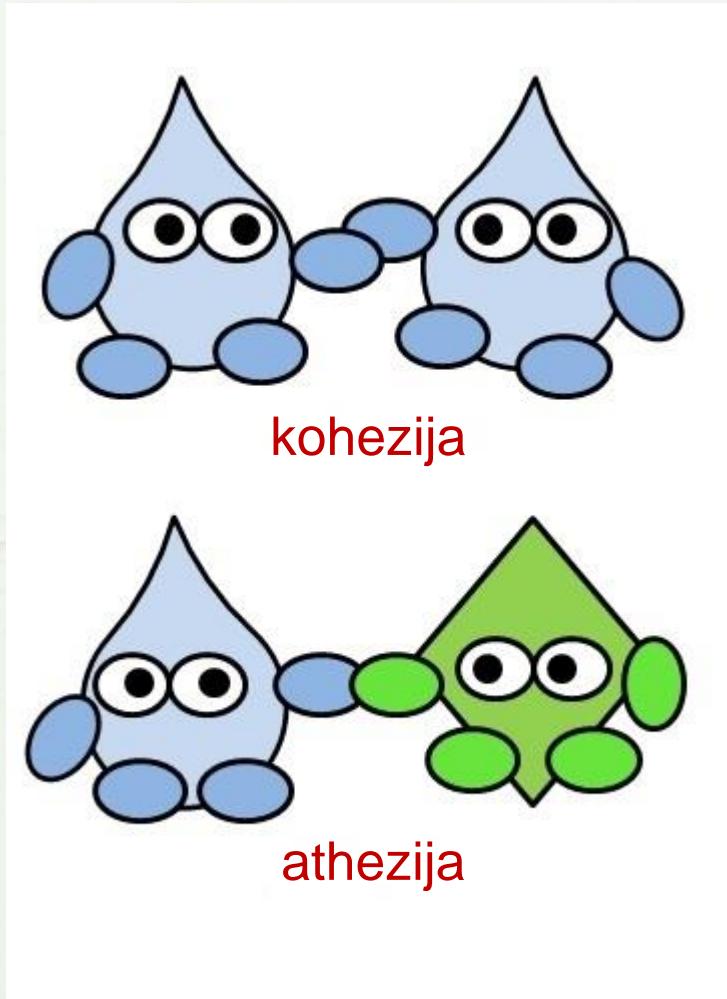
# Ugao dodira i kvašenje površine

---



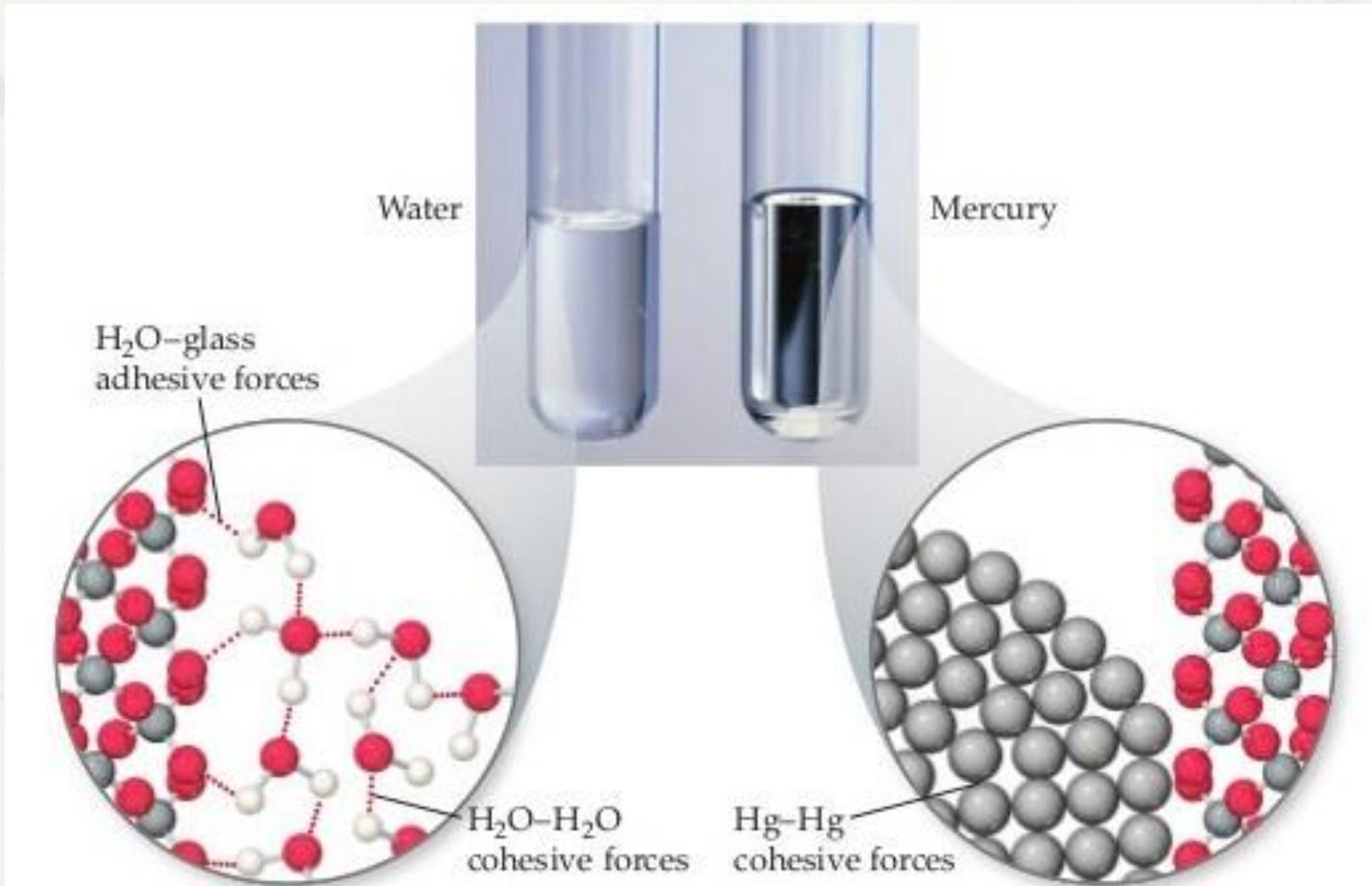
# Kohezione i athezione sile

---

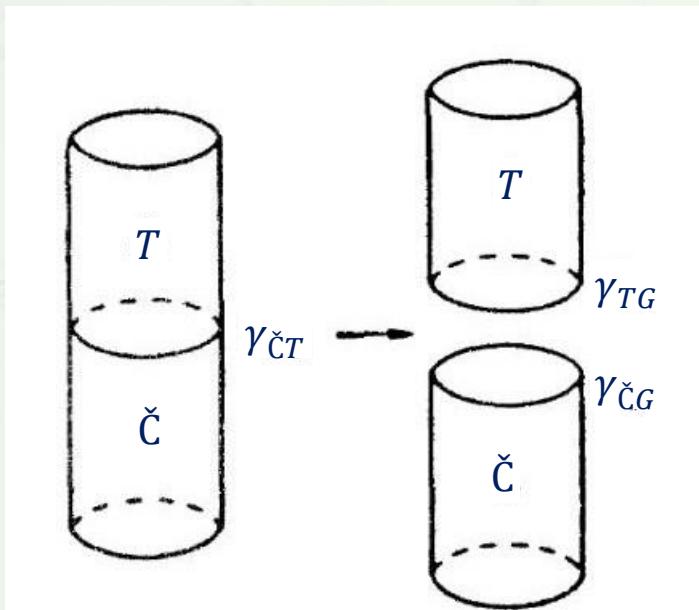


# Voda – staklo i živa – staklo

---

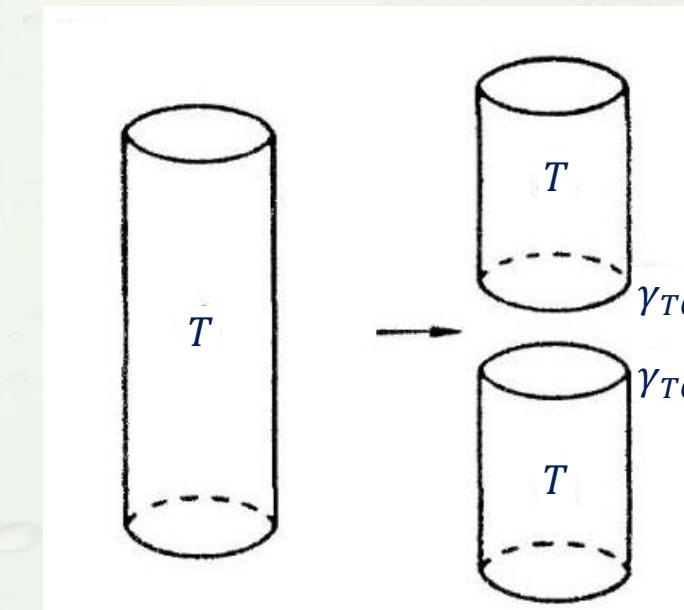


# Athezioni i kohezioni rad



Athezioni rad

$$w_{\check{C}T} = \gamma_{\check{C}G} + \gamma_{TG} - \gamma_{\check{C}T}$$



Kohezioni rad

