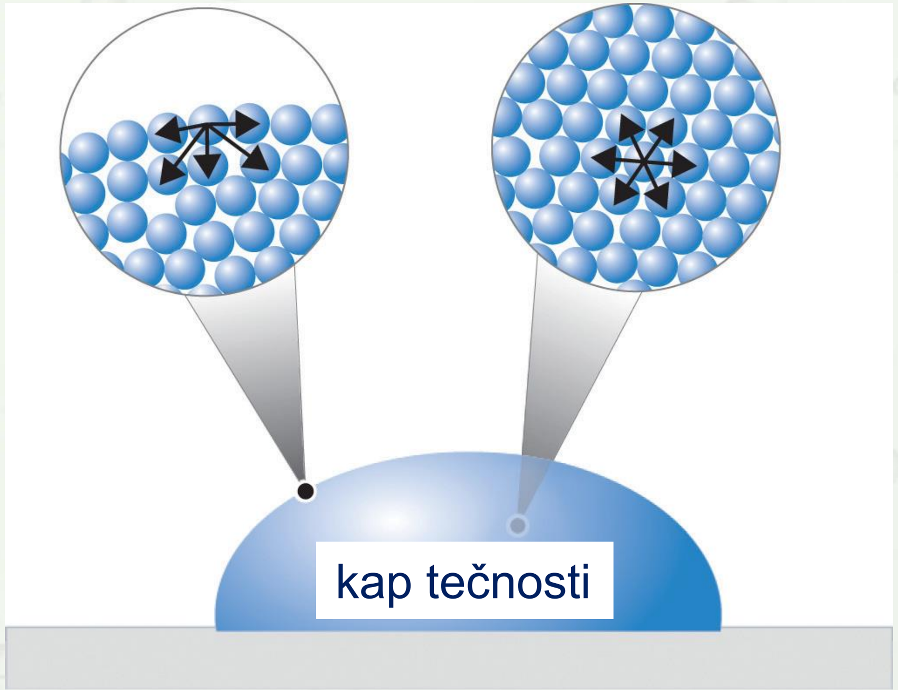
POVRŠINSKI NAPON

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

γ - površinski napon

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

Površinska Gibsova slobodna energija i površinska entalpija

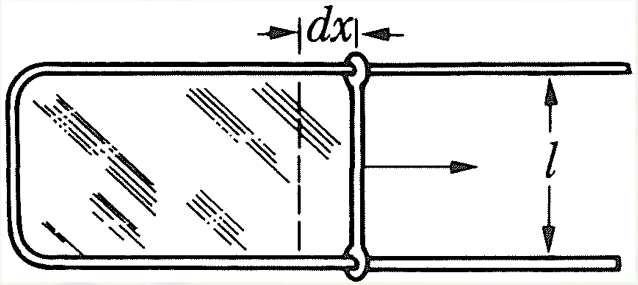
$$\gamma = \left(\frac{\partial G}{\partial \mathcal{A}}\right)_{P,T,n} = G^s$$

površinska Gibsova slobodna energija

$$H^s = \gamma - T\frac{d\gamma}{dT}$$

površinska entalpija

Obrazovanje površine: rad i sila



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

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

γ – površinska energija (J/m²)

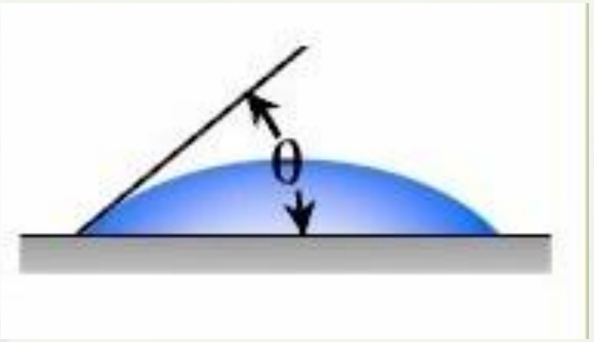
$$|\vec{F}| = \frac{dW}{dx} = \frac{\gamma d\mathcal{A}}{dx} = 2\gamma l$$

γ – površinski napon (N/m)

Površinski napon odabranih 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	9070
zlato	1000,0	1070
bakar	1100,0	1130

