

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 30 (2002/2003)

Številka 4

Strani 232-235

Janez Strnad:

LADJA IN MEHURČKI

Ključne besede: fizika, mehanika tekočin, vzgon.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/30/1522-Strnad-ladja.pdf>

© 2003 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.

LADJA IN MEHURČKI



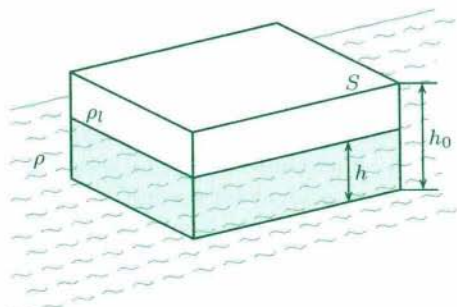
Nekatere mornarske zgodbe poročajo o ladjah, ki naj bi na morju izginile brez sledu. Posebno na slabem glasu je v tem pogledu območje okoli Bermudov, ki mu pravijo *Bermudski trikotnik*. Ali bi bilo mogoče s kakim znanim pojavom pojasniti, da ladja nepričakovano potone? Eden od takšnih pojavov bi utegnil biti močan izbruh metana z morskega dna. Taki izbruhi na omenjenem območju menda niso redki. Ladja lahko potone, če po naključju zaide v dovolj močan tok mehurčkov. Pri tem se lahko prevrne, če se mehurčki nenadoma pojavijo samo na eni strani. Take pojave je težko zajeti, ker imajo pri njih pomembno vlogo posebne

okoliščine, ki se od primera do primera razlikujejo. Tu bomo opisali preglednejši pojav, da ladja potone, ko zaide v stalen navpični tok mehurčkov.

Po Arhimedovem zakonu tekočina deluje na potopljeno telo z vzgonom, ki je enak teži izpodrinjene tekočine. Ladja ima manjšo povprečno gostoto kot voda in plava na gladini, ker teža izpodrinjene vode uravnovesi težo ladje. Zaradi lažjega računanja ladjo nadomestimo s prizmo z osnovnima ploskvama, vzporednima z gladino. Teža vode s prostornino potopljenega dela prizme mora biti enaka teži prizme (slika 1):

$$\rho Shg = \rho_l Sh_0g \quad \text{in} \quad \rho h = \rho_l h_0.$$

ρ je gostota vode, ρ_l povprečna gostota prizme, h višina potopljenega dela prizme, h_0 višina prizme, S osnovna ploskev prizme in g težni pospešek.



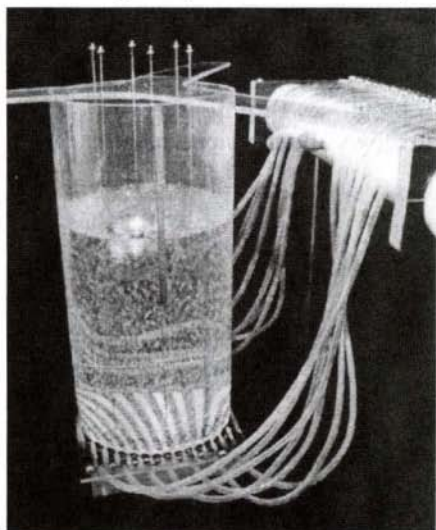
Slika 1. Prizma plava, ko vzgon uravnovesi težo.

V mejnem primeru, ko se prizma ravno potopi, bi bila povprečna gostota prizme enaka gostoti vode. V vodi z dvigajočimi se mehurčki v mejnem primeru povprečna gostota vode in mehurčkov ρ_m postane enaka povprečni gostoti prizme:

$$\rho_m = \rho_l \cdot \quad (1)$$

Privzeli smo, da enakomeren tok mehurčkov v smeri navpično navzgor zaveda vso osnovno ploskev. Tok ni tako močan, da bi bilo treba upoštevati silo, s katero zrak v mehurčkih zaradi gibanja deluje na ploskve prizme, ob katerih polzijo mehurčki.

Študenti in učitelji s pomorske podiplomske šole v Montereyu v Kaliforniji in z univerze zvezne države Mississippi so pojav podrobneje raziskali. Prve poskuse so delali s kosi ledu v toku dvigajočih se mehurčkov. Da bi bilo kose ledu lažje opazovati, so jih naredili iz obarvane vode. Opazovali so, kako so kosi potonili v toku mehurčkov, vendar se je led prehitro talil, da bi bilo mogoče meriti. Zato so namesto ledu uporabili delno polno steklenico. Preizkusili so še več drugih naprav. Nazadnje so uporabili prozorno štirilitrsko valjasto posodo s premerom 30 cm, v kateri je plavala votla jeklena krogla s premerom 10 cm (slika 2). Povprečno

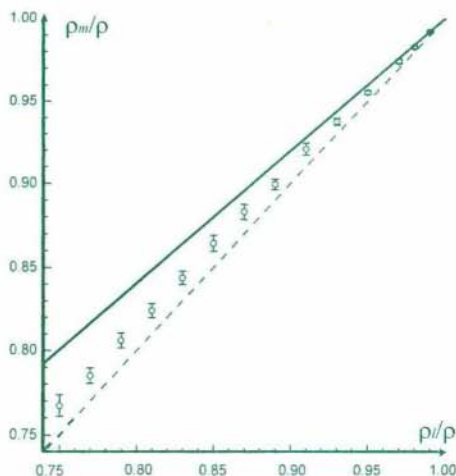


Slika 2. Naprava, s katero so pokazali, da pri dovolj močnem toku mehurčkov zraka v vodi potone plavajoča krogla. Ta slika in naslednja slika sta z ljubeznivim dovoljenjem profesorja Brucea Denarda in uredništva American Journal of Physics vzeta iz članka: B. Denardo, L. Pringle, C. DeGrace, M. McGuire, *When do bubbles cause a floating body to sink?*, American Journal of Physics **69** (2001) 1064.

