

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 31 (2003/2004)

Številka 6

Strani 354-357

Janez Strnad:

LADJA IN MEHUR

Ključne besede: fizika, mehanika tekočin, vzgon.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/31/1575-Strnad.pdf>

© 2004 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 MEHUR

Zapis *Ladja in mehurčki* v lanski 4. številki Preseka je poročal o poskusih, ki so pokazali, da lahko ladja potone v dovolj močnem enakomernem toku dvigajočih se mehurčkov. Vprašanje je zraslo iz mornarskih pripovedi o izginulih ladjah in spoznanja, da z morskega dna pogosto uhaja metan. Medtem je morski geolog pri raziskovanju morskega dna s sonarjem naletel na domnevno razbitino ladje. Zelo neravno območje v premeru kakih sto metrov na sicer ravnem dnu je znano kot Čarovničina luknja. Leži kakih 150 kilometrov severovzhodno od Aberdeena na škotski obali, kjer v okolici črpajo nafto. Leta 2000 so s podmornico brez posadke v 150 metrov globokem morju zares našli razbitino 25 metrov dolge ladje z jekleno lupino, zgrejene okoli leta 1900. Razbitina je ležala na dnu v naravni legi in se verjetno ni potopila zaradi trka z oviro ali vdora vode. Lahko bi se potopila zaradi izbruha metana.

Ob gnitju organskih snovi v skladih pod morskim dnom se razvija metan. Ponekod neposredno uhaja v morje, ponekod pa ga zadržijo neprepustni skladi. Metan se kopiči in tlak povečuje, dokler metan ne izbruhne. Nobenega izbruha še niso neposredno opazovali. Izkušnje pa so pokazale, da izbruh lahko resno poškoduje naftno ploščad, če ob vrtnanju naletijo na metan pod visokim tlakom.

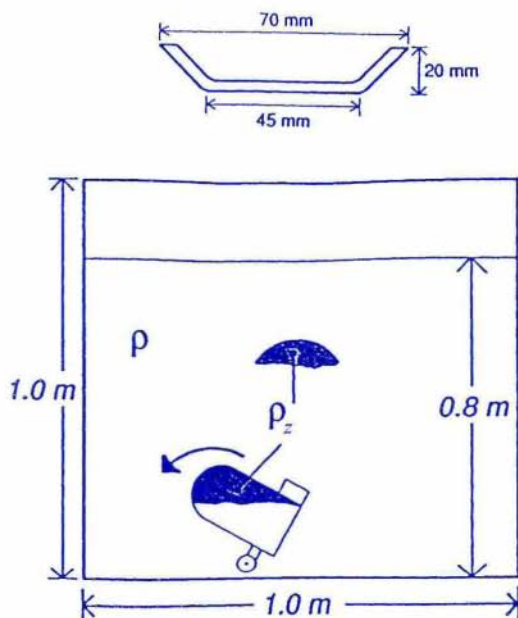
Poskusi, ki jih je opisal Presek, so podprli misel, da se ladja utegne potopiti, če zaide v enakomeren gost tok mehurčkov. Ob izbruhu se verjetno pojavi en sam velik mehur plina. Ali lahko tak mehur potopi ladjo, ki po nesreči zaide v mehur? Na vprašanje so poskusili odgovoriti z merjenji in računi.

Medtem ko je za obliko mehurčkov odločilna površinska napetost, je za obliko velikih mehurjev odločilen tlak. Mehurčki imajo obliko kroglic, veliki dvigajoči se mehurji pa so ploščati z vrhno ploskvijo, ki se prilega delu krogelnega površja. Spodnja mejna ploskev ni gladka in se neurejeno spreminja zaradi dveh nasprotno usmerjenih vrtincev, ki se pojavita pod njo. Razmere so veliko bolj zapletene kot v enakomernem toku mehurčkov. Gibanja mehurja ni mogoče opisati s splošno enačbo. V neki drugi zvezi so zasledovali dviganje mehurjev samo z računalniško simulacijo. Nihče pa še ni raziskal, kako mehur deluje na telo s podobno velikostjo.

Naloga sta se lotila D. A. May in J. J. Monaghan z univerze Monash v Claytonu v Avstraliji in o tem poročala v *American Journal of Physics*. V splošnem je treba v prostoru upoštevati odvisnost treh koordinat od časa. Da bi bil opis preprostejši, sta si zamislila primer, pri katerem ni bilo treba upoštevati odvisnosti od tretje koordinate. Poskuse sta delala v ploski posodi, ki sta jo sestavila iz dveh šip z velikostjo $1\text{ m} \cdot 1\text{ m}$ v

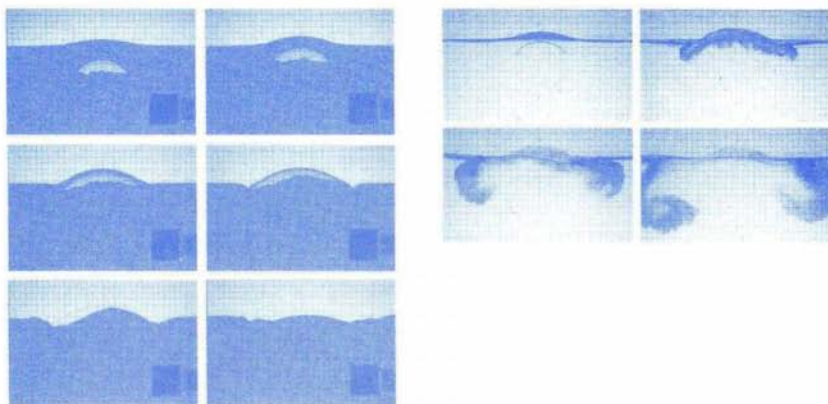
razmiku 9 mm. Privzeti je bilo mogoče, da razmere v plasti pravokotno na sprednjo in zadnjo stekleno mejo niso odvisne od razdalje od meja. Tako sta trirazsežni primer prevedla na dverazsežnega in ga s tem precej poenostavila. Po izidu poskusov v dveh razsežnostih je mogoče vsaj okvirno sklepati na izid ustreznih poskusov v treh razsežnostih. Na gladino 80 cm globoke vode sta postavila 7 cm dolg in 2 cm globok dverazsežni model ladje. Mehurje sta dobila tako, da sta po cevki uvedla zrak v obrnjeno ploščato posodico v obliki črke U. Model ladje in posodico sta na sprednji in zadnji strani omejevala prozorna filma (slika 1). Z magnetom sta zasukala posodico, da je nastal mehur, ki se je začel dvigati. Velikost mehurja je bila odvisna od tega, kako hitro sta zasukala posodico.

Na zadnjo ploskev posode sta narisala koordinatno mrežo 2 cm · 2 cm in poskuse posnela s televizijsko kamero. Podatke sta izluščila s televizijskih slik. Za mehur je bil značilen polmer vrhnje gladke krogelne ploskve,



Slika 1. Ploska posoda iz steklenih šip, naprava za dobivanje mehurjev in model ladje (ni v merilu). Gostota vode ρ je približno tisočkrat večja od gostote zraka ρ_z , ki jo lahko v primeri z njo zanemarimo. Metan je 1,8-krat lažji od zraka. Slike so z ljubeznivim dovoljenjem avtorjev in uredništva povzete po članku D. A. May, J. J. Monaghan, *Can a single bubble sink a ship?*, *American Journal of Physics* **71** (2003) 842.

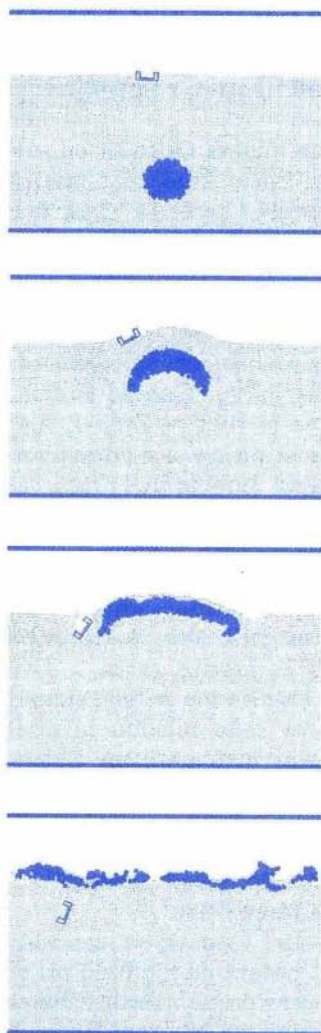
za katerega sta namerila od 4 cm do 9 cm. Mehur se je zaradi manjšanja tlaka med dviganjem večal, vendar se je hitrost dviganja le malo povečala. Preden je vrhnja krogelna ploskev dosegla gladino, se je gladina dvignila v krogelno ploskev in na njenem robu sta nastali dolini. Modela ladje v srednji točki med obema dolinama mehur ni prizadel. Model ladje, ki ni bil postavljen simetrično glede na dolini, pa je potegnilo v eno od njiju in je potonil. Mehur se je nato razpočil in pri tem sta se na mestu dolin pojavila curka vode v smeri navpično navzdol. To so opazili, ko so v vodi raztopili sol in s tem povečali gostoto vode. Na gladino so previdno nalili tanko plast barvila z manjšo gostoto. Na sliki sta se pojavila tokova barvila navzdol, ko je mehur predril gladino (slika 2).



Slika 2. Pri poskusu je mogoče dobro videti, kako se gladina vode dvigne, ko se ji približa mehur, in kako se na obeh straneh izbokline oblikujeta dolini (levo). Barvilo na gladini pokaže, da se deli vode ob dolinah dokaaj izrazito gibljejo navzdol (desno).

Poskusom so sledile še računalniške simulacije. Pri tem so privzeli, da so po navpični ploskvi razmeščeni delci, ki delujejo drug na drugega. Postopek, ki je pripraven za delo z računalnikom, poznajo kot "zglajeno delčno hidrodinamiko". Dobljeni izid se je okvirno ujemal z izidom pri poskusu (slika 3). Poskusi in računalniške simulacije so pokazale, da bi se v dveh razsežnostih ladja lahko potopila, če bi jo po naključju zajel dvigajoči se dovolj velik mehur metana. Mehur pa ne bi smel biti dosti

Slika 3. Računalniška simulacija dvigajočega se mehurja da približno enake izide kot poskus.



manjši kot ladja. Sklep je dovolj okviren, da ga je mogoče prenesti v tri razsežnosti, čeprav se pojavijo v podrobnostih razlike. Tako je na primer tlak v globini 150 m 16-krat večji kot na gladini in bi se polmer mehurja, ki bi se dvignil z dna, na gladini dvakrat povečal, če plin v mehurju ne bi sprejel toplote in je ne bi oddal.

Janez Strnad