

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 17 (1989/1990)

Številka 5

Strani 264-267

Janez Strnad:

ŠE O OBRATNEM BRIZGALNIKU

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija:

<http://www.presek.si/17/1001-Strnad-Wheeler.pdf>

© 1990 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.

ŠE O OBRATNEM BRIZGALNIKU

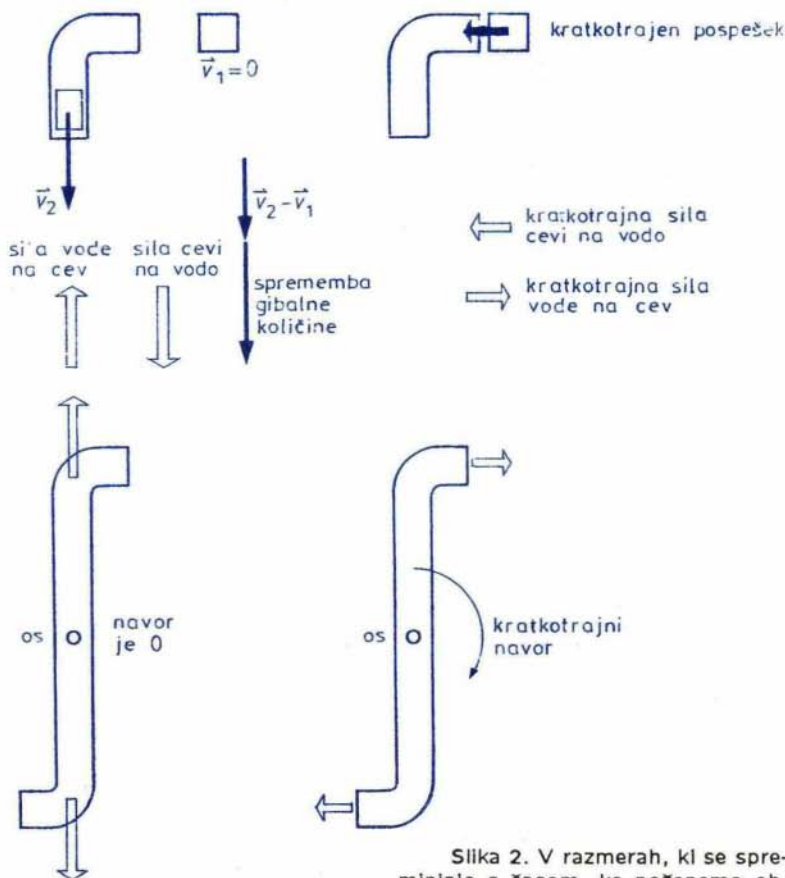
Do odgovora na vprašanje o obratnem brizgalniku se je najpreprosteje dokopati po poti, ki smo jo uporabili pri brizgalniku (Presek 16 (1988/89) str. 197). Iz neznanih razlogov ta pot ni priljubljena ne pri obravnavanju leta letal ne brizgalnika in splotih ne pri razpravljanju o obratnem brizgalniku.

Zakaj leti letalo, težje od zraka? Za opazovalca na zemlji zrak pred letalom miruje, krilo pa ga požene navpično navzdol. Sprememba hitrosti zraka kaže navpično navzdol in to smer imata tudi sprememba gibalne količine in sila krila na zrak. Sila zraka na krilo ima nasprotno smer, kaže navpično navzgor. Tako preprosto je mogoče pojasniti *dinamični vzgon*. (Izračunati ga je težje. Vsi deli zraka nimajo enake navpične komponente hitrosti: ob krilu je največja, z naraščajočo razdaljo pa hitro pojema. V računu je treba upoštevati efektivno maso zraka, ki ga zajame krilo na sekundo, in povprečno vrednost njegove navpične komponente hitrosti. Glej Presek 6 (1978/79) str. 241).

Na hitro se sprehodimo po njej pri obratnem brizgalniku, čeprav privede do enakega končnega izida. Mislimo si obratni brizgalnik v zelo veliki posodi z mirujočo vodo v razmerah, ki se ne spreminjajo s časom. Del vode v posodi pred vstopom v cev miruje, se giblje v cevi proti osi in ob osi steče na prosto (slika 1). Zanimamo se le za sile v ravnini, ki je pravokotna na os. Sprememba hitrosti dela vode ima smer radialno proti osi in to smer imata tudi sprememba njegove gibalne količine in sila cevi na vodo. Voda deluje na cev v nasprotni smeri, torej radialno od osi. Navor te sile glede na os je enak nič. Obratni brizgalnik miruje.