$$w_{TT} = 2\gamma_{TG}$$

# Ugao dodira

---

$$\left. \begin{array}{l} \gamma_{\check{C}G} = \gamma_{\check{C}T} + \gamma_{TG} \cos \theta \\ w_{\check{C}T} = \gamma_{\check{C}G} + \gamma_{TG} - \gamma_{\check{C}T} \\ w_{TT} = 2\gamma_{TG} \end{array} \right\} \quad \cos \theta = \frac{w_{\check{C}T}}{w_{TT}/2} - 1$$

tečnost kvasi površinu

$$\theta < 90^\circ, w_{\check{C}T} > w_{TG}/2$$

tečnost ne kvasi površinu

$$90^\circ < \theta < 180^\circ, w_{\check{C}T} < w_{TG}/2$$

# Živa na staklu

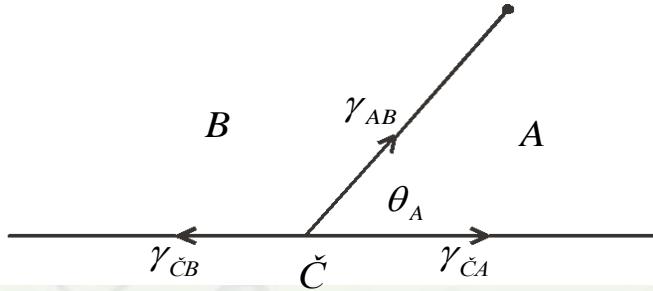
---



$$\theta=140^{\circ} \rightarrow w_{\check{C}T} / (w_{TT}/2) = 0,23$$

# Nemešljive tečnosti: razastiranje tečnosti

---



$$\gamma_{CB} = \gamma_{CA} + \gamma_{AB} \cos \theta_A$$



# Razastiranje tečnosti

---

Dve nemešljive tečnosti A i B, tečnost A razastire se spontano po tečnosti B:

$$\gamma_{AB} + \gamma_{AG} - \gamma_{BG} < 0$$

Athezioni rad između A i B:  $w_{AB} = \gamma_{AG} + \gamma_{BG} - \gamma_{AB}$

Uslov za razastiranje:  $w_{AB} > 2\gamma_{AG}$

Koeficijent razastiranja:  $\gamma_{BG} - \gamma_{AG} - \gamma_{AB}$

# Za datu zapreminu tečnosti površina se može smanjiti formiranjem **zakriviljene površine**

---

**Kapljica:** mala zapremina tečnosti u ravnoteži sa okružujućom parom.



**Mehur:** šupljina u tečnosti ispunjena parom.



**Balon:** oblast u kojoj je para zarobljena tankim filmom koji ima dve površine.

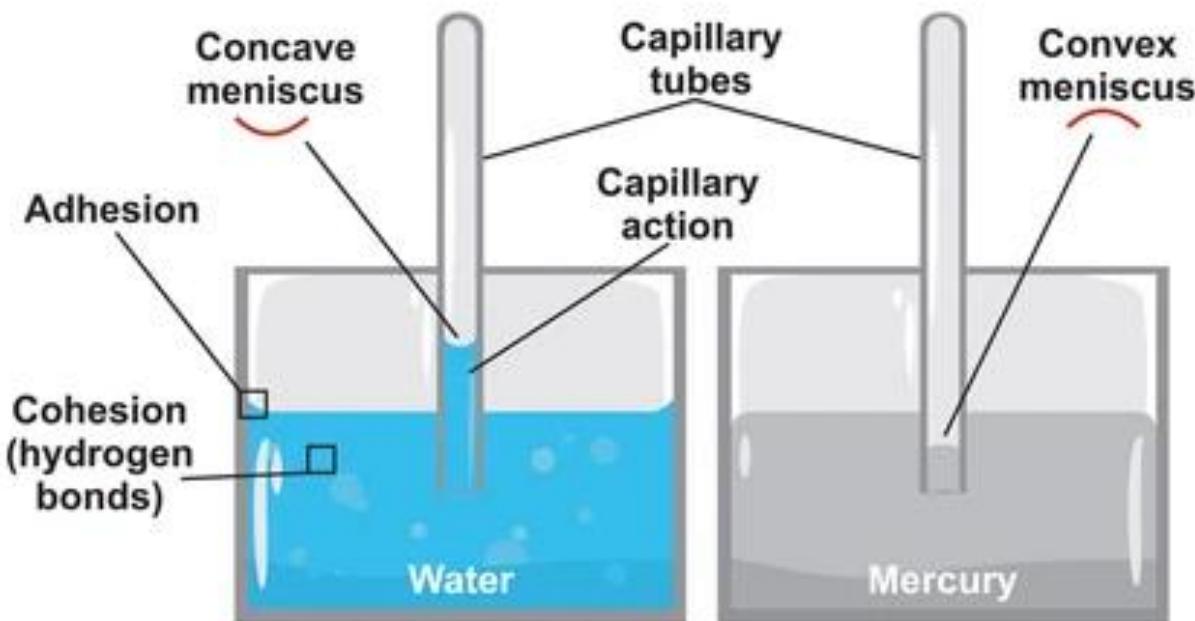
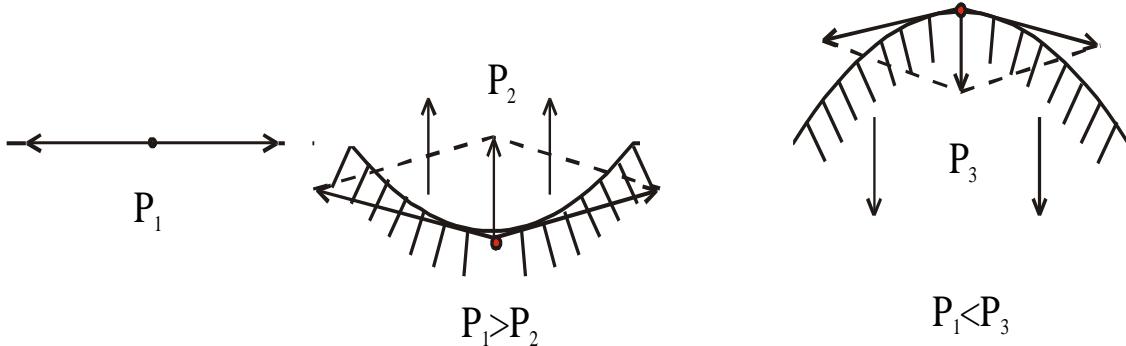


# Zakrivljena površina – posledice

---

- kapilarne pojave
- napon pare zavisi od zakrivljenosti površine

# Kapilarne pojave



# Kapilarne pojave

---



$$\left. \begin{aligned} dG_1 &= -\gamma d(4\pi r^2) = -8\gamma\pi r dr \\ dG_2 &= \Delta P d\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right) = 4\Delta P\pi r^2 dr \\ dG &= dG_1 + dG_2 = 0 \\ -8\gamma\pi r dr + 4\Delta P\pi r^2 dr &= 0 \end{aligned} \right\}$$

$$\boxed{\Delta P = \frac{2\gamma}{r}}$$

$$\boxed{\Delta P = \gamma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)}$$

