



Fizika vodene površine

radionica

Ivica Aviani

Zagreb, 2009.

Sadržaj

Što je površinska napetost.....	3
Zašto novčić pliva.....	2
Postoji li napeta površina i s donje strane	5
Možemo li "razbiti" površinu vode	6
Čamac na alkohol.....	7
Sile među tijelima na površini tekućine.....	8
Voda u električnom polju.....	10
Kapljica u slobodnom padu.....	11
Kapljica na krutoj podlozi.....	12
Vodoodbojna nanotehnologija.....	13
Kućna nanotehnologija.....	14
Nanotehnologija prirode.....	15

Što je površinska napetost

Površinska napetost je sila po jediničnoj duljini presjeka površine, a jedinica je njutn po metru, N/m, slično kao što je tlak sila po jediničnoj ploštini površine. Napetost je jednako teško uočiti kao i tlak. Uzmemo li pločicu ploštine 1 cm^2 , zbog atmosferskog tlaka, na nju djeluje sila od 10 N, kao da smo je pritisnuli utegom od 1 kg! Međutim, jednaka sila djeluje s obje strane pločice i rezultanta je jednaka nuli. Pločica je u ravnoteži i zato ne vidimo učinak tlaka. Ako učinak tlaka želimo vidjeti, moramo ukloniti zrak s jedne strane pločice.

Slična je stvar s koncem duljine 1 cm koji pliva na površini vode. Sa svake strane, okomito na konac, a tangencijalno s površinom vode, djeluje sila od 0,72 mN. Djelovanje te sile možemo uočiti ako uklonimo ili razbijemo površinu s jedne strane konca, npr. pomoću deterdženta.

Molekule u unutrašnjosti tekućine okružene su većim brojem istovrsnih molekula nego one na površini, što rezultira njihovom manjom potencijalnom energijom. Zbog toga razloga, molekule s površine imaju težnju prodrijeti u dublje slojeve. Gustoća se površinskoga sloja na taj način smanjuje, a udaljenost među molekulama postaje veća od ravnotežne. Veći prostor među molekulama na površini omogućuje i veći nered u njihovu slaganju, odnosno veću entropiju. Nered će biti to veći što je temperatura veća. Kako molekule ne vole samo mjesta manje energije, nego i mjesta većega nereda, one će imati težnju gibati se prema površini. Nastat će stacionarno stanje u kojem je tok molekula od površine jednak toku molekula prema površini. U tom stacionarnom stanju gustoća molekula je na površini manja od gustoće tekućine.

Napetost površine nastaje zato jer je površinski sloj tekućine rjeđi od njene unutrašnjosti. Zbog toga molekule nisu na ravnotežnim udaljenostima, nego su međusobno udaljenije, pa među njima djeluju privlačne sile s težnjom da smanje razmak molekula. Ove privlačne sile stvaraju površinsku napetost. Površinska napetost se smanjuje povećavanjem temperature, jer povećani nered potiče povratak odbjeglih molekula natrag na površinu.

Površinska energija je jednaka radu potrebnom da se stvori jedinična površina i ima jedinicu džul po kvadratnome metru, J/m^2 . Želimo li presjeći neki predmet moramo upotrijebiti barem energiju jednaku energiji dviju novih ploha koje nastaju presjekom. Kod tekućina je površinska energija brojčano jednaka površinskoj napetosti, dok kod krutih tijela ne možemo govoriti o površinskoj napetosti jer molekule nisu dovoljno pomične.

Zašto novčić pliva

Pokus



- 1) Vilicom pažljivo postavimo aluminijski novčić na površinu vode. To su kovanice od 1 i 2 lipe. Novčić pliva iako je gustoća aluminija čak 2,7 puta veća od gustoće vode!

Diskusija

Zagledamo li se u površinu vode oko aluminijskoga novčića, uočavamo da je ona udubljena. Drugim riječima, novčić na površini radi uleknuće. Postavlja se pitanje zašto novčić ne potone budući da ima veću gustoću od gustoće vode? Koja to dodatna sila djeluje na novčić osim uzgona¹ i sile teže koja omogućava njegovo zadržavanje na površini? Riječ je o povratnoj sili koja se javlja kao posljedica površinske napetosti, nakon što je novčić napravio uleknuće. Ta povratna sila i sila uzgona uravnotežene su silom težom pa aluminijski novčić miruje na površini vode.

