

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik **19** (1991/1992)

Številka 2

Strani 102-106

Andrej Likar:

## PLAVAJOČE KAPLJICE

Ključne besede: fizika, tekočine.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/19/1083-Likar.pdf>

© 1991 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

## PLAVAJOČE KAPLJICE

Znano je, da se vodna gladina vede kot napeta prožna opna. Na njej zato plavajo tudi telesa, ki so gostejša od vode. Plavajoče britvice, šivanke in kovinski opilki lepo ponazarjajo to lastnost vodne gladine.

Če želimo povečati površino vodne gladine za  $\Delta S$ , opravimo pri tem delo

$$A = \gamma \Delta S.$$

Koeficient  $\gamma$  je značilen za posamezno tekočino in ga imenujemo *površinska napetost*. Za vodo pri sobni temperaturi je njegova vrednost  $72 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$ . Če torej povečamo površino vodne gladine za en kvadratni meter, opravimo pri tem delo 72 mJ. To delo je možno v celoti dobiti povrnjeno, ko površino spet zmanjšamo na prejšnjo velikost.

Sile zaradi površinske napetosti nasprotujejo povečanju površine. Za drobne kapljice so površinske sile prevladujoče, zato imajo v ravnovesni legi obliko krogle, torej telesa, ki ima pri dani prostornini najmanjšo možno površino. Zanimivo je, da tudi vodne kapljice lahko plavajo na vodni gladini. Največkrat jih opazimo pri veslanju, ko na zračni blazini drsijo po mirni gladini. Ko se ustavijo, kmalu utonejo in jih zato ne moremo podrobno opazovati. Zračna plast med kapljico in gladino se namreč hitro stanjša do debeline prašnih delcev, ki jih na vodni gladini ne manjka. Ti delci naredijo most med kapljico in gladino in kapljica utone.

Čas, v katerem se debela zračna plast pod kapljico stanjša na debelino  $L$ , ocenimo iz enačbe

$$t = \frac{9R\eta}{16\rho g L^2},$$

kjer je  $R$  polmer kapljice,  $\eta$  viskoznost zraka,  $\rho$  gostota vode in  $g$  težni pospešek. Enačbo uporabimo le kot približek, natančno pa pravzaprav opisuje tanjšanje zračne plasti med vzporednima, togima okroglima ploščama s polmerom  $R$ . Zračna plast med kapljico in gladino ni enakomerno debela, polmer te plasti pa je v splošnem manjši od polmera kapljice. Gladina in kapljica tudi nista togi, lahko ju je spraviti v gibanje. Če vstavimo v zgornjo enačbo tele podatke:

$$R = 1 \text{ mm}$$

$$\eta = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Nsm}^{-2}$$

$$\rho = 10^3 \text{ kgm}^{-3}$$

$$g = 10 \text{ ms}^{-2}$$

in ocenimo končno debelino zračne plasti, kjer pričakujemo vpliv prašnih delcev, z

$$L = 10^{-6} \text{ m},$$

dobimo

$$t = 1 \text{ s}.$$

To se sklada z opazovanji mirujočih kapljic. Gibajoča se kapljica pa živi bistveno dlje, ker se njena zračna blazina pri gibanju obnavlja. Mimogrede povejmo, da zgornja enačba napoveduje zelo dolgo življenjsko dobo plavajočih kapljic, če na vodni gladini in na površini kapljic ni prašnih delcev ali drobnih površinskih valov.

Življenjsko dobo kapljic lahko bistveno podaljšamo, če vzbudimo na gladini stoječe valove s kratko valovno dolžino v primerjavi s premerom kapljic. Valovi obnavljajo zračno blazino med kapljico in gladino. To storimo tako, da nalijemo vodo v zvočnik, ki ga prej zaščitimo s tanko plastično folijo. Zvočnik napajamo z izmenično napetostjo s spremenljivo frekvenco in amplitudo. Zadošča že napetost z omrežno frekvenco 50 Hz, ki jo dobimo iz zvezno nastavljivega transformatorja (variaka) ali - še varneje - iz šolskega malonapetostnega vira izmenične napetosti. Vodi dodamo malo tekočega detergenta za pomivanje posode. Življenjska doba kapljic je odvisna od amplitude stoječih valov (slika 1 na IV strani ovitka). V najboljšem primeru smo opazovali kapljico, ki je živel več minut. Povprečna življenjska doba se toliko podaljša, da kapljice in njihove lastnosti lahko zelo natančno opazujemo. Opazili smo, da ni mogoče vnaprej napovedati, katera kapljica bo živel dolgo in katera ne. Vse kaže, da je utapljanje kapljic naključno, podobno kot radioaktivni razpad atomskih jeder.

Kapljice naredimo tako, da močno povečamo amplitudo valov na gladini. Kapljice nastajajo takrat, ko imamo občutek, da voda vre. Nato amplitudo zmanjšamo do mere, ki zagotavlja najdaljšo življenjsko dobo. Z nekaj vaje lahko prav dobro nadziramo število novorojenih kapljic. Te kapljice imajo skoraj enake polmere. Večje kapljice dobimo po zlivanju manjših. Njihovi polmeri so od 1 do 2 mm, največje pa merijo tudi 5mm. Tako velike kapljice so zaradi teže sploščene.