Laplasova jednačina

# Primer – mehur u vodi

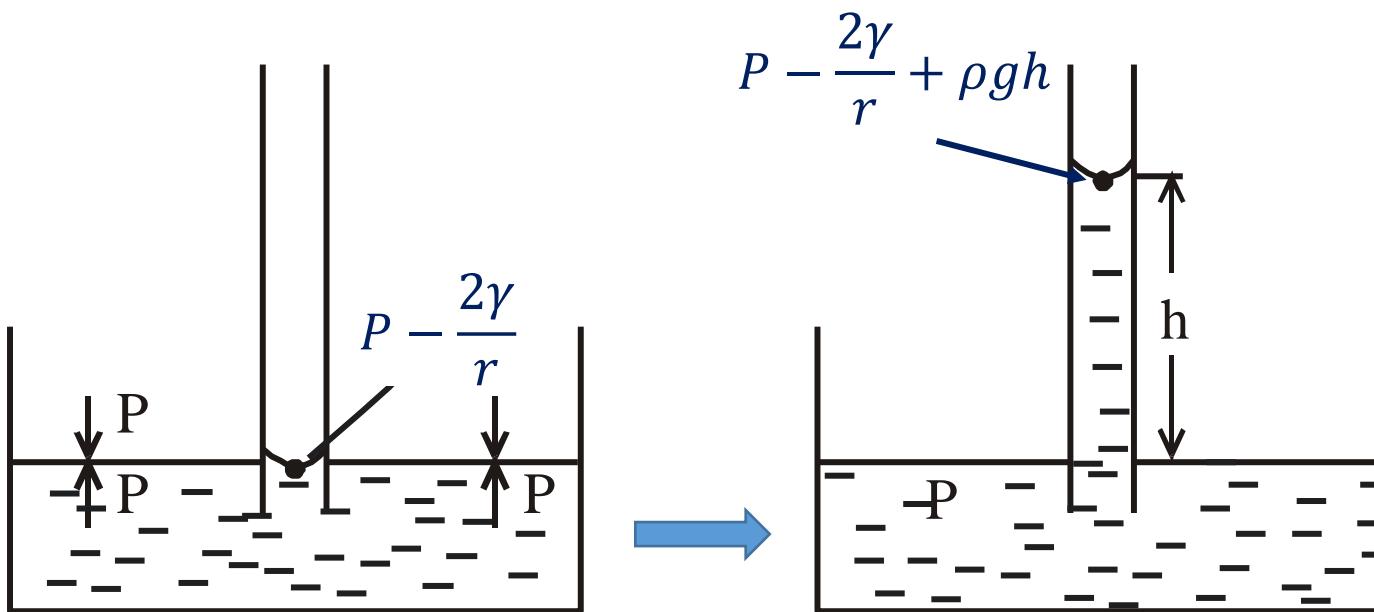
---

$$T = 298 \text{ K}$$

$$\gamma = 72 \text{ mN/m}$$

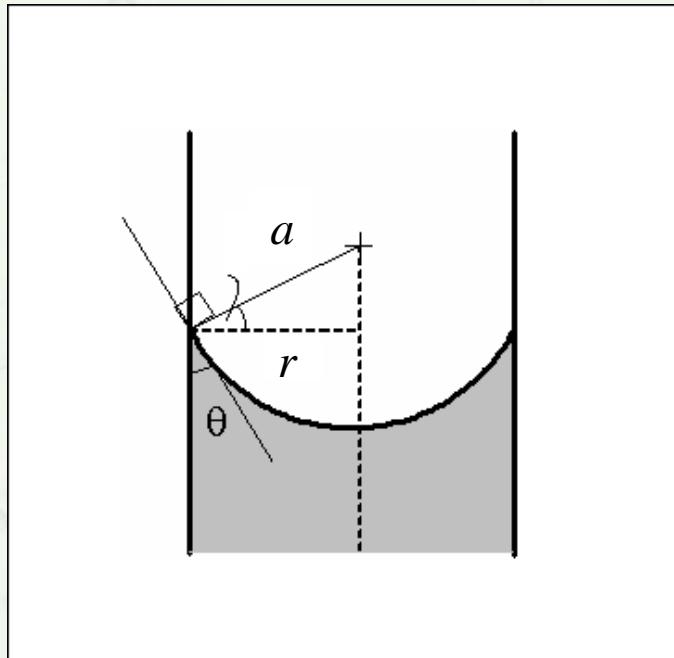
$2r / \mu\text{m}$	$\Delta P / \text{Pa (atm)}$
1 000	288 (0,00284)
3,0	96 000 (0,947)
0,3	960 000 (9,474)

# Posledica površinskog napona



# Kapilarnost

---



$$\rho gh = \frac{2\gamma}{a} \longrightarrow \gamma = \frac{1}{2} \rho gha$$

$$\gamma = \frac{1}{2} \rho gh \frac{r}{\cos \theta}$$

# Zakrivljena površina – posledice

---

