

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik **16** (1988/1989)

Številka 4

Strani 197-202

Janez Strnad:

OBRTNI BRIZGALNIK

Ključne besede: fizika, Feynman.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/16/940-Strnad.pdf>

© 1989 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

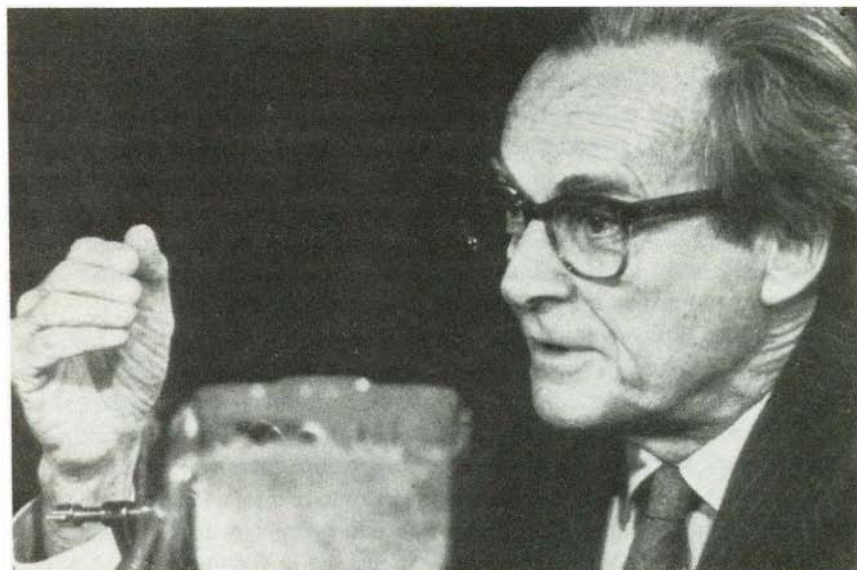
© 2010 DMFA - založništvo

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

“ OBRATNI BRIZGALNIK ”

Ameriški fizik Richard Feynman je leta 1965 dobil Nobelovo nagrado – skupaj z Julianom Schwingerjem in Sin–Itirom Tomonago – za prispevek h kvantni elektrodinamiki. Feynman je bil med fiziki zelo priljubljen. Priljubljenosti si ni pridobil le s svojim raziskovalnim delom in s številnimi knjigami, pač pa zagotovo tudi s svojo svežo miselnostjo, v kateri ni bilo prostora za vsakovrstne predsodke ne do vsakdanjih življenjskih zadev ne do fizike same. Knjiga spominov *Surely You're Joking, Mr. Feynman* (Gotovo se šalite, g. Feynman) je bila dalj časa po izidu leta 1985 na vrhu najuspešnejših knjig v ZDA.

V tej knjigi pripoveduje Feynman tudi o svojem poskusu v ciklotronskem laboratoriju. Poskus nima nič opraviti s ciklotronom. Feynman je le razmišljal o ciklotronih treh univerz, na katerih je študiral ali učil v mladih letih. V razmišljanje je skrnil ugotovitev, da največja in najdražja naprava ni vedno naj-



Richard Feynman (1918 do 1988). Fotografija ga kaže pri poskusu z vodom in tesnilko. V komisiji, ki je leta 1986 razkrivala vzroke za nesrečo vesoljskega letala, je Feynman na svoj način hitro ugotovil, da je nesrečo povzročila tesnilka. Pri nizki temperaturi ni opravila svoje naloge.

uspešnejša. Odločilni so znanje, spretnost in delavnost ljudi, ki napravo uporabljajo.

Pustimo Feynmana do besede:

“Nekoč sem v princetonskem ciklotronskem laboratoriju naredil poskus s presenetljivim izidom. V učbeniku hidrodinamike je bila naloga, o kateri so govorili vsi študenti fizike. Naloga se je glasila takole: imate napravo za zalivanje — cev v obliki črke S z osjo — in voda brizga iz cevi pod pravim kotom proti osi iz naprave, ki se vrti. Vsakdo ve, kako se vrti: umika se iztekajoči vodi. Vprašanje je, kako bi se naprava vrtela, če bi imeli jezero ali plavalni bazen — pač veliko zalogo vode — in bi jo potopili pod vodo in bi vodo sesala, ne brizgala. Ali bi se vrtela enako, kot se vrti, ko brizga vodo v zrak; ali bi se vrtela v nasprotni smeri?”