Ali, zašto voda ne preplavi novčić, zašto zastaje na njegovu rubu? Iako voda moči aluminij, nije ga smočila jer bi tako povećala svoju površinu na račun slobodne površine, a to košta energije. Ako čašu zatresemo, voda će zatirati, a vodena linija će prekriti novčić. Nestat će povratna sila površinske napetosti i novčić će potonuti.

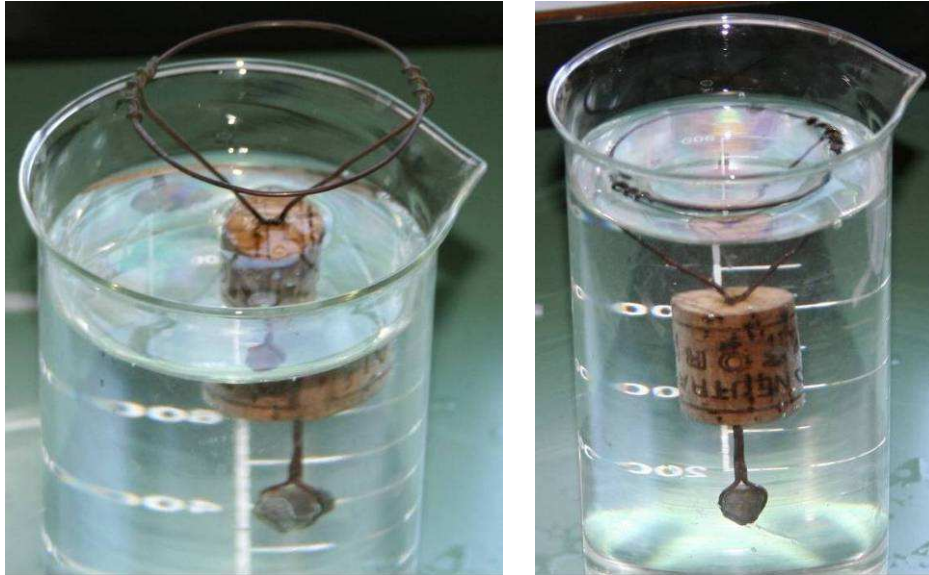
Zaključak

Površina vode ponaša se kao elastična membrana.

¹ Uzgon na novčić postoji zato jer je donja ploha novčića ispod razine vode u čaši.

Postoji li napeta površina i s donje strane?

Pokus



- 2) Napravimo plovak tako da od žice formiramo prsten i pričvrstimo ga za čep od pluta. Prsten treba biti u horizontalnom položaju i treba se uzdizati iznad površine vode. Da bismo to postigli, dodajmo dovoljno pretega ispod čepa i na taj način smanjimo razliku uzgona i sile teže. Za utege mogu poslužiti i čavli koje postupno zabadamo u pluto. Ako prsten gurnemo ispod površine vode, on zastaje na vodenoj površini i ne može se vratiti natrag u početni položaj iznad vode.

Diskusija

Očito je da postoji dodatna sila koja se protivi uzgonu i sprječava prsten da izađe iz vode. To je elastična sila površinske napetosti. Tek razbijanjem površine možemo izvući prsten.

Zaključak

Površina vode ponaša se kao elastična membrana i s donje strane.

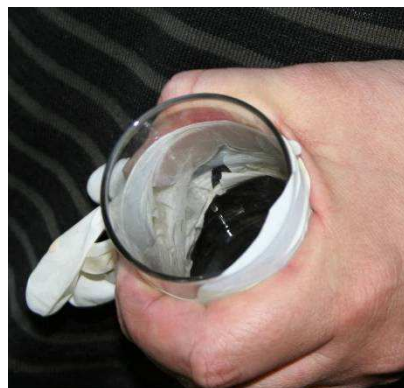
Možemo li "razbiti" površinu vode?

