

Solitoni u viskoznoj tečnosti

Demonstrirani su solitonski talasi u viskoznoj tečnosti. Talasi su proučavani na osnovu fotografiskih snimaka. Vertikalni stubovi u viskoznom fluidu pravljani su ubrizgavanjem rastvora vode i viskozne tečnosti unutar fluida. Duž tih stubova nastaju talasi malih amplituda za koje se pokazuje da zaista jesu solitoni.

Uvod

Solitoni su talasi, viđeni verovatno mnogo pre 1834. godine, ali čija istorija počinje upravo tom godinom kada ih je Skott Russell zapazio i opisao. Po njegovim rečima, kada je posmatrao kretanje čamca duž kanala, primetio je na površini vode talas neobičnog tipa. Deo vode u kanalu prešao je u kretanje. Voda se skupila oko pramca broda, a zatim se odvojio talas koji je poleteo napred većom brzinom. Jasno izražen breg vode nastavlja svoje kretanje po kanalu bez vidljive promene oblika ili smanjenja brzine. Predavanje impulsa tečnosti se ne vrši po celoj površini, već je impuls lokalizovan u trajno prostiranje talasa koji se premešta po tečnosti. On ostavlja tečnost za sobom u onom položaju u kome se nalazila do prolaska talasa. Skott je bio ubeđen u jedinstvenu prirodu svog velikog talasa i izveo je brojna istraživanja njegovih osobina.

Teorijski opis talasa dat je dve decenije kasnije kada je Boussinesq i kasnije Rayleigh našao posebno talasno rešenje za jednačinu plitke vode. Deceniju kasnije D. J. Korteweg i G. de Vries dolaze do glavne jednačine za podizanje nivoa solitona.

Tri decenije kasnije pronađeno je da rešenja zadržavaju svoj oblik čak i posle interakcije sa preprekama. Izolovani talasi sa ovom osobinom nazvani su *solitoni*. Solitoni zadržavaju svoj oblik uprkos sudaru, ali se njihova putanja u prostor-vremenu pomera (fazna promena). Mada postoji veliki broj jednačina solitona, jednačina Korteweg - de Vries je jedna od najprostijih i najopštijih jednačina.

*Milica Maksić (1980),
Niš, Jovana Ristića
2/12, učenica 3.
razreda Gimnazije
„Bora Stanković” u
Nišu*

Solitoni su i cunami, tj. seizmički morski talasi izazvani pokretima dna koji poseduju vrlo velike talasne dužine i baš zbog toga prelaze i najdublje okeane kao talasi plitke vode. Mogu se naći i u kristalima. Važni su i u magmatskim rezervoarima gde se nova magma ubrizgava u gušću i viskoziju magmu.

Solitoni nastaju u mnogim fizičkim sistemima, ali su eksperimenti za njihova istraživanja bili većinom nelaboratorijski. Zanimljiva istraživanja vodenih talasa vršili su Hamack i Segur.

Ovde će biti opisan laboratorijski eksperiment za dobijanje talasa u tečnosti i metod potvrđivanja da li zaista predstavljaju solitone.

Metod rada

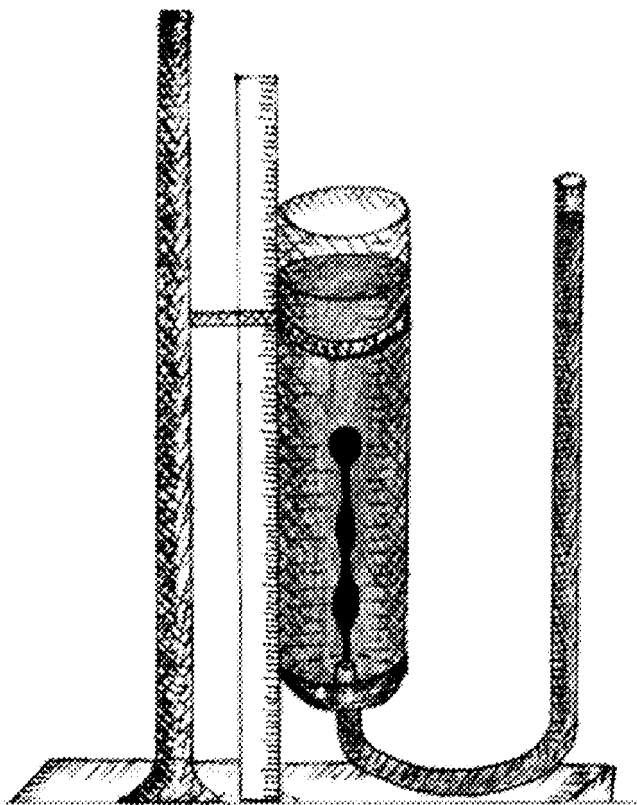
U posudu ispunjenu viskoznom tečnošću ubrizga se vodeni rastvor te tečnosti. U početku se ubrizgani fluid nagomilava oko izvora kao sfera koja raste. Kada sila potiska prevlada, sfera se odvoji od izvora i počne da se kreće naviše. Ona za sobom ostavlja cilindričnu cev koja se rasteže od dna do vrha. Duž te cevi kreću se talasi koji se kao zadebljanja primećuju na cevi.

Posuda treba da ima što veću visinu da bi se prestizanje i sudari talasa mogli videti. Ona treba da bude ispunjena tečnošću velike gustine i viskoznosti. Ovde je korišćen glicerina. Dovoljno je viskozna, a uz to je i bezbojna, tako da se mastilom obojeni talasi mogu dobro videti. Sve tečnosti, dovoljno guste da bi se talasi sporo kretali, a s druge strane ne previše da ne bi došlo do začepljenja creva kroz koje se fluid ubrizgava, dolaze u obzir.

Crevo za ubrizgavanje treba da ima uzak otvor na kraju, da bi cev koja nastaje bila tanka. Ovde je to postignuto postavljanjem kapilare na kraj cevi. Crevo mora da bude duže od nivoa glicerina u sudu, da bi se ubrizgani fluid kretao naniže kroz cev i ulazio u posudu (hidrostatički pritisak u cevi veći od onog u posudi). Vrh creva mora da stoji naviše u posudi. Ovde je rađeno s posudom koja ima otvor na dnu i kroz njega je sa spoljne strane ubačeno crevo.

Fluid koji se ubrizgava treba da je redi od fluida u posudi da bi se sfera kretala naviše. To se postiže njegovom mešavinom s vodom. Vode ne sme da ima previše da se talasi ne bi kretali suviše brzo i da cev ne bi savijala i ostavljala pihijast trag u tečnosti. Mešavina treba da ima oko 70% glicerina (ili druge viskozne tečnosti koja se koristi) i oko 30% vode.

Fluid je u crevo ubrizgavan špicem. Dok je nivo ubrizganog fluida u crevu veći od nivoa glicerina u posudi, fluid ističe i cev postoji. Da bi ona bila konstantnog prečnika crevo treba držati na istoj visini. Solitoni se mogu praviti podizanjem creva na nivo veći od onog na kom je održavana cev konstantnog prečnika i njenim vraćanjem na početni položaj. Mogu



*Slika 1.
Skica aparature.*

*Figure 1.
Experimental setup
scheme.*

nastati ubrizgavanjem veće količine fluida u cev ili duvanjem u cev. Prvi način je najbolje koristiti u slučaju ako je potrebno dobiti dva talasa čiji se prečnici mnogo ne razlikuju. Drugi način nije baš najpogodniji, jer se veličina talasa ne može najbolje kontrolisati. Najpogodniji je treći način, jer se vrlo brzo, jedan za drugim mogu praviti talasi različitih veličina.

Ako se jedan za drugim, naprave dva talasa, prvi manji i drugi veći, veći talas (pošto je brži) sustići će manji i doći će do sudara. Posle preuzimanja manjeg talasa, veći će upumpati fluid u njega kada se dodirnu. Posle sudara njihove zapremine se razlikuju. Prvi talas postaje veći i udaljava se od manjeg talasa.

Talasi su fotografisani. Fotografisane su serije položaja talasa pri kretanju (od trenutka kada izlaze iz kapilare do trenutka kada stižu do vrha posude). Snimci su pravljeni u jednakim vremenskim intervalima.

Negativ filma je postavljen na projektor. Sa slike projektovane na zid mogli su se izmeriti potrebni parametri. Naime, merenja prečnika talasa (sfere, u našem slučaju) pokazuju da oni svoje amplitude ne menjaju u toku kretanja. Pri sudaru dva talasa, većeg i manjeg, veći samo prolazi kroz manji, ne razmenjujući fluid s njim. Zato njihov prečnik ostaje isti posle sudara.

Što je amplituda talasa veća, veća je njegova brzina i on za kraće vreme pređe rastojanje duž cevi. Zbog toga veći talas prestiže manji i ostavlja ga za sobom. Između prečnika i brzina talasa postoji neka zavisnost, koja se može dobiti merenjem tih veličina sa slike. Jedna od bitnih odlika solitona je da ta zavisnost mora biti linearna. Ukoliko bi u ovom slučaju postojala linearna zavisnost prečnika i brzina talasa, bilo bi sigurno da talasi koji nastaju u tečnosti na ovaj način jesu solitoni.

Podaci i analiza

Za vreme fotografisanja pored posude je postavljen lenjir, kako bi se položaj talasa mogao očitati sa snimka. U svim serijama snimci su napravljeni sa istim vremenskim razmakom koji je uzet za jedinicu vremena. Brzina talasa određena je kao promena položaja tokom vremena na tako definisanoj vremenskoj skali, što je bilo sasvim dovoljno za ispitivanje linearnosti. Sa dobijenih snimaka uzeti su podaci za 6 talasa, po dva iz svake od tri serije. Podaci o položaju, odnosno pređenom putu talasa prikazani su u tabeli 1.

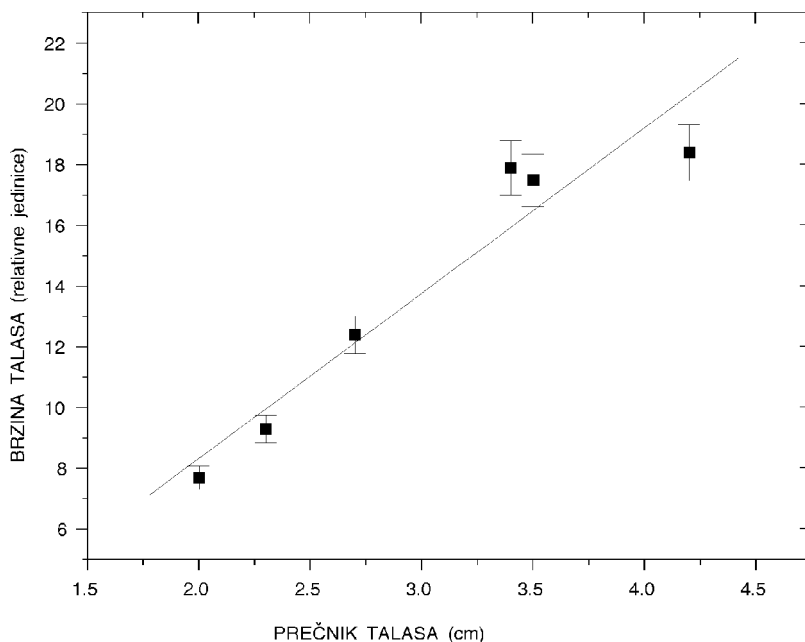
Tabela 1. Pređeni put [cm] talasa u trenucima snimanja

Snimak	Talas					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
1.	24	16	31	23	26	11
2.	43	28	47	35	39	25
3.	60	40	63	46	57	41
4.	79	43	80	54	75	54
5.	98	47	100	63	93	62
6.			118	70	115	73

Dobijena je linearna zavisnost pređenog puta s od vremena t , što pokazuje da je brzina talasa konstantna. Parametri tako određenih pravih, oblika $s = vt + b$, dati su u tabeli 2.

Tabela 2. Parametri pravih $s = vt + b$ za posmatrane talase

Talas	v	Δv	b	Δb
1.	18.4	0.7	5.6	0.2
2.	7.7	4.3	11.7	1.3
3.	17.5	1.4	12.1	0.4
4.	9.3	1.7	15.8	0.4
5.	17.9	2.4	5.0	0.6
6.	12.4	2.7	0.9	0.7



Slika 2.
Grafik zavisnosti
brzine talasa od
prečnika (u
relativnim jedinicama).

Figure 2.
Wave velocity
dependence on
diameter.

Prečnik talasa se može izmeriti sa projekcije negativna filma. Sa snimaka serija su mereni prečnici, a njihova srednja vrednost je uzeta za amplitudu. Amplitude talasa su date u tabeli 3.

Tabela 3. Amplitude talasa

Redni br. talasa	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Amplituda [cm]	4.2	2.0	3.5	2.3	3.4	2.7

Zavisnost brzine v od amplitude A data je na grafiku (slika 2). Sa grafika se vidi da je dobijena zavisnost linearna. Jednačina profitovane prave je $v = 5.4 A - 2.6$, sa greškom koeficijenta pravca od 0.8 i slobodnog člana od 2.7. Koeficijent korelacije između eksperimentalno dobijenih tačaka i dobijene prave iznosi 0.96. Dakle, ovi talasi se zaista ponašaju kao solitoni.

Zaključak

Da bi se solitoni videli i izučavali ne treba juriti cunami talase ili se dati u potragu za magmatskim rezervoarima. Talasi u tečnosti mogu se dobiti jednostavnom aparaturom. Ovako dobijeni mogu se fotografisati. Pokazalo se da su ovi talasi solitoni, jer su brzine kojima se kreću duž fluidne cevi srazmerne njihovim prečnicima. Kao solitoni, oni ne menjaju svoje

amplitude u toku vremena. Pri sudaru samo prolaze jedan kroz drugi ne razmenjujući fluid. Paketi solitona (nekoliko njih uzastopno u kretanju duž cevi) takođe mogu biti pravljeni i istraživani.

Literatura

- [1] Whitehead, J. A. 1987. A laboratory demonstration of solitons using a vertical watery conduit in syrup. *Am. J. Phys.*, (November 1987): 998.
- [2] Dod, R., Ijlbek, Dž., Gibon, Dž., Moris, H. 1998. *Solitony i nelinejnye volnovye uravneniya*. Moskva: Mir (na ruskom).
- [3] The New Encyclopdia Britannica, volume 23, page 853 (Water Waves), 1989.

Milica Maksić

Solitons in Viscous Liquid

Solitary waves in viscous liquid are demonstrated. Such a waves were found in the coloured mixture of water and glycerine injected at bottom of a vertical pipe filled with glycerine. They were recorded and photos were analysed. The specific dependence of speed of waves on their amplitude and collisions without energy exchange revealed their solitonic nature.