Na prvi pogled je bil odgovor popolnoma jasan. Nerodno je bilo le to, da je bilo za nekoga popolnoma jasno, da se vrti tako, za drugega pa popolnoma jasno, da se vrti drugače. Zato so o tem vsi razpravljali. Spominjam se, da je na nekem seminarju ali čaju študent vprašal profesorja Johna Wheelerja: “Kako vi mislite, da se vrti?” Wheeler je rekel: “Včeraj me je Feynman prepričal, da se vrti nazaj. Danes me je enako uspešno prepričal, da se vrti v nasprotni smeri. Ne vem, v kaj me bo prepričal jutri?”

Povedal vam bom razlog, zaradi katerega boste mislili tako, in razlog, zaradi katerega boste mislili drugače. Velja?

Če sesate vodo, jo vlečete v šobo, zato se vrti naprava v smeri vstopajoče vode. Toda prišel bo nekdo drugi in vprašal po navoru, ki je potreben, da obdržimo napravo pri miru. V primeru, da voda izteka, vsi vemo, da jo moramo tiščati z zunanje strani krivulje zaradi centrifugalne sile vode, ki se giblje po krivulji. Če se giblje voda po enaki krivulji v drugi smeri, še vedno deluje centrifugalna sila v enaki smeri z zunanje strani krivulje. Zato sta oba primera enaka in se bo v obeh naprava vrtela enako, če vodo brizga ali če jo sesa.

Po premisleku sem se končno odločil za odgovor. Da bi to pokazal, sem želel narediti poskus. V princetonskem ciklotronskem laboratoriju so imeli velikansko pleteno steklenico vode. Mislim sem si, da je ravno dovolj velika za poskus. Poiskal sem kos bakrene cevi in jo zvil v obliki črke S. Na sredi sem zvrtil luknjo, vtaknil vanjo gumijasto cev in jo speljal skozi luknjo v zamašku, s katerim sem zamašil steklenico. Zamašek je imel še eno luknjo, v katero sem vtaknil drugo gumijasto cev, ki sem jo povezal s posodo s stinjenim zrakom v laboratoriju. S pihanjem zraka v steklenico sem dosegel, da je voda vstopila v bakreno cev, kot da bi jo s to cevjo sesali. Cev v obliki črke S se ni mogla vrteti, zaradi prožne gumijaste cevi pa se je lahko nekoliko zasukala in izmeriti sem hotel hitrost vode po tem, kako visoko je brizgala z vrha steklenice (slika 1).

Vse sem sestavil in priključil stisnjeni zrak, pa je reklo "Puupl". Tlak je vrgel zamašek iz steklenice. Nato sem zamašek močno pritrdil z žico, da je ostal na svojem mestu. Zdaj je poskus potekal kar dobro. Voda je brizgala in gumijasta cev se je malo zasukala. Nekoliko sem povečal tlak, češ da bom pri večji hitrosti vode bolj natančno meril. Zelo skrbno sem izmeril zasuk cevi v obliki črke S in višino vodnega curka iz steklenice in zopet povišal tlak. Nenadoma se je razpočilo vse v vseh mogočih smereh v laboratoriju. Neki opazovalec je bil tako moker, da se je moral preobleči (kot po čudežu ga niso porezale črepinje), in množica fotografij z meglično celico, ki so jih skrbno naredili ob ciklotronu, se je zmočila. Sam sem bil dovolj daleč in v takem položaju, da sem bil kar suh. Vendar se bom vedno spominjal, kako je veliki profesor Del Sasso, ki je vodil ciklotron, pristopil in strogo rekel: "Začetniki naj delajo poskuse v začetniškem laboratoriju!" "