Pokus



- 3) Uzmemo bijeli tanjur, napunimo ga vodom i pospemo papar po površini vode tako da površinu učinimo vidljivom. Papar ne tone jer ga pridržavaju elastične sile koje nastaju zbog površinske napetosti. Stavimo malo tekućega deterdženta na prst i njime dotaknemo sredinu površine. Papar se naglo povlači uz rub tanjura, a sredina postaje prozirna što dokazuje mogućnost "razbijanja" površine vode.

Diskusija



- 4) Što se zapravo dogodilo možemo zorno prikazati dodatnim pokusom. Preko ruba čaše zategnemo elastičnu opnu, npr. ravni dio kirurške rukavice. Probijemo li sredinu opne oštrim predmetom, ona se zbog zategnutosti naglo povlači prema rubu čaše. Kada bismo na opnu stavili papar, opna bi ga povukla za sobom. Slično se dogodilo s vodenom površinom kada smo je „probili“ deterdžentom.

Zaključak

Površina vode ponaša se slično zategnutoj opni. Možemo je "razbiti" pomoću deterdženta.

Čamac na alkohol

Pokus



- 5) Od tankoga stiropora napravimo čamac s udubljenom krmom. Postavimo ga na mirnu vodenu površinu te kapamo alkohol u udubljenje. Čamac se kreće prema naprijed.

Diskusija

Predmet koji pluta prekida vodenu plohu ispod sebe, tako da površina vode dopire samo do predmeta, odnosno do vodene linije u kontaktu s njim. Napetost površine povlači čamac na vodenoj liniji u svim smjerovima jednakom silom po jediničnoj duljini. Zbog toga čamac na početku miruje. Kapanjem alkohola smanjujemo površinsku napetost iza čamca jer alkohol ima oko tri puta manju površinsku napetost od vode. Prevladavaju sile na pramčanoj vodenoj liniji i čamac se počinje kretati prema naprijed. Alkohol se miješa s vodom i brzo prodire u dublje slojeve vode pa istu vodu možemo dugo koristiti za pokus.

Zaključak

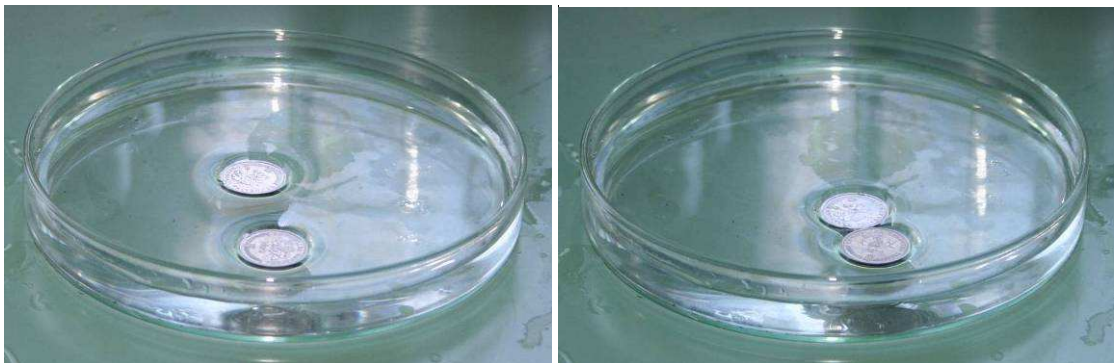
Napetost površine povlači čamac na vodenoj liniji u svim smjerovima jednakom silom po jediničnoj duljini. To vidimo po tome što se predmet pomiče ako narušimo ravnotežu sila.

Sile među tijelima na površini tekućine

Pokusi



- 6) U usku čašu ulijemo vodu tako da razina vode bude oko 3 cm ispod ruba čaše. Nagnemo čašu i vilicom pažljivo postavimo aluminijski novčić na površinu vode. Kada uspravimo čašu, novčić će se postaviti točno na sredinu čaše. Ako sada vilicom lagano odgurujemo novčić prema rubu čaše, on se uvijek vraća natrag u sredinu.
- 7) Ako čašu napunimo vodom do samoga vrha (pri čemu pazimo da se voda ne prelije) te položimo novčić na površinu, on će se postaviti uz rub čaše.
- 8) Ponovimo li prethodna dva pokusa s plutenim diskom koji smo nožem odrezali od čepa boce za vino, vidjet ćemo da se pluto ponaša obratno od aluminijskog novčića.