Za tvorbo kapljice je treba opraviti nekaj dela. Gladina s kapljico ima nekaj večjo površino kot nemotena gladina s potopljeno kapljico. Plavajočo kapljico obravnavamo kot posebno vzbujeno stanje vodne gladine. Energijo tega vzbujenega stanja izračunamo, če vemo za kolikšno površino  $\Delta S$  je gladina s kapljico večja od površine nemotene gladine:

$$W_k = \gamma \Delta S.$$

Največji delež odpade na rovaž površine same kapljice, zato ocenimo velikostno stopnjo  $W_k$  takole:

$$W_k = \gamma 4\pi R^2.$$

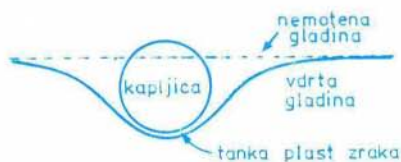
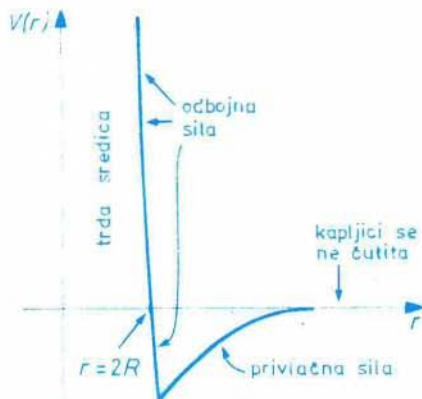
Za kapljico s polmerom 1 mm dobimo

$$W_k = 72 \cdot 10^{-3} \text{ N m}^{-1} \cdot 12,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 2\mu \text{ J}.$$

Taka vzbujena stanja gladine terjajo torej energijski obrok, ki ga v našem primeru ni možno poljubno zmanjšati. Gladino pa lahko vzbudimo tudi s površinskimi valovi. Za razliko od kapljic je energija valov lahko poljubno majhna.

Plavajoče kapljice se med seboj privlačijo, če se dovolj približajo druga drugi. Pod kapljico se prej vodoravna gladina vdre. Vdolbina pritegne drugo

**Slika 5.** Kapljica vboči prej ravno gladino. Na tanki plasti zraka pride do interference svetlobe, zato se zdijo kapljice biserno obarvane (slika 4 na naslovni strani).



**Slika 6.** Potencialna energija dveh enako velikih kapljic v odvisnosti od razdalje  $r$  med njunima središčema. Na velikih razdaljah se kapljici ne čutita, na razdaljah, ki so primerljive s premerom kapljic, se kapljici privlačita, na manjših razdaljah pa se kapljici močno odbijata. Diagram je podoben sistemu, ki velja za silo med nukleonoma, če se ne menimo za elektrostatično silo med protonoma.

kapljico, da se združita. Ko prideta kapljici tako blizu, da se dotikata, se začneta odbijati. Vzrok temu je spet površinska napetost. Pri približevanju se kapljici deformirata in povečata s tem svojo površino, kar ne gre brez opravljenega dela. Dotikajoči se kapljici pa se radi zlijeta, saj se pri tem sprosti nekaj dela površinskih sil. Večja kapljica ima namreč manjšo površino kot obe kapljici, iz katerih je nastala, skupaj. Zlivanje kapljic je prav tako naključno kot njihovo utapljanje. Gručo dveh kapljic smo opazovali tudi več minut, pri čemer se je utapljanje izkazalo celo bolj verjetno kot zlivanje. Prav zanimivo je opazovati življenje večje gruče kapljic (slika 2 na IV. strani ovitka). Prej enako velike kapljice postanejo čez čas različno velike, dokler ne preživi le ena. Ko utone še ta, se po gladini razširi koncentrični val, zadnja sled izginule kapljice. Z valom odpotuje pretežni del energije, ki smo jo porabili za njen nastanek. Če v gruči dveh kapljic (slika 3 na IV. strani ovitka) ena utone, pri tem močno odrine drugo. Sami poskusite razložiti, zakaj pride do tega. Zgodi pa se, da pri utopitvi nastane nova, manjša kapljica, ki se z veliko hitrostjo zapodi po gladini.

Obliko vdrtne gladine (slika 5) ne preblizu kapljice se da izračunati. Obliko gladine kar natančno lahko opišemo s funkcijo

$$e^{-\frac{r}{\mu}},$$

kjer parameter  $\mu = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$  imenujemo doseg sile med kapljicama. Z že znanimi podatki dobimo

$$\mu = 3 \text{ mm}.$$

Doseg sile je torej primerljiv z velikostjo kapljic.

Medsebojno privlačno in odbojno silo ponazorimo v diagramu, kjer namesto sile med kapljicama rišemo raje potencialno energijo kapljic v odvisnosti od razdalje  $r$  med njunima središčema (slika 6). Zaradi privlačne sile vidimo na razdaljah  $r > 2R$  negativno potencialno energijo, pri razdaljah, ki so manjše od premera kapljic, pa zaradi močne odbojne sile potencialna energija strmo raste. Podoben diagram opisuje silo med nevtronom in protonom ali med dvema nevtronomoma, le da so razdalje za 12 velikostnih stopenj manjše. Nukleona se privlačita, če sta na razdalji, ki je primerljiva z njunima premeroma ( $2R_n = 10^{-15} \text{ m}$ ), sicer pa se silovito upirata prodoru v svojo notranjost. Sili, ki eksponentno pojeva na večjih razdaljah od delcev, pravimo *sila kratkega*