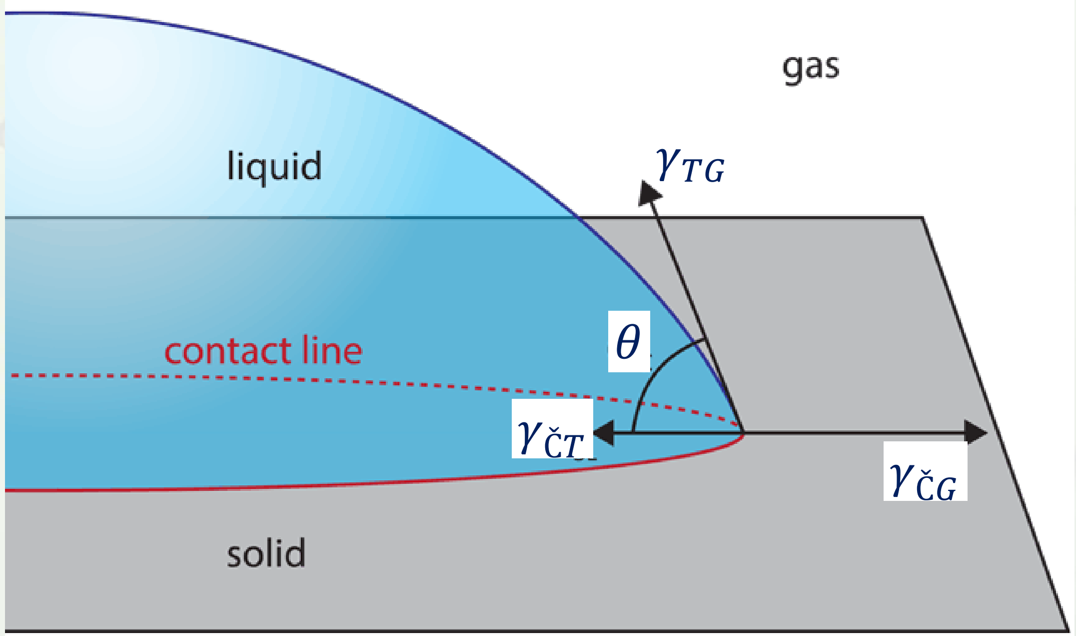
Ugao dodira



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 faza u horizontalnoj ravni:

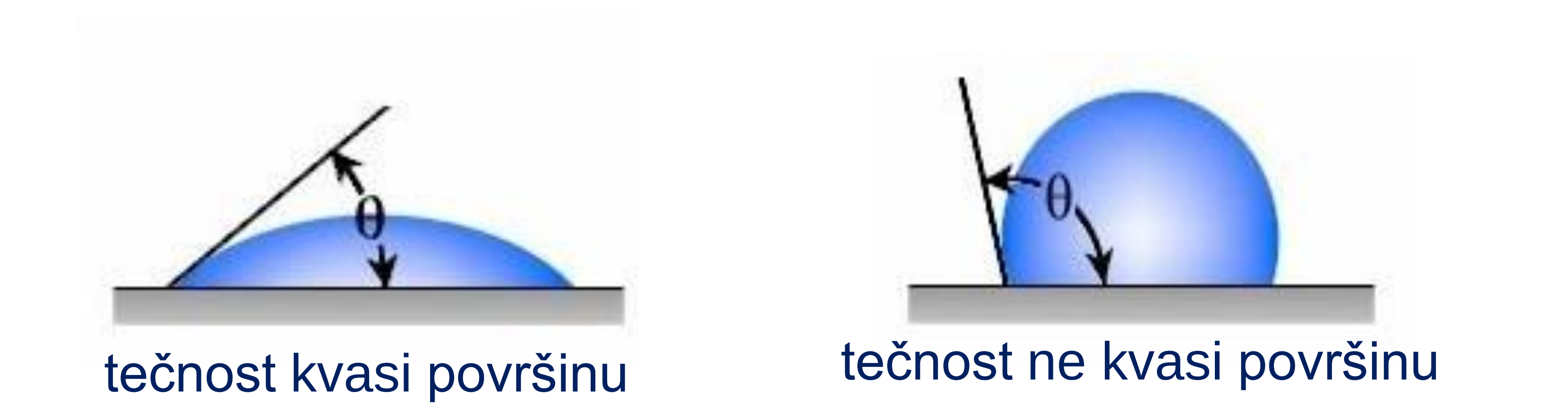


Jangova jednačina:

$$\gamma_{ČG} = \gamma_{ČT} + \gamma_{TG} \cos\theta$$

Ugao dodira

$$\gamma_{ČG} = \gamma_{ČT} + \gamma_{TG} \cos\theta$$



$\gamma_{ČG} > \gamma_{ČT}$

$\cos\theta > 0$

$\theta < 90^0$

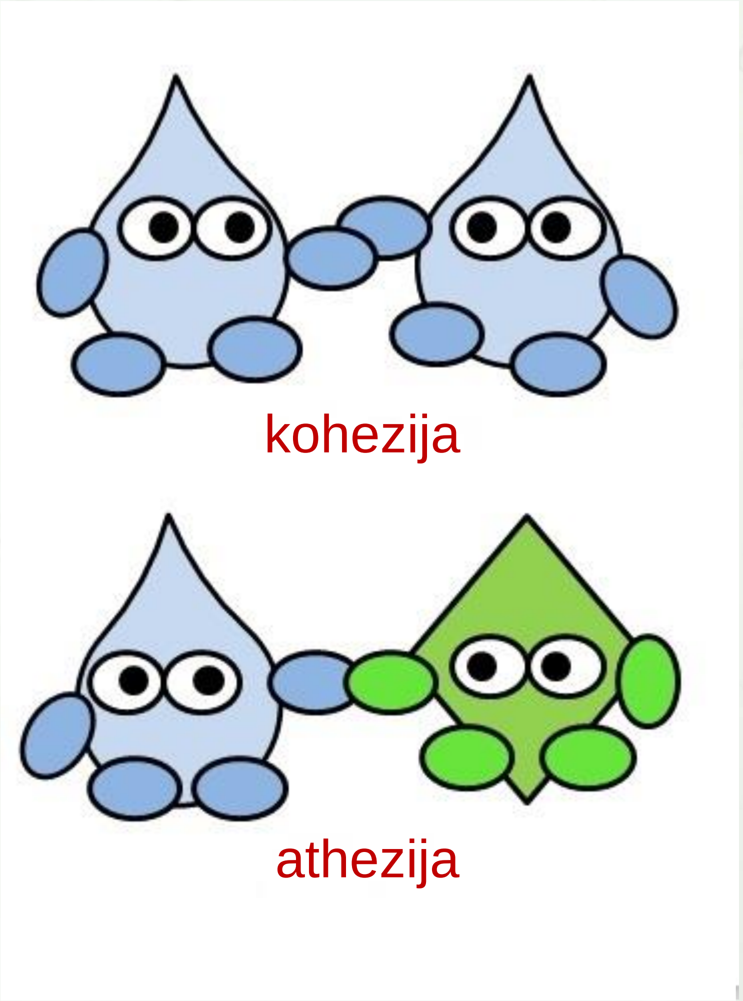
$\gamma_{ČG} < \gamma_{ČT}$

$\cos\theta < 0$

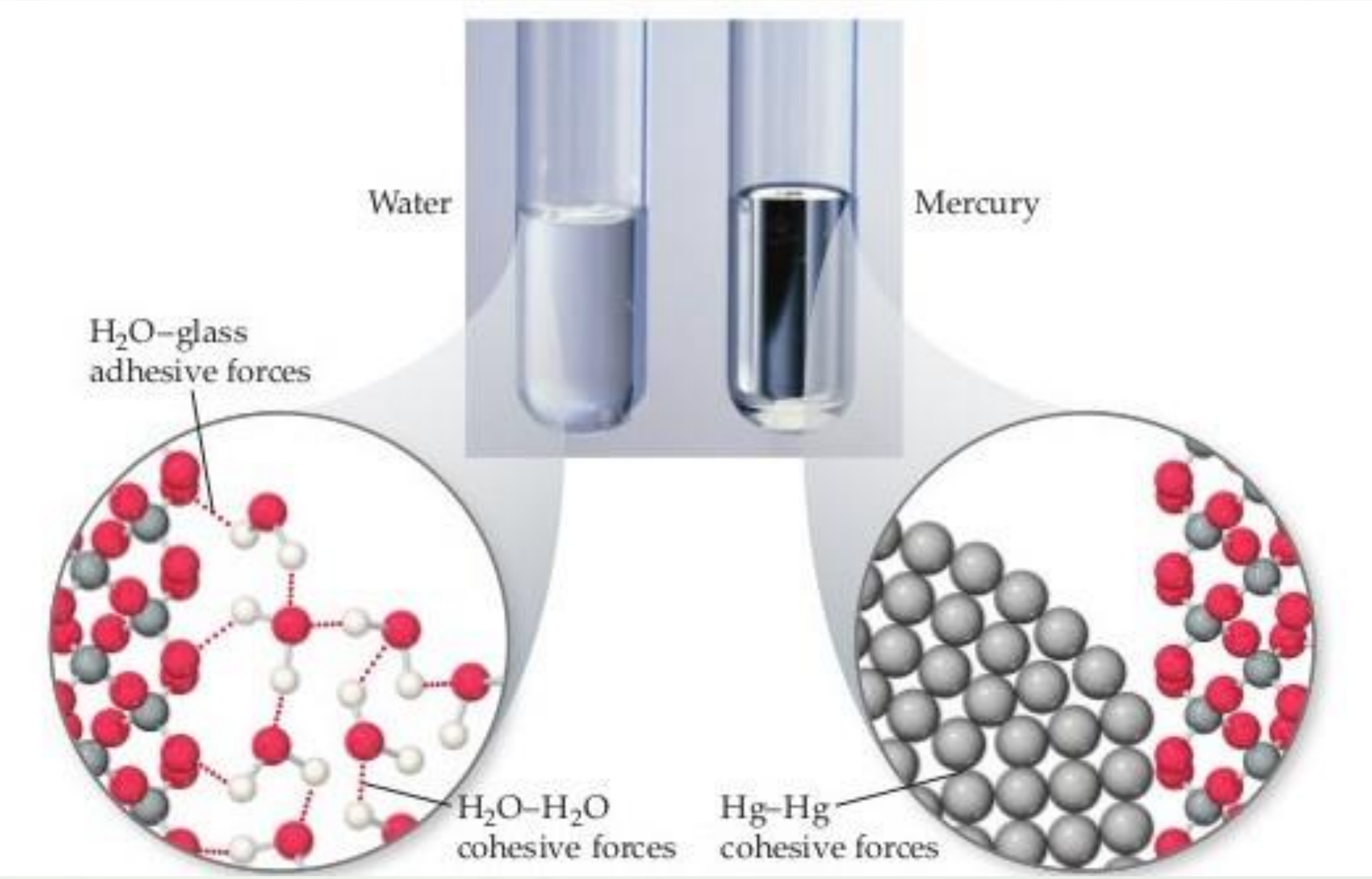
$90^0 < \theta < 180^0$

Ugao dodira i kvašenje površine

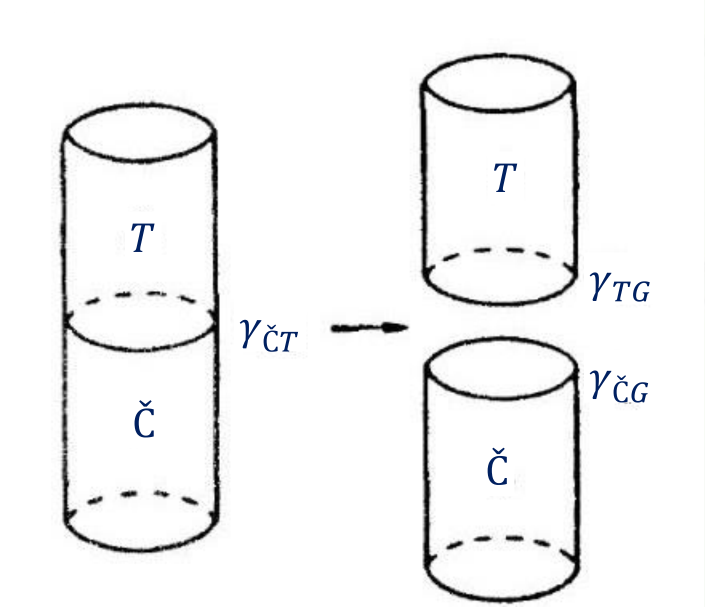
Kohezione i athezione sile



Voda – staklo i živa – staklo

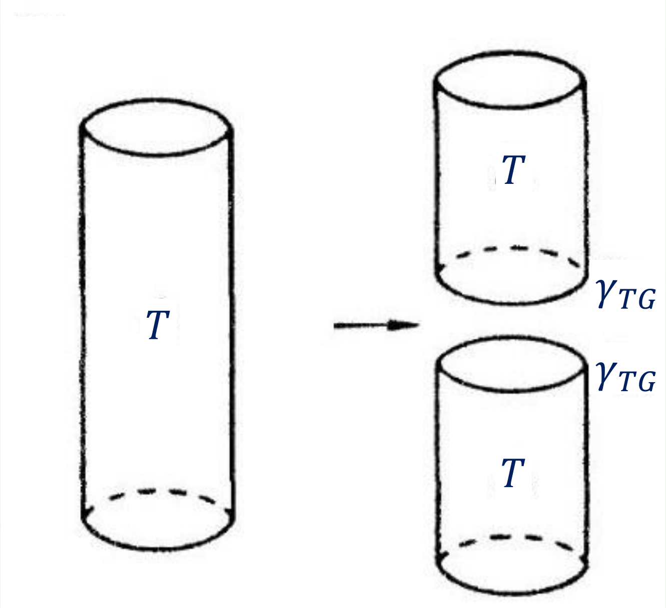


Athezioni i kohezioni rad



Athezioni rad (Dipreova jednačina)

$$w_{ČT} = \gamma_{ČG} + \gamma_{TG} - \gamma_{ČT}$$



Kohezioni rad

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

Ugao dodira

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

tečnost kvasi površinu

$$\theta < 90^0, w_{\check{C}T} > w_{TG}/2$$

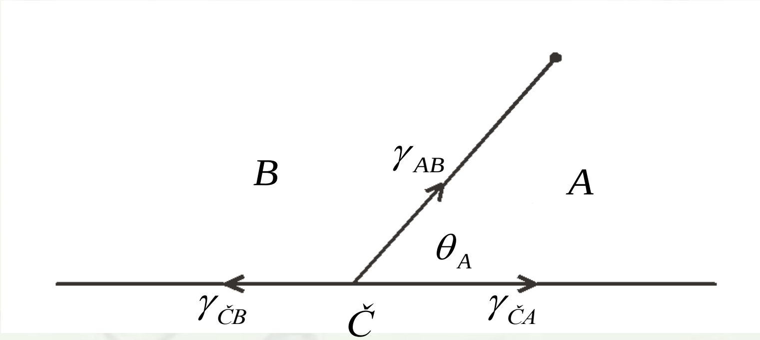
tečnost ne kvasi površinu

$$90^0 < \theta < 180^0, w_{\check{C}T} < w_{TG}/2$$

Živa na staklu

θ=140^0 $\rightarrow$ $w_{ČT}$ / (w_{TT}/ 2) = 0,23

Nemešljive tečnosti: razastiranje tečnosti



$$\gamma_{ČB} = \gamma_{ČA} + \gamma_{AB} \cos\theta_A$$

$\gamma_{maslinovo\ ulje}^{20°C} = 32{,}0$ mN/m

$\gamma_{voda}^{20°C} = 72{,}8$ mN/m

Razastiranje tečnosti

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

$$\gamma_{AB} + \gamma_A - \gamma_B < 0$$

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

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

Koeficijent razastiranja: $\gamma_B - \gamma_A - \gamma_{AB}$

Za datu zapreminu tečnosti površina se može smanjiti formiranjem zakrivljene površine

Kapljica: mala zapremina tečnosti u ravnoteži sa okružujućom parom.

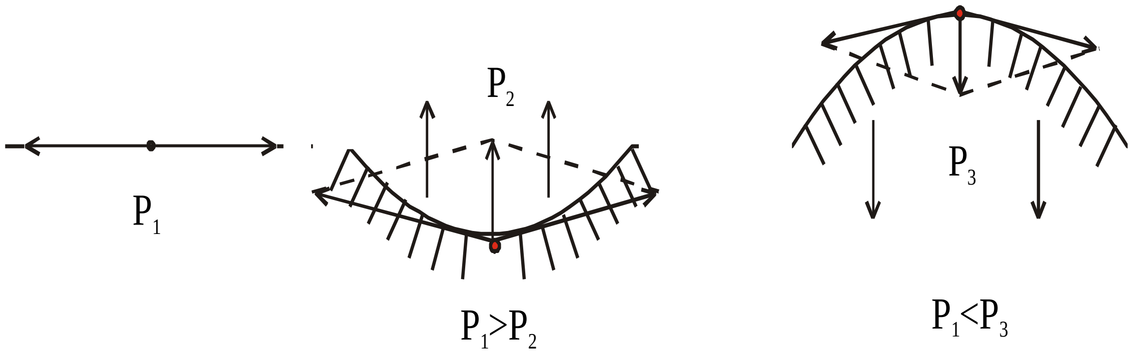
Mehur: šupljina u tečnosti ispunjena parom.

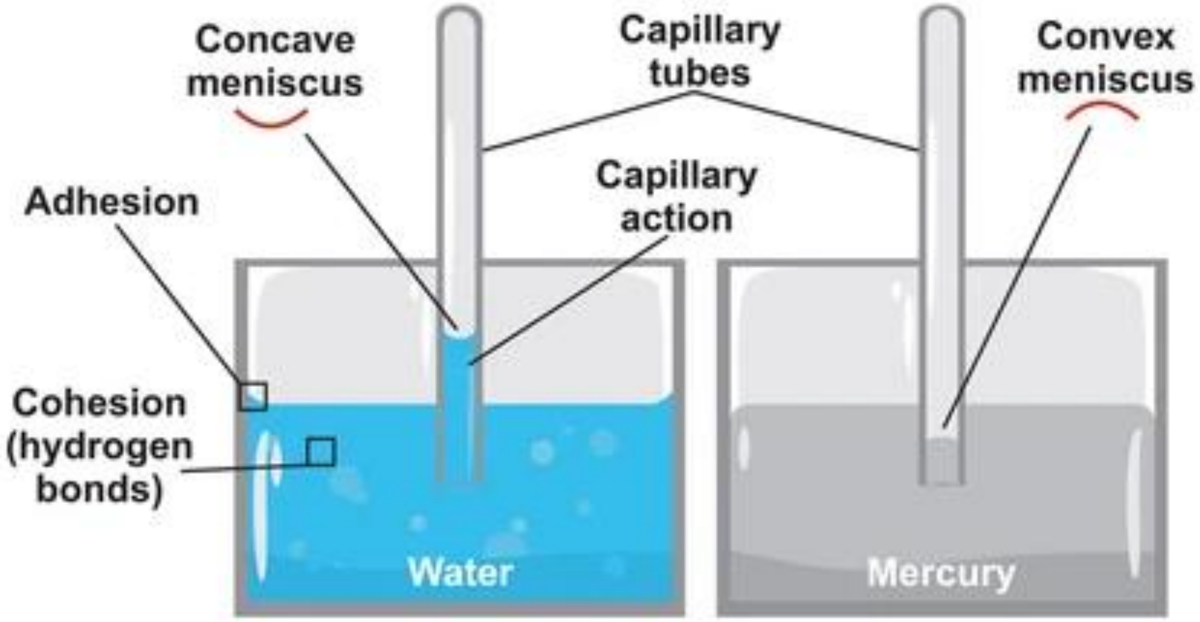
Balon: oblast u kojoj je para zarobljena tankim filmom koji ima dve površine.

Zakrivljena površina – posledice

- kapilarne pojave
- napon pare tečnosti zavisi od zakrivljenosti površine

Kapilarne pojave





Kapilarne pojave

$$dG_1 = -\gamma d(4\pi r^2) = -8\gamma\pi r dr$$

$$dG_2 = \Delta P d\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right) = 4\Delta P \pi r^2 dr$$

$$dG = dG_1 + dG_2 = 0$$

$$-8\gamma\pi r dr + 4\Delta P \pi r^2 dr = 0$$

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

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

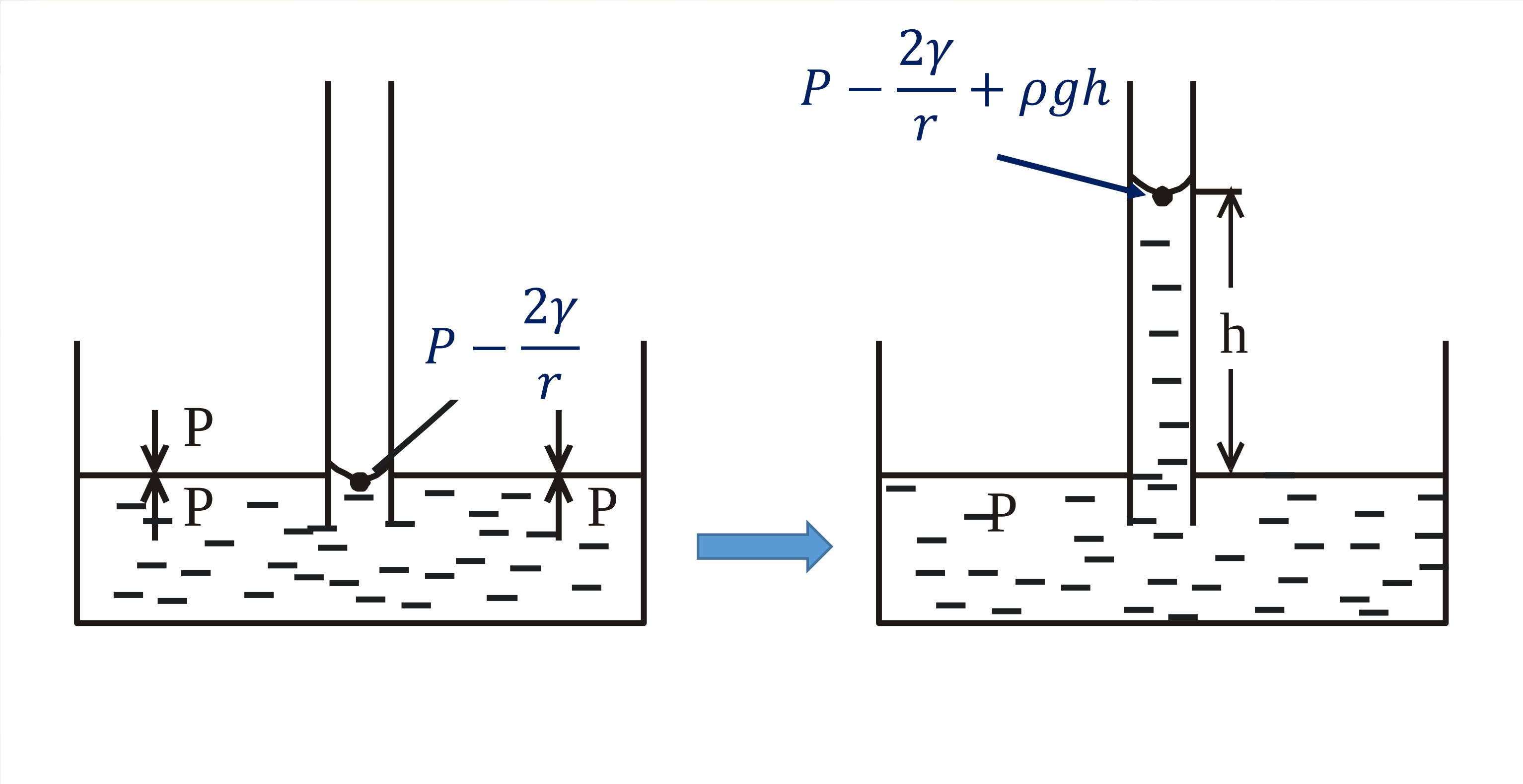
Laplasova jednačina

Primer – mehur u vodi

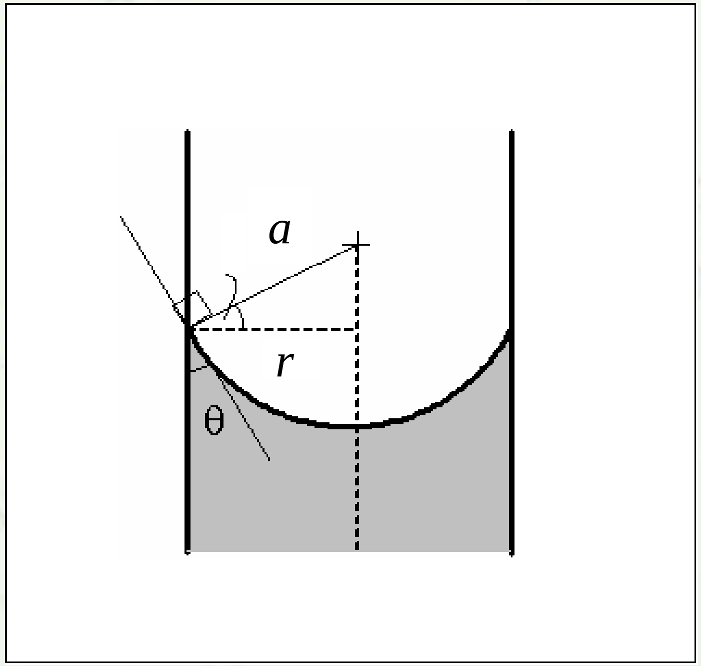
T = 298 K
γ = 72 mN/m

2r / μm	ΔP / Pa (atm)
1 000	288 (0,00284)
3,0	96 000 (0,947)
0,3	960 000 (9,474)

Kapilarnost je posledica površinskog napona



Kapilarnost



$$\rho g h = \frac{2\gamma}{a} \longrightarrow \gamma = \frac{1}{2}\rho g h a$$

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

Zakrivljena površina – posledice

- kapilarne pojave
- napon pare tečnosti zavisi od zakrivljenosti površine

Površinski napon i napon pare

Promena molarne Gibsove slobodne energije pri obrazovanju zakrivljene površine:

$$\Delta G_m(t) = \int_0^{2\gamma/r} V_m^t dP = \frac{2\gamma V_m^t}{r}$$

$$\Delta G_m(g) = RT\ln\frac{p}{p^0}$$

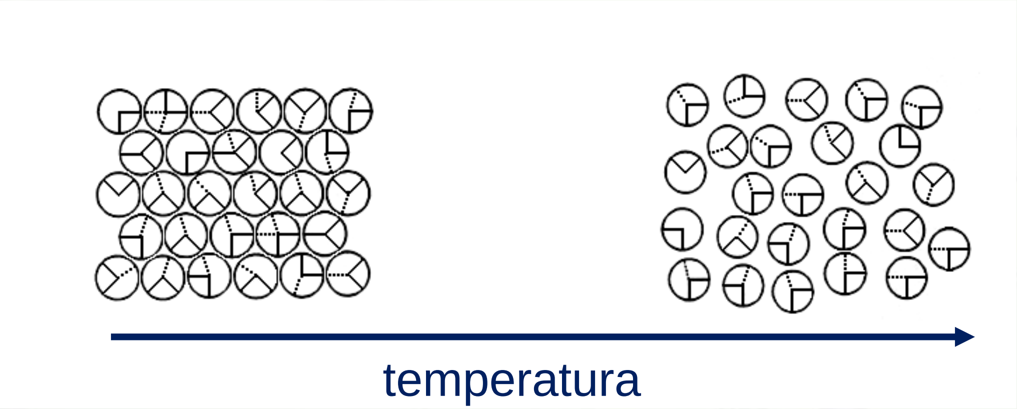
$$\Delta G_m(t) = \Delta G_m\,(g)$$

$$\ln\frac{p}{p^0} = \frac{2\gamma M}{RT\rho r} = \frac{2\gamma V_m^t}{RTr}$$

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

Kelvinova jednačina

Površinski napon i temperatura



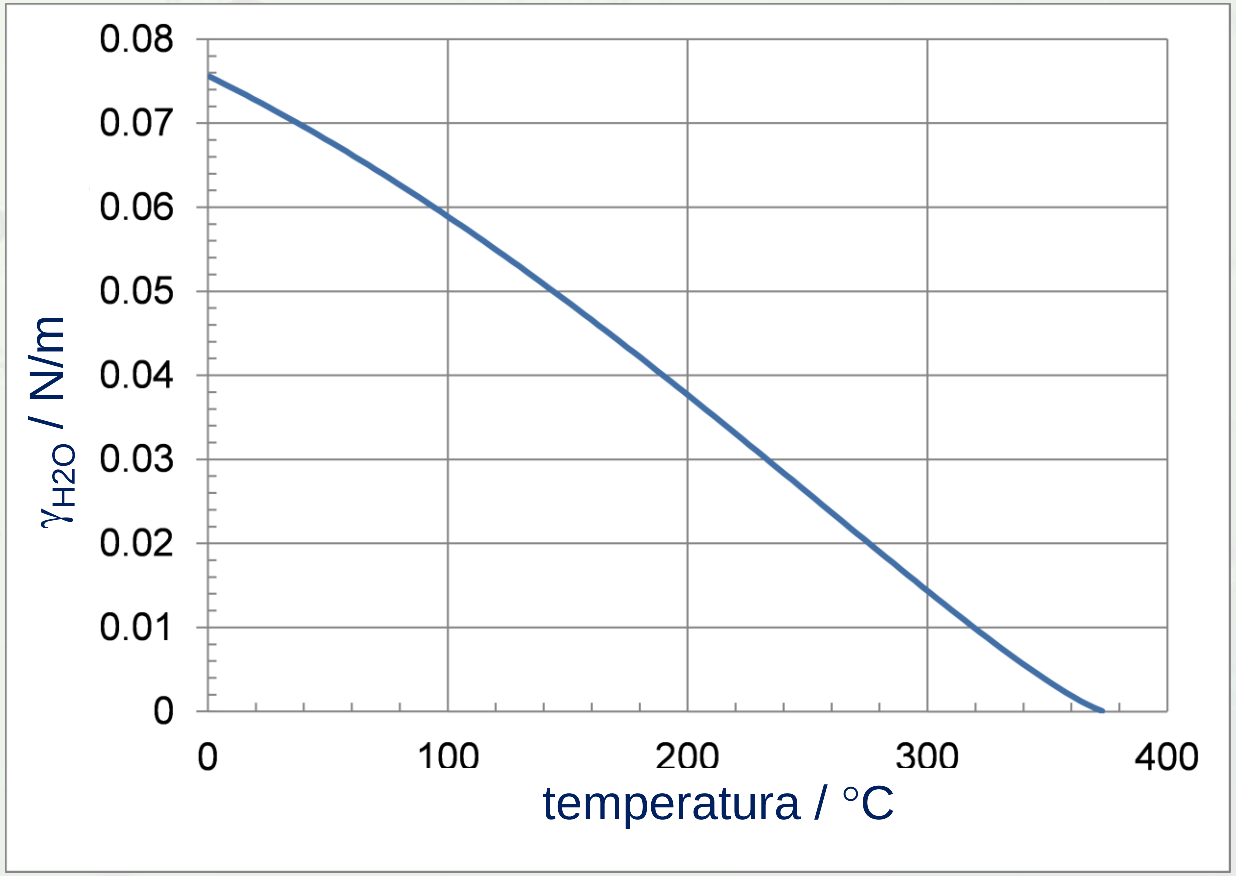
viša temperatura

↓

slabije međumolekulske interakcije

↓

manji γ



Površinski napon odabranih tečnosti (N/m)

t (°C)	H_2O	CCl_4	C_6H_6	$C_6H_5NO_2$	C_6H_5OH
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: $\gamma V_m^{2/3} = k(T_c - T - 6)$

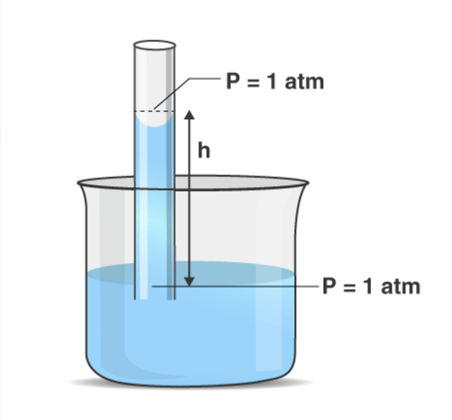
Van der Vals: $\gamma = \gamma_0 \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n$

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

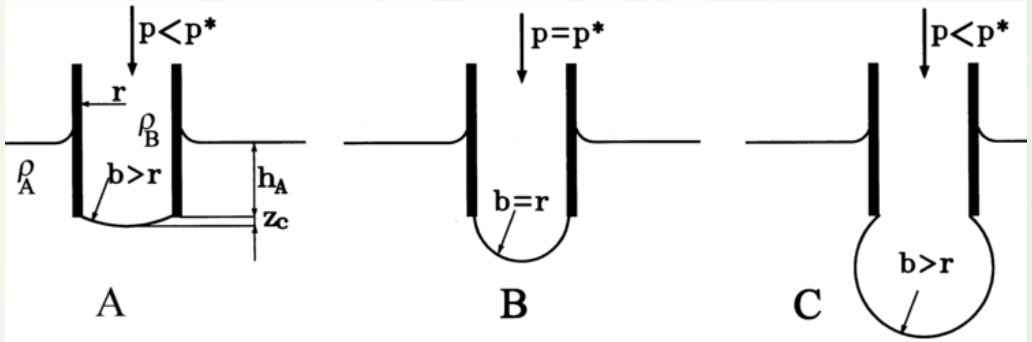
Meklod: $\gamma = C(\rho - \rho')^4$

Merenje koeficijenta površinskog napona

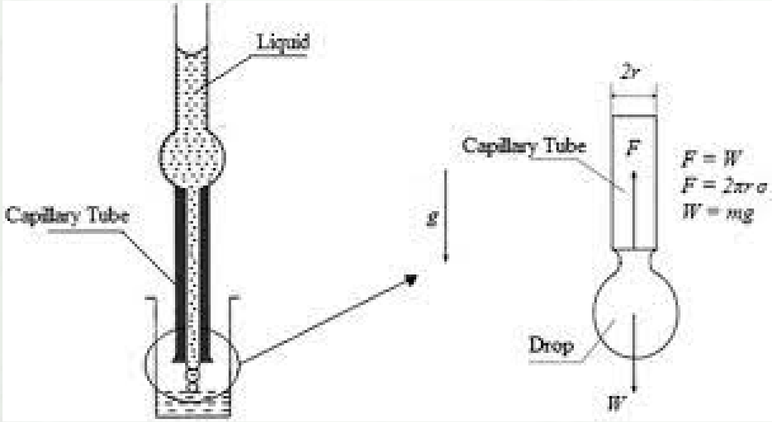
podizanje nivoa tečnosti u kapilari



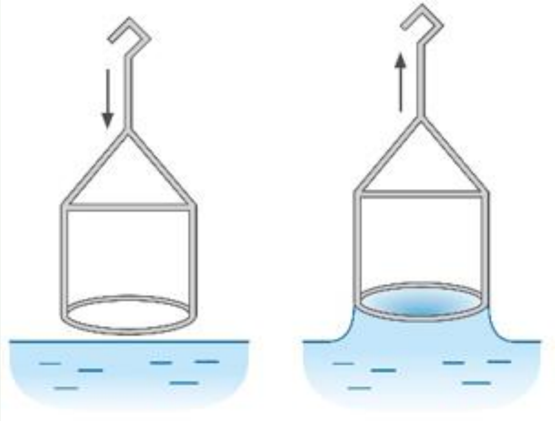
metoda mehura maksimalnog pritiska



stalagmometrijska metoda



tenziometar



Rezime