- 9) Vilicom pažljivo postavimo dva aluminijska novčića na površinu vode i dovedimo ih na međusobnu udaljenost 1 - 2 cm. Pomicati ih možemo npr. vilicom ili čačkalicom pazeći da pritom ne "razbijemo" površinu. Prepušteni sami sebi, novčići će se približavati i na kraju će se spojiti.

10) Isti pokus možemo napraviti i s dva plutena diska koji se na površini također privlače.

11) Postavimo li pak na površinu vode pluto i novčić, oni će se međusobno odbijati.

Diskusija

Ovaj niz pokusa pokazuje da postoje privlačne i odbojne sile među tijelima na površini tekućine. Koje je porijeklo ovih sila? Kako se one ponašaju? Možemo li temeljem pokusa donijeti neke zaključke? Pravilo može npr. biti da se jednaki predmeti privlače, a različiti odbijaju. No, kako objasniti međudjelovanje ruba čaše i predmeta? Kroz diskusiju i ponovljeno opažanje moguće je na jednostavan način objasniti sve pokuse, otkrivajući reducirano pravilo po kojemu ove sile djeluju.

Zagledamo li se u površinu vode oko aluminijskoga novčića, uočavamo da je ona udubljena.

Ako pogledamo kako izgleda površina vode oko plutenog diska, uočiti ćemo da pluto na vodi radi uzdignuće. Štoviše, postavljajući pluto na vodenu površinu ne moramo biti oprezni kao s novčićem. Čak i ako ga potpuno smočimo, on će plutati, a voda će se uzdizati uz njegov rub. U ovome primjeru povratna sila površinske napetosti djeluje prema dolje i zajedno sa silom težom uravnotežuje uzgon.

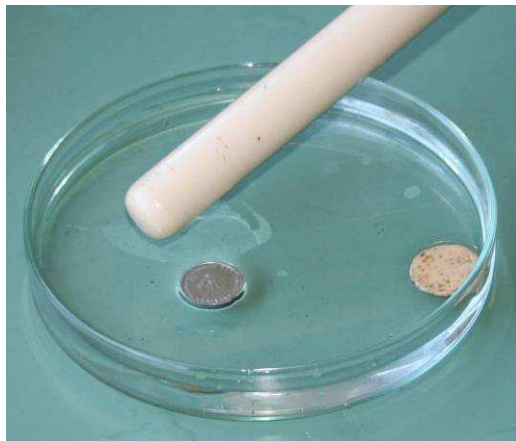
Na kraju uočimo da se voda uz rub čaše uzdiže, ako čaša nije puna, a spušta ako je čaša prepunjena.

Zaključak

Zbog površinske napetosti tekućina nastoji poprimiti takav oblik u kojem je njena površina najmanja. Zbog toga se na mjestima gdje površina nije ravna, a to je oko plutajućih tijela ili uz rub posude, pojavljuju sile s težnjom da smanji površinu. Kao rezultat toga, uzdignuća se, jednako kao i uleknuća, međusobno privlače, dok se uleknuće i uzdignuća međusobno odbijaju.

Voda u električnom polju

Pokusi



- 12)** Plastični štap, varjaču, ravnalo ili bilo koji predmet pogodnog oblika, natrljamo suhom krpom ili papirnatom salvetom tako da ga elektriziramo. Zapitamo se što će se dogoditi ako ga prinesemo plutu koje pluta na vodi. Očekujemo da će štap privući pluto, kao što privlači i ostale predmete. To se stvarno i događa.
- 13)** Zatim elektrizirani štap primaknemo aluminijskom novčiću na površini vode. Suprotno očekivanju, elektriziran štap odbija novčić!

Diskusija

Kroz diskusiju treba ustanoviti da elektrizirani štap polarizira i privlači sve neutralne predmete u svojoj okolini, te da sigurno privlači kako pluto tako i novčić, ali i vodu koja je izrazito polarna. Zbog privlačne električne sile, voda se ispod štapa uzdiže. To vodeno uzdignuće djeluje odbojno na uleknuće novčića i privlačno na uzdignuće pluta.

Zaključak

Voda ima izrazito polarna svojstva. U nehomogenom električnom polju elektriziranoga štapa površina vode se uzdiže. Zbog toga se mogu javiti sile napetosti na plutajuće predmete.

Kapljica u slobodnom padu

Pokus



- 14)** Promatrajmo kapi vode koje kapaju iz loše zatvorene slavine ili puštajmo kap po kap pomoću štrcaljke i promatrajmo promjene oblika kapljice dok slobodno pada.

Diskusija

Kapljica vode u slobodnom padu poprima oblik kugle. U sustavu koji slobodno pada kap je u bestežinskom stanju, tj. nema dodatnih vanjskih sila na nju. Djeluju samo sile napetosti površine koje imaju težnju što više smanjiti njenu površinu. Kap poprima oblik kugle jer je za isti obujam kugla tijelo najmanje površine. Slični zanimljivi pokusi izvode se u orbitalnoj stanici koja neprekidno slobodno pada prema Zemlji.

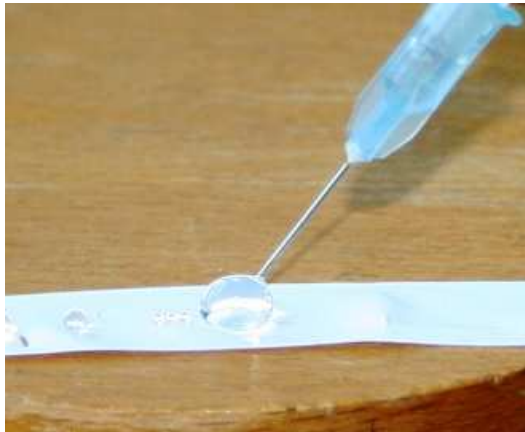
Zaključak

U bestežinskom stanju, pri slobodnom padu, kapljica poprima oblik kugle jer površinska napetost nastoji njenu površinu učiniti najmanjom.

Kapljica na krutoj podlozi

Pokusi

- 15)** Postavimo čistu teflonsku traku na ravnu podlogu. Pomoću štrcaljke postepeno dodajemo vodu na teflonsku traku i promatramo promjene oblika kapljice.
- 16)** Isti pokus ponovimo na staklenoj i metalnoj podlozi. Prije upotrebe podloge treba oprati deterdžentom, dobro isprati vodom i osušiti.



Diskusija

Što primjećujemo? Mala kap vode dio je kugle odrezan podlogom - kalota. Rez nastaje zbog adhezijskih sila između molekula vode i podloge. Kap na teflonskoj traci je kugla odrezana ispod, a na staklu i na metalu iznad središta. Ako kap povećavamo, ona postaje spljoštena i poprima oblik palačinke. Uz sile napetosti, oblik veće kapi određen je i težinom, odnosno reakcijom podloge. Primijetimo da, bez obzira na promjenu oblika, izgled ruba kapi ostaje jednak. Oblik ruba ovisi o kutu močenja, odnosno o kutu između plohe kapi i podloge na mjestu dodira. Kut močenja, ovisi samo o vrsti podloge, ne i o veličini kapi. Njega određuju omjeri međumolekulskih sila, kohezije i adhezije. Kut močenja važna je fizička veličina. Možemo uočiti da su staklo i metal vodoprivlačne podloge jer se voda proteže daleko po podlozi i središte zakrivljenosti kalote je ispod dodirne plohe. Također, uočavamo da je teflon vodoodbojan jer se kap ne širi po njemu, a središte zakrivljenosti vodene kalote je iznad podloge.

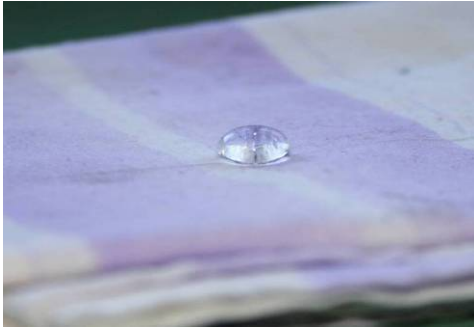
Možda ste primijetili da je na početku teško napuhavati dječji balon, ali čim krene ide sve lakše. Razlog tomu je što tlak u balonu ovisi obrnuto razmjerno o njegovu radijusu. Ovo je zapravo samo približna tvrdnja jer se napuhavanjem balona povećava i elastična sila napetosti. Kod kapi tekućine to nije slučaj. Napetost je uvijek jednaka i ne ovisi o tome koliko smo rastegnuli površinu. Stoga je tlak u kapi obrnuto razmjernan radijusu kapi. Zato je tlak u maloj kapi velik pa reakcija podloge neznatno utječe na njen oblik. Zbog malog tlaka, velika kap ne može zadržati oblik kugle. Sjetite se samo kako izgleda dobro i loše napumpana automobilska guma.

Zaključak

Kut močenja ovisi samo o vrsti podloge i tekućine, ne i o veličini kapi. Njega određuju omjeri sila adhezije i kohezije. Teflon je vodoodbojan, a staklo i aluminij su vodoprivlačni.

Vodoodbojna nanotehnologija

Pokusi



- 17)** Tkaninu poprskamo vodoodbojnim sredstvom čije otapalo sadrži nanočestice stakla. Nakon što se tkanina osuši, štrcaljkom nanese kap vode na nju. Mala kap ima oblik kugle! Kap nimalo ne moči podlogu bez obzira na veličinu i kotrlja se po podlozi.
- 18)** Isti pokus ponovimo sa staklom prepariranim vodoodbojnim sredstvom. Učinak je sličan.

Diskusija

Nanočestice nanese na podlogu svojim šiljcima pridržavaju kap vode, slično čavlima koji podržavaju fakira dok leži na njima. Samo je oko 3 % vode u kontaktu s podlogom, a ispod kapi je zapravo zrak. Zbog male kontaktne površine, adhezijske sile ne dolaze do izražaja i ne remete oblik kugle koji spontano poprime mala kap. Podloga je supervodoodbojna.

Zaključak

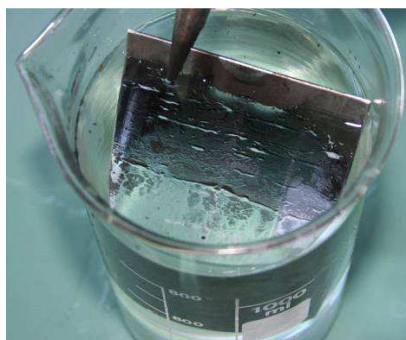
Nanočestice nanese na podlogu čine je supervodoodbojnom. Mala kap na podlozi poprime oblik kugle.

Kućna nanotehnologija

Pokusi



- 19)** Komad metala ili udubljenu stranu žlice prinesite voštanoj svijeći ili petrolejskoj svjetiljci dok je dobro ne začađite. Na začađenu žlicu nanosite kap vode. Voda ne moći žlicu. Čađa je supervodoodbojna!



- 20)** Začađeni metal ili žlicu uronite u vodu. Čađa poprima svojstva zrcala savršeno odbijajući svjetlost!

Diskusija

Što se dogodilo? Čađa sadrži složene spojeve ugljika u obliku nanosfera i nanocjevčica koje prijanjaju na žlicu čineći je neravnom na mikrometarskoj i nanometarskoj ljestvici. Takva ploha postaje supervodoodbojna. Kada žlicu uronimo u vodu, voda ne prodire do čađe nego se zadržava na njenim šiljcima, a ispod nje ostaje tanak sloj zraka. Na toj granici, na granici između vode i zraka, dolazi do potpune refleksije svjetlosti pa se začađena ploha ponaša poput zrcala.

Zaključak

Čađa nanosena na podlogu čini je supervodoodbojnom. Između vode i čađe nalazi se tanak sloj zraka.

Nanotehnologija prirode

Pokusi



21) Na list raštike stavite malo vode. Voda klizi niz list ne močeci ga. List raštike je supervodoodbojan.

Diskusija

Neki dijelovi biljaka, kao što je lotosov list i list raštike, te životinja kao što su leptirova krila, građeni su tako da imaju neravnine na mikrometarskoj i na nanometarskoj ljestvici i zato su supervodoodbojni. Zbog toga imaju i svojstva i samočišćenja jer voda, kotrljajući se niz njih, skuplja sitne čestice prašine i nametnike s njihove površine.

Zaključak

Supervodoodbojnost nalazimo u prirodi. List raštike je supervodoodbojan.