- kapilarne pojave
- napon pare zavisi od zakrivljenosti površine

# Površinski napon i napon pare

---

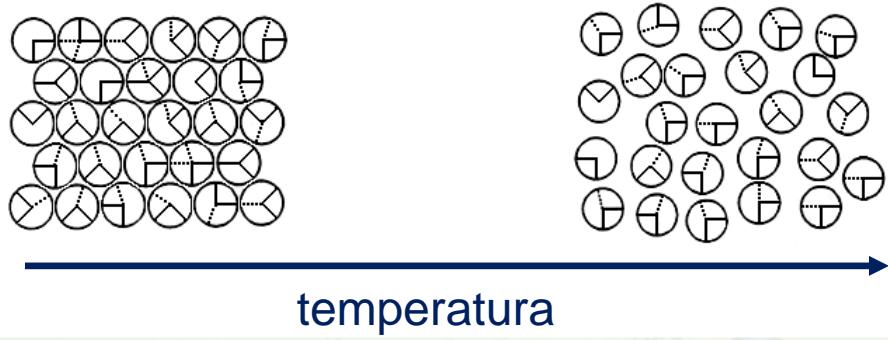
Promena molarne Gibsove slobodne energije pri obrazovanju zakrivljene površine:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta G_m(t) = \int_0^{2\gamma/r} V_m^t dP = \frac{2\gamma V_m^t}{r} \\ \Delta G_m(g) = RT \ln \frac{p}{p^0} \\ \Delta G_m(t) = \Delta G_m(g) \end{array} \right\} \quad \ln \frac{p}{p^0} = \frac{2\gamma V_m^t}{RT r}$$