To ne velja, če voda v posodi ne miruje ali če se razmere spreminjajo s časom. Priznati moramo, da za ta primer opisana preprosta pot ni uporabna. V razmerah, ki se s časom ne spreminjajo, je dovolj, če se zanimamo le za gibanje dela vode precej daleč od vstopa v cev in za gibanje tega dela ob izstopu iz cevi. Ni pomembno, kaj se z delom vode dogaja med obema točkama. Toda ko poženemo obratni brizgalnik, to ne zadostuje. Del vode neposredno pred vstopom v cev spočetka miruje. Kratkotrajna sila zaradi tlačne razlike — v cevi je tlak manjši kot zunaj nje — pa ga pospeši, ko brizgalnik poženemo s tem, da priključimo tlačno razliko. Na del vode deluje tedaj cev s kratkotrajno silo tangентno v notranjost cevi (slika 2). Voda deluje tedaj s kratkotrajno silo v nasprotni smeri, se pravi tangентno iz cevi navzven.

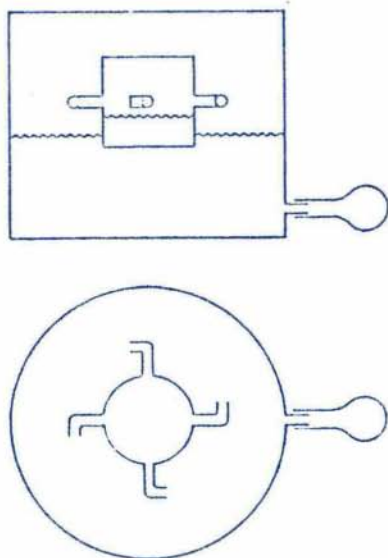
S kratkotrajno silo je povezan kratkotrajni navor, ki deluje pri obratnem brizgalniku nasprotno kot pri brizgalniku. Zaradi njega se prožno pritrjena cev za kratek čas odkloni, ko priključimo tlačno razliko. Nepritrjena cev se



Slika 1. Obravnavamo obratni brizgalnik v razmerah, ki se ne spreminjajo s časom. Opazovani del vode v posodi miruje, v cevi pa se globlje proti osi s hitrostjo v_2 . Razlika hitrosti določa smer sile cevi na vodo, sila vode na cev ima nasprotno smer. Navor dvojice takih sil je enak nič, obratni brizgalnik miruje. Odločilna je le velikost hitrosti v_2 , zato pri obratnem zbiralniku ne govorimo o šobi, ampak o ustju cevi ali kar o cevi.

Slika 2. V razmerah, ki se spreminjajo s časom, ko poženemo obratni brizgalnik, moramo postopati drugače. Ko poženemo obratni brizgalnik, se del vode ob ustju cevi pospeši v smeri tangento proti notranjosti cevi. Kratkotrajna sila cevi na vodo ima to smer, kratkotrajna sila vode na cev pa nasprotno. Zaradi kratkotrajnega navora, ki je povezan z dvojico takih sil, se začne obratni brizgalnik vrteti v nasprotni smeri, kot se vrti brizgalnik. Vendar se to vrtenje zaradi trenja v ležajih kmalu zaduši. Ko zaustavimo obratni brizgalnik, nastopita kratkotrajna sila in kratkotrajni navor v nasprotni smeri.

Slika 3. Naprava brez ležajev, ki deluje pri poskusih kot obratni brizgalnik ali brizgalnik (pogled od zgoraj (a) in pogled od strani (b)). Slika je vzeta iz članka R.E.Berg, M.R.Collier, *The Feynman inverse sprinkler problem: A demonstration and quantitative analysis*, American Journal of Physics 37 (1989) 654. Posodica meri v premeru 12 centimetrov in razdalja med nasprotnima ustjema cevi 17 centimetrov.



začne zelo počasi vrteti v nasprotni smeri kot pri brizgalniku, ko poženemo obratni brizgalnik, in se zaustavi, ko prekinemo tok vode. Tedaj se namreč del vode ob ustju cevi zaustavi zaradi kratkotrajne sile cevi tangentno iz cevi navzven. Na cev deluje voda s kratkotrajno silo v tangentni smeri v notranjost. Tega pojava zaradi trenja v ležajih pri nepritrjenem obratnem brizgalniku ni mogoče opazovati.