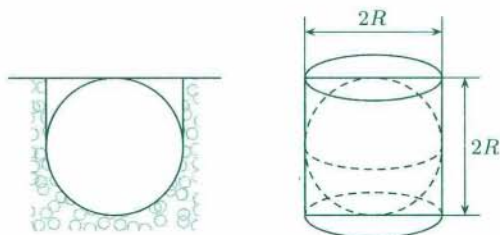
gostoto krogle so spreminjali tako, da so vanjo nalili nekaj vode. Iz posode s stisnjanim zrakom je zrak po cevi preko ventila dotekal v razdelilnik, ki ga je razdelil na 15 cevi. Z ventilom so uravnavali pretok zraka od 0 do 2 litra na sekundo. Cevi so vodile do prav toliko naprav, iz katerih so izhajali mehurčki. Najbolje se je obnesla neka vrsta naprav, kakršne uporabljajo za prezračevanje sobnih akvarijev.

Povprečno gostoto krogle so z dodatkom vode spremenili od $\frac{3}{4}\rho$ do ρ . Krogljo so položili v valjasto posodo, da je plavala na gladini, in povečali tok mehurčkov. Plavanje je postalo nestabilno in kroglja je zanihala, ko se je povprečna gostota vode in mehurčkov približala povprečni gostoti krogle. Nato je kroglja potonila. Povprečno gostoto krogle ρ_l so določili s tehtanjem, povprečno gostoto vode in mehurčkov ρ_m pa tako, da so izmerili dvig gladine. Gladina vode v posodi je bila v višini H_0 , ko ni bilo mehurčkov in je bila gostota enaka ρ . Pri določenem pretoku zraka je višina gladine narasla na H , ker so del prostornine izpolnili mehurčki. Povprečno gostoto vode in mehurčkov so izračunali z enačbo $\rho_m = \rho H_0/H$. S posebnim zaslonom so dosegli, da v delu posode ob steni ni bilo mehurčkov in je bilo mogoče višino gladine nemoteno odčitati

Izidi merjenj so se pri večji povprečni gostoti krogle dobro ujemali z enačbo (1) (slika 3). Pri manjši gostoti pa je kroglja potonila, še preden se je povprečna gostota vode in mehurčkov zmanjšala do povprečne gostote krogle. Odstopanje so pojasnili s "senco": dvigajoči se mehurčki ne zaidejo v predel ob kroglji, ko ta potone (slika 4). Na krogljo deluje zato del vode brez mehurčkov s silo navpično navdol, zaradi katere se nekoliko zmanjša vzgon.



Slika 3. Povprečna gostota vode in mehurčkov, pri kateri potone kroglja, v odvisnosti od povprečne gostote krogle. Obe gostoti smo izrazili z gostoto vode ρ . Črtna črta ustreza enačbi (1), sklenjena pa enačbi (2). Krožci kažejo izmerke, navpične črtice pa opozarjajo na natančnost pri merjenju.



Slika 4. Nad kroglo, ki se dotika gladine, nastane območje "sence" brez mehurčkov. Kroglji očiščeni valj ima prostornino $2\pi R^3$.

Opazujmo kroglo in del vode brez mehurčkov nad njo (slika 4). V ravnovesnem stanju mora biti teža krogle in dela vode brez mehurčkov enaka teži vode z mehurčki v skupni prostornini krogle in dela brez mehurčkov. Prostornina krogle s polmerom R je $\frac{4}{3}\pi R^3$, del vode brez mehurčkov pa ima prostornino polovice razlike med prostorninama kroglji očiščanega valja in krogle: $\frac{1}{2}(2\pi R^3 - \frac{4}{3}\pi R^3) = \frac{1}{3}\pi R^3$. Tako v ravnovesju velja zveza

$$\rho_l \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 + \rho \cdot \frac{1}{3}\pi R^3 = \rho_m \left(\frac{4}{3}\pi R^3 + \frac{1}{3}\pi R^3 \right).$$

Iz nje sledi namesto enačbe (1)

$$\rho_m = \frac{4}{5}\rho_l + \frac{1}{5}\rho. \quad (2)$$

Premica (2) zares leži nad premico (1) (slika 3). To je le približek, ker pri večjem pretoku zraka, to je pri manjšem razmerju gostot ρ_m/ρ , meja med predeloma z mehurčki in brez njih ni ostra. Dvigajoči se mehurčki pri večjem pretoku zraka povzročajo vrtince in gladina postane podobna kot tedaj, ko voda vre. Tedaj postane merjenje negotovo. Pri prizmi popravka zaradi "sence" ni, vendar bi pri njej zaradi vrtincev merjenje postalo negotovo že pri manjšem pretoku zraka.

Razmeroma preprost poskus, ki ga je bilo mogoče pokazati večjemu številu študentov, je podprl misel, da se ladja v dovolj močnem toku mehurčkov potopi. To ne pomeni, da so ladje, o katerih pripovedujejo mornarske zgodbe, potonile na ta način. Pojav je mogoč, a za zdaj ni nobenega neposrednega namiga, da bi zaradi njega potonila kaka ladja.