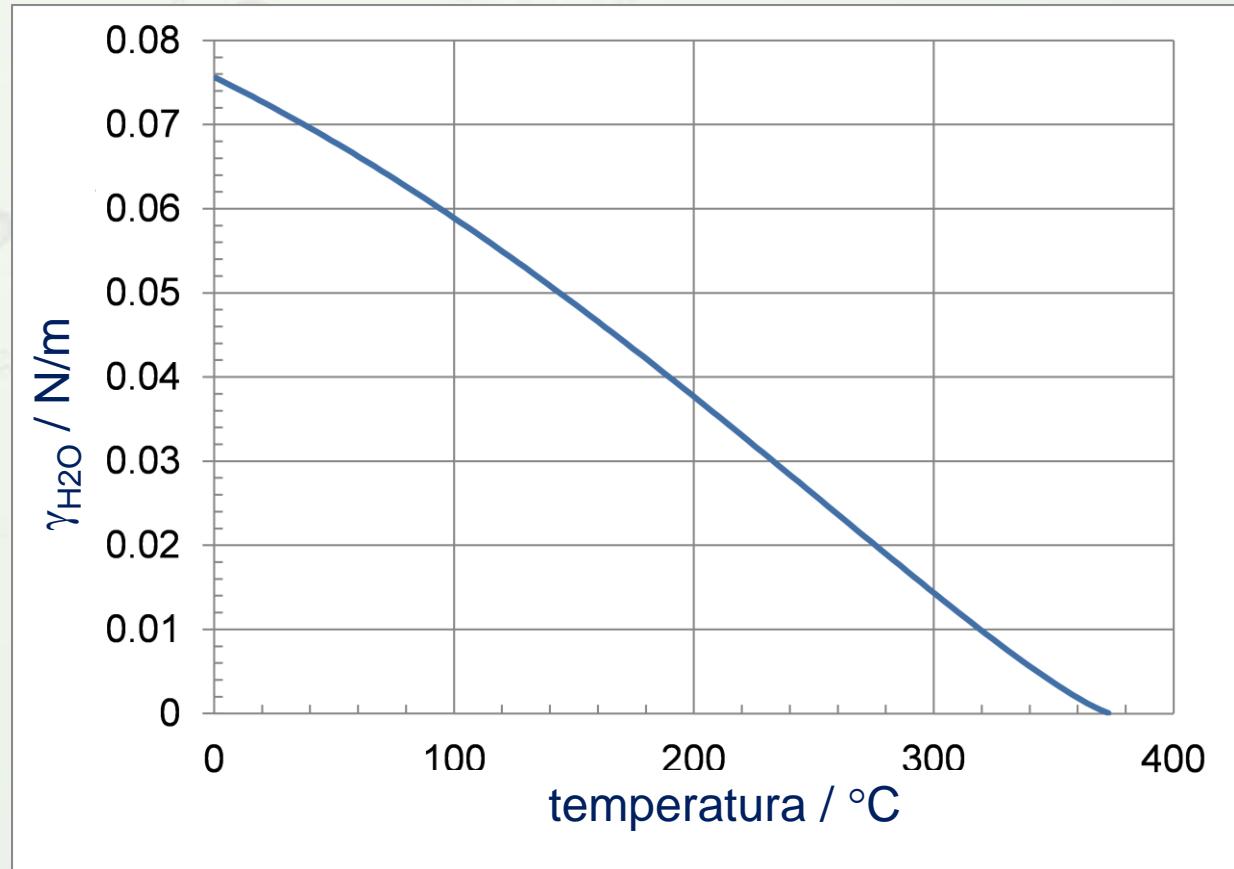
$$p = p^0 \exp \left( \frac{2\gamma V_m^t}{RT r} \right)$$

Kelvinova jednačina

# Površinski napon i temperatura



viša temperatura  
↓  
slabije međumolekulske interakcije  
↓  
manji  $\gamma$



# Površinski napon odabranih tečnosti (N/m)

---

t (°C)	H <sub>2</sub> O	CCl <sub>4</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
0	0,07564	0,0290	0,0316	0,0464	0,0240
25	0,07197	0,0261	0,0282	0,0432	0,0218
50	0,06791	0,0231	0,0250	0,0402	0,0198
70	0,06350	0,0202	0,0219	0,0373	-

# Površinski napon i temperatura

Etveš:  $-\frac{d \left[ \gamma V_m^{2/3} \right]}{dT} = k$

$$-\int_{\gamma_1 V_{m1}^{2/3}}^{\gamma_2 V_{m2}^{2/3}} d \left[ \gamma V_m^{2/3} \right] = k \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$-\frac{\gamma_2 V_{m2}^{2/3} - \gamma_1 V_{m1}^{2/3}}{T_2 - T_1} = k$$

$$T_2 = T_c; \quad \gamma_2 = 0$$

$$\boxed{\gamma V_m^{2/3} = k(T_c - T)}$$

Druge empirijske jednačine:

Remzi i Šilds:  $\gamma V_m^{2/3} = k(T_c - T - 6)$

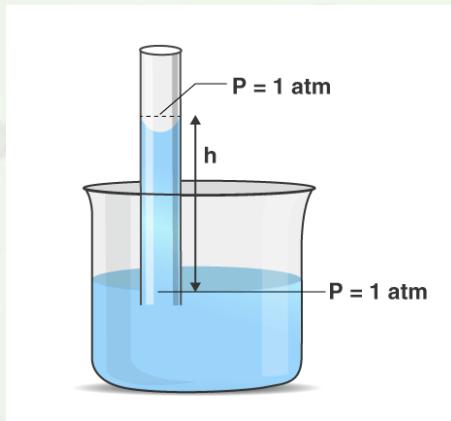
Van der Vals:  $\gamma = \gamma_0 \left( 1 - \frac{T}{T_c} \right)^n$

Katajama:  $\gamma \left( \frac{M}{\rho - \rho'} \right)^{\frac{2}{3}} = k(T_c - T)$

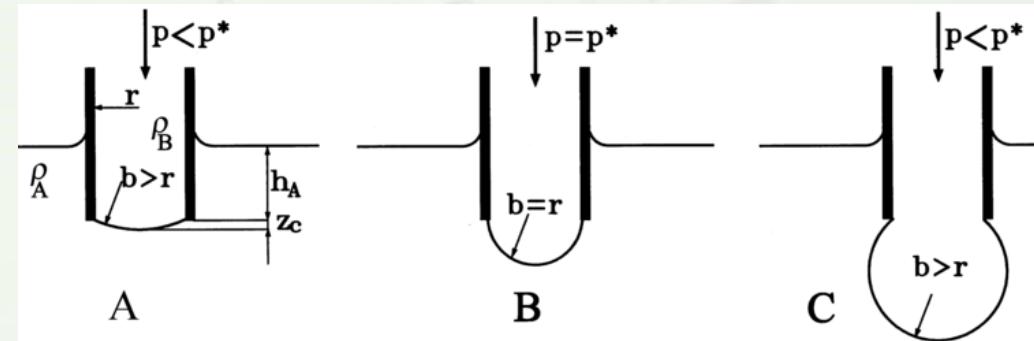
Meklod:  $\gamma = C(\rho - \rho')^4$

# Merenje koeficijenta površinskog napona

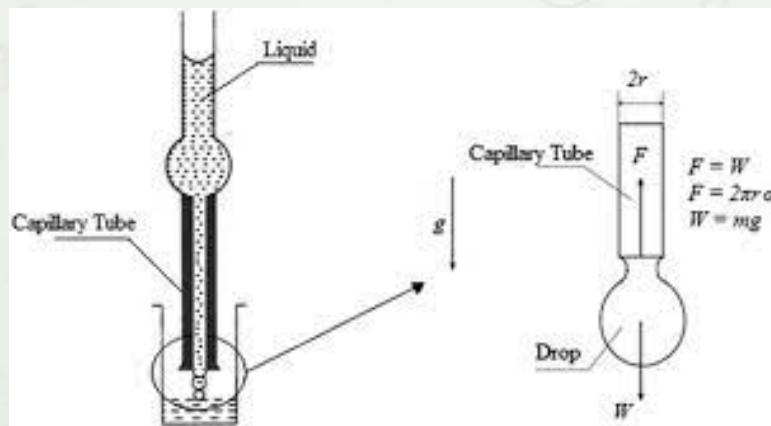
podizanje nivoa tečnosti u kapilari



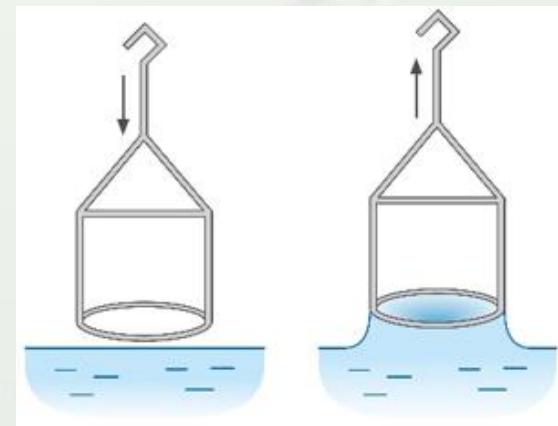
metoda mehura maksimalnog pritiska



stalagmometrijska metoda



tenziometar



# Rezime

---