S posebno napravo brez ležajev pa sta ga R. E. Berg in M. R. Collier lahko zasledovala. V steklopihaški delavnici so jima izdelali valjasto posodico s štirimi pod pravim kotom zasukanimi cevmi (slika 3). Posodico sta dala v večjo posodo z vodo, v kateri sta zračni tlak nad vodo uravnavała z gumijastim balonom. Ko balon stisnemo, voda teče v posodico, dokler se zračni tlak v posodici ne izenači z zračnim tlakom v posodi. Tedaj deluje naprava kot obratni brizgalnik. Trenja ni, upor vode na posodico pa je tako majhen, da bi jo zaustavil šele po sto sekundah. Posodica se začne ob stiskanju vrteti s frekvenco okoli 7 na uro in se vrtil tako šest sekund, dokler balon stiskamo. Ko vodni tok preneha, se zaustavi.

Nato balon popustimo. Zdaj je v posodi manjši tlak kot v posodici, voda teče iz posodice, dokler se zračni tlak v posodi ne izenači z zračnim tlakom v posodici. To traja šest sekund in tedaj deluje naprava kot brizgalnik. Posodica se vrtil enakomerno pospešeno v nasprotni smeri kot prej in doseže največjo frekvenco okoli 1 na minuto. Ko vodni tok preneha, se zaradi upora

enakomerno pojemajoče ustavlja.

Poskus Američanov je vreden pozornosti. Vendar je treba posebej poudariti vlogo prehodnih pojavov in razlikovati od njih delovanje obratnega brizgalnika in brizgalnika v razmerah, ki se ne spreminjajo s časom. V tem primeru pa je daleč najpreprostejša naša razlaga.

Janez Strnad

WHEELER O OBRATNEM BRIZGALNIKU

"Ali naju je naloga iz uvodnega predavanja mehanike napeljala na to, da sva razmišljala o znanem brizgalniku za zalivanje trate? Oblikovan kot svastika brizga štiri vodne curke. Nasprotna sila curkov poganja krake brizgalnika, da se vrtijo. Toda kje prijema ta sila? Ali v točki, v kateri vodni curek nenadoma spremeni smer iz radialne v prečno? Pa vzemimo, da kraki srkajo vodo, namesto da bi jo brizgali. Zagotovo, sva rekla, je sila enaka, če je enaka sprememba smeri. Zagotovo se brizgalnik vrti, če srka vodo, namesto da bi jo brizgal. Ne, ne vrti se! Da, vrti se! Zabavala sva se, ko sva vprašanje zastavljala kolegom. S časom se je vse več kolegov s hodnikov odločilo za eno ali drugo stališče. Razprava je postala vse živahnejša. Noben teorijski razlog ni zadostoval, da bi zgladil nasprotja. Položaj je terjal poskus.

Feynman je naredil miniaturni 15-centimetrski brizgalnik iz steklenih cevi in ga obesil na gibko gumijasto cev. Preskusil ga je, da deluje kot brizgalnik. Nato je zvijajočo se zadevo zvito spravil skozi vrte velike steklenice z vodo. Svojo napravo je odnesel v ciklotronski laboratorij, v katerem je bil priložen priključek za stisnjen zrak. Tega je priključil skozi drugo luknjo v plutovinastem zamašku na steklenico. Ha! Malo se je zatreslo, ko je priključil tlak in je voda začela teče v nasprotni smeri skozi miniaturni brizgalnik. Toda ob mirnem toku ni bilo nasprotne sile. Potem je povečal zračni tlak, da se je povečal tok vode. Zopet kratkotrajno tresenje ob spremembi, toda nobenega trajnega zasuka. Dobro, še večji tlak. In več! Bum! Steklenica se je razletela. Voda in stekleni drobci so frčali po vsem ciklotronskem laboratoriju. Odtlej Feynman ni smel več v laboratorij."

J.A.Wheeler, *The young Feynman*, Physics Today **42** (1989) 24 (2)

V 4. številki (1988/89) je Presek objavil odlomek iz spominov znanega ameriškega fizika Richarda Feynmana o poskusih z "obratnim brizgalnikom". V zapisu iz posebne številke revije Physics Today, ki so jo izdal po Feynmanovi smrti, povzemamo spomin njegovega mentorja Johna Wheelerja na isti poskus. Iz tega jasno izhaja odgovor, ki ga Feynman v svojih spominih ni izdal: obratni brizgalnik se ne vrti.

Janez Strnad