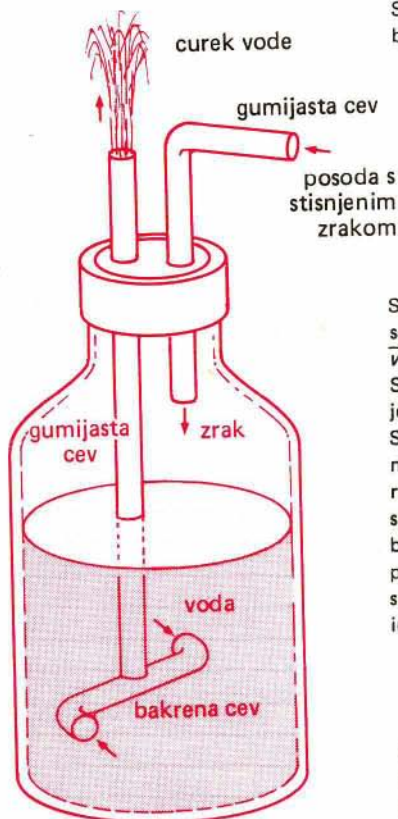
Kaže, da Feynman namenoma ni omenil odgovora na vprašanje. Naj ga vsak bralec poišče sam! Njegov opis poskusa zares spodbuja k razmišljanju o obratnem brizgalniku. To ime se je namreč prijelo naprave, ki je v *American Journal of Physics*, posvečenem tudi poučevanju fizike, sprožila živahno razpravo. Ali ne bi bilo smotno, če bi tudi Presek posnemal Feynmana? Bralci Preseka naj poskusijo odgovoriti na vprašanje: Kako se giblje obratni brizgalnik? To lahko storijo z razmišljanjem ali s poskušanjem ali z obojim. Odgovor naj pošljejo uredništvu Preseka z dostavkom *Obratni brizgalnik*.

Da za raziskovalce obratnega brizgalnika naloga ne bo pretežka, jim Presek ponuja eno izmed razlag brizgalnika, po mnenju pisca najpreprostejšo. Omejimo se na razmere, ki se s časom ne spreminjajo in uporabimo samo Newtonove zakone v vektorski obliki. Osredotočimo se na vrtljivi del brizgalnika, a zato, da se razmere s časom ne spreminjajo, ta del držimo pri miru.

Drugi Newtonov zakon pravi v prvotni obliki: Sprememba gibalne količine je sorazmerna s silo in ima smer te sile. Gibalno količino telesa dobimo, ko pomnožimo njegovo maso z njegovo hitrostjo. *Tretji Newtonov zakon* zagotavlja: če deluje prvo telo na drugo telo s silo, deluje drugo telo na prvo telo z enako veliko silo v nasprotni smeri.

Vektorji so količine, ki imajo velikost in smer — kot hitrost in sila — in ki jih ponazorimo s puščicami. Kako jih seštevamo? Začetek druge puščice postavimo v konec prve in narišemo puščico od začetka prve do konca druge. Puščico z negativnim znakom narišemo tako, da prvotni puščici spremenimo smer.

Za začetek vzemimo eno samo cev, ki je na krajišču zavita pod pravim kotom. Zavitemu krajišču z luknjico recimo šoba. Cev, po kateri poganjamo konstanten tok vode, naj miruje. Opazujemo del vode z maso m v ravnem delu



Slika 1. Feynmanov poskus z obratnim brizgalnikom. (levo)

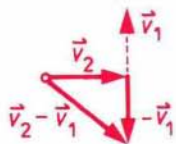
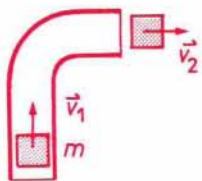
Slika 2. Del vode z maso m v brizgalniku se giblje pred vstopom v šobo s hitrostjo \vec{v}_1 in po izstopu iz nje s hitrostjo \vec{v}_2 (a). Sprememba gibalne količine $m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$ je sorazmerna s silo šobe na vodo (b). Sila vode na šobo je enako velika, a ima nasprotno smer (c). Dvojica sil, ki jo moramo uravnovesiti z dodatno zunanjo silo, če zadržujemo brizgalnik (d). Ko brizgalnika ne zadržujemo, ta dvojica pospeši brizgalnik in pri vrtenju s konstantno kotno hitrostjo premaga upor in trenje.

Slika 3. Z ozko šobo dosežemo, da se spremeni tudi velikost hitrosti. S tem povečamo silo šobe na vodo in silo vode na šobo. Če brizgalnika ne zadržujemo, se v tem primