

Jariakinak (IV)

Gainazal-tentsioa

Oscar Ecenarro
oscar.ecenarro@ehu.es

Gainazal-fenomenoak

- Likidoak osatzen dituzten molekulen artean indar nabarmenak daude, eta horrexegatik likidoen gainazal askeek fenomeno bitxiak aurkezten dituzte. Hona hemen adibide batzu:



- **Txanpona, klip-a**



Gainazal-fenomenoak

- Likidoak osatzen dituzten molekulen artean indar nabarmenak daude, eta horrexegatik likidoen gainazal askeek fenomeno bitxiak aurkezten dituzte. Hona hemen adibide batzu:



- Txanpona, klip-a, **zapataria** (*hydrometra stagnorum*)



Gainazal-fenomenoak

- Likidoak osatzen dituzten molekulen artean indar nabarmenak daude, eta horrexegatik likidoen gainazal askeek fenomeno bitxiak aurkezten dituzte. Hona hemen adibide batzu:



- Txanpona, klip-a, zapataria (*hydrometra stagnorum*), **ostoa**



Gainazal-fenomenoak

- Likidoak osatzen dituzten molekulen artean indar nabarmenak daude, eta horrexegatik likidoen gainazal askeek fenomeno bitxiak aurkezten dituzte. Hona hemen adibide batzu:



- Txanpona, klip-a, zapataria (*hydrometra stagnorum*), ostoia eta **burbuila**.

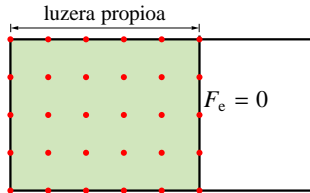


Gainazal fenomenoen sortzaileak

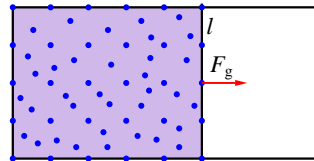
- Likidoen azaletan mintz elastiko antzerako zerbait eratzen da.
- Molekulen artean, indar sendoak parte hartzen dute distantzia txikitara: Van der Waals-en indarrak.
- Hauek, r^{-6} – r^{-7} -ko mendekotasuna dute distantziarekiko (indar erakarleak) eta r^{-11} – r^{-12} -ko mendekotasuna (indar aldaratzaileak).
- Lennard-Jones-en potentziala ($E_p = A/r^6 - B/r^{12}$) da portaera hori hoberen deskribatzen duena.
- Oso azkar jaisten dira distantziarekin.
- Askotan, **kohesio-indarrak** deitzen zaie indar hauei.



Elastikotasuna eta gainazal-tentsioaren arteko diferentziak



Mintz elastikoa

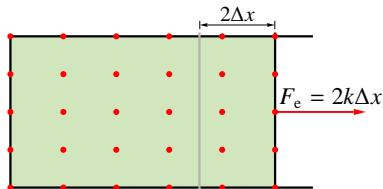


Likidoen gainazala

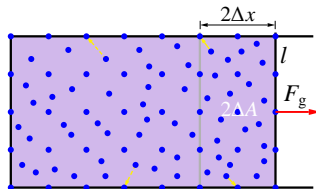
- Likidoen gainazaletan (eta likido barruan), molekulak solteagoak daude, eta 'mintz' hori beste modu batean agertuko da. F_g indarra behar da.



Elastikotasuna eta gainazal-tentsioaren arteko diferentziak



Mintz elastikoa



Likidoen gainazala

- Mintz elastikoetan, molekulak nahiko finko daude posizio konkretuetan. Luzera propioa dugu, deformatu gabekoa, indarririk egin behar ez dena.
- Likidoen gainazalean (eta likido barruan), molekulak solteagoak daude, eta 'mintz' hori beste modu batean agertuko da. F_g indarra behar da.
- Mintza Δx luzatzen bada, elastikoan $F_e = k\Delta x$ indarra egin beharko da egoera deformatu horretan mantentzeko, k konstante bat delarik.
- ... likidoan, ordea, Δx luzatzean barruko molekulak gainazaletara joango dira, molekula hauen arteko distantziak konstante mantenduko direlarik: F_g indarra aurrekoa da, **Δx bikoiztu arren!**



Non gordetzen da azalera handitzeko egindako lana?

- Aurreko irudietan, F_g indarrak ΔW lana egiten du gainazal-tentsioaren kontra, mintz likidoaren azalera ΔS balioan handitzeko.
- Lan hori mintzean gordetzen da.
- Kontuz! Azala bikoitza da: goialde eta behealdekoa. Azalera-handipena, beraz, $\Delta S = 2\Delta A = 2l\Delta x$ da (ΔA irudian erakusten dena da).
- Guztira, ba, hauxe da egindako lana:

$$\Delta W = F_g \Delta x = 2\sigma l \Delta x$$

→

$$\sigma = \Delta W / \Delta S = F_g / 2l$$

- Gainazal-tentsioa (σ) konstante da (tenperatura konstante bada).

Unitateak

- Gainazal-tentsioaren unitateak indarra zati luzerarenak dira ($\sigma = F_g / 2l$).
- ... edo energia zati azalerarenak ($\sigma = \Delta W / \Delta S$).
- Dimentsioa eta unitateak, ondorioz, hauexek izango dira:

$$[\sigma] = \text{M T}^{-2}$$

$$1 \text{ N/m} = 1 \text{ J/m}^2$$



ZTF-FCT

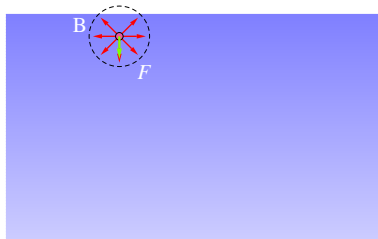
Gainazal-tentsioaren ohiko balio batzu

Zenbait likidoren gainatzal-tentsioa

Airearekin ukipenean dagoen likidoa	Temperatura °C	Gainazal-tentsioa N/m
Ura	0	0.0756
Ura	20	0.0728
Ura	60	0.0662
Ura	100	0.0589
Oliba-olioa	20	0.0320
Alkohol etilikoa	20	0.0223
Bentzenoa	20	0.0289
Glizerina	20	0.0631
Merkurioa	20	0.4650
Karbono tetrakloruroa	20	0.0268
Oxigenoa (l)	-193	0.0157
Neona (l)	-247	0.00515
Helioa (l)	-269	0.00012

Molekulen arteko elkarrekzio-indarrak likido batean

- Likido baten barruko (edota gainazaleko) molekulen gainean hurrengo indarrak eta indar-erresultanteak eragiten dute:

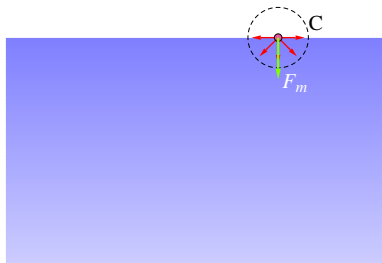


- Molekula likido barruan: inguru hurbileko molekulak eragingo diote. Simetriagatik, indar erresultantea nulua da: $F = 0$.
- Molekula likido barruan (baina gainazaletik gertu): indar batzu orekatu gabe egongo dira, eta indar erresultantea ez da nulua izango, F .



Molekulen arteko elkarrakzio-indarrak likido batean

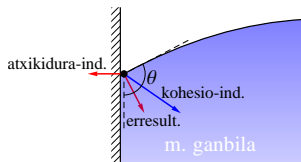
- Likido baten barruko (edota gainazaleko) molekulen gainean hurrengo indarrak eta indar-erresultanteak eragiten dute:



- Molekula likido barruan: inguru hurbileko molekulak eragingo diote. Simetriagatik, indar erresultantea nulua da: $F = 0$.
- Molekula likido barruan (baina gainazaletik gertu): indar batzu orekatu gabe egongo dira, eta indar erresultantea ez da nulua izango, F .
- Molekula likidoaren gainazalean: indar erresultantea maximoa: F_m . Beste edozein molekula gainazalera eramateko, F_m gainditu behar da.



- Likido bat ontzi batean badago, ontziaren hormarekin kontaktuan dauden molekulen gainean bi eratako indarrak sortuko dira:
 - Likidoaren molekulen arteko Van der Waals-en indar erakarleak (kohesio-indarrak).
 - Likidoaren molekulen gaineko indar erakarleak, ontziaren molekulek eragindakoak (atxikidura-indarrak).
- Kohesio- eta atxikidura-indarren konparaketaz, halakoa izango da ontziaren hormarekin kontaktuan dugun gainazala:
 - Kohesio-indarra atxikidura-indarra baino txikiagoa (menisko ahurra): likidoak **busti** egiten du solidoa. Ukipen-angelua: $\theta < 90^\circ$.
 - Kohesio-indarra atxikidura-indarra baino handiagoa (**menisko ganbila**): **likidoak ez du bustitzen solidoa**. Ukipen-angelua: $\theta > 90^\circ$.



Gainazal kurbatu baten azpiko presioa: Laplace-ren legea

- Badakigu euri-tantak esferikoak direla, eta beste hainbeste likido ere forma esferikoz aurkitzen direla kantitate txikitik daudenean.
- Hori, tanten gainazala mintz ‘elastiko’ antzeko zerbait delako da.
- Ez dugu frogatuko baina halako mintz ‘elastiko’ batean, likido barruko presioa gainazal libretik gainera presioaren desberdina da.
- **Laplace-ren legea:**

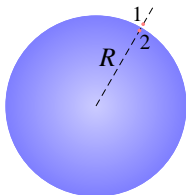
$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

- r_1 eta r_2 gainazal horren kurbadura nagusiko erradio biak dira.
- Positiboak dira likido barrurantz zuzenduak badaude (negatiboak aurkako noranzkoan zuzenduak badaude).
- Gainazala esferikoa bada, erradio biak berdinak dira: $r_1 = r_2 = R$, eta Laplace-ren legea honela eratuko da:

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



Laplace-ren legearen zenbait adibide



- **Ur-tantak.** Gainazala ahalik eta txikiena izan dadin, esferikoa izan behar da, eta gainazal azpian (2 puntua 1-ekiko, menisko ganbila) gainpresioa dugu:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = \frac{2\sigma}{R}, \quad p_2 > p_1$$

- **Xaboi-burbuilak.** Alde batetik, $R_1 \simeq R_2 \simeq R$:
 - 2 puntua 1-ekiko, menisko ganbila ($p_2 > p_1$):

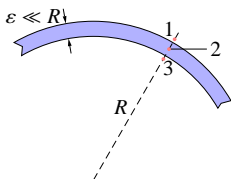
$$\Delta p_a = p_2 - p_1 = \frac{2\sigma}{R}$$

- 3 puntua 2-rekiko, menisko ahurra ($p_2 < p_3$):

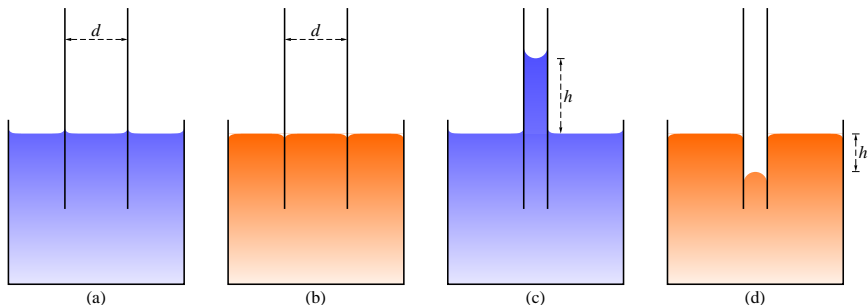
$$\Delta p_b = p_2 - p_3 = -\frac{2\sigma}{R}$$

- Guztira, 3 puntuak 1-ekiko gainpresioa izango du:

$$\Delta p = p_3 - p_1 = \frac{4\sigma}{R}$$



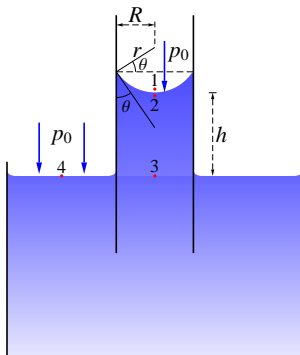
Kapilaritatea



- (a)-(b): Erradio handiko beirazko hodiak uretan eta merkurioan sartzen dira (menisko ahur eta ganbilak sortuko dira).
- (c)-(d): Erradioa nahiko txikia egiten denean, meniskoak bildu egiten dira, gainazal esferikoa sortuz (ahurra edo ganbila).
- Gainazal azpi azpian depresioa, (c), edo gainpresioa, (d), egongo da, eta honek likido-mailaren **igoera** edo **jaitiera** ekarriko du: **kapilaritatea**.



Jurin-en legea (I)



- R erradio txikiko hodia (**kapilarra**) ρ dentsitateko likidoan: meniskoak bildu eta r erradiodun gainazal esferikoa ematen dute.
- Likidoa hodian gora igoten da.
- Laplace-ren legearen arabera, 2 puntuan 1-ekiko depresioa edukiko dugu:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = - \frac{2\sigma \cos \theta}{R}$$

- Baina hidrostatikaren funtsezko legeak dionenez:

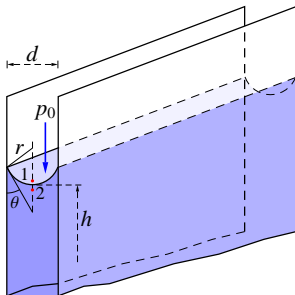
$$p_3 = p_2 + \rho gh = p_4 = p_0 \rightarrow p_2 = p_0 - \rho gh$$

- Eta $p_1 = p_0$ denez, azken ekuazio bien konparaketaz:

$$\frac{2\sigma \cos \theta}{R} = \rho gh \rightarrow \boxed{h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g R}}$$

- Likidoak hodia buztiko ez balu, gora egin beharrean behera egingo luke. Formularen, $\cos \theta \rightarrow |\cos \theta|$ erabili beharko da.

Jurin-en legea (II)



- Hodi kapilarra baino elkarrengatik d distantzia txikira dauden bi xafla paralelo erabili izan bagenu, menisko bildua ez litzateke esferikoa izango, zilindrikoa baizik.
- Meniskoaren azpiko depresioa kalkulatzeko, Laplace-ren legea aplikatuko dugu berriro.
- Honakoan, $r_1 = r = d/(2 \cos \theta)$, eta $r_2 = \infty$:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = - \frac{2\sigma \cos \theta}{d}$$

- Aurreko kasuko bideari jarraituz, igoera (edo jaitsiera) kapilarra honela geratuko litzateke:

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g d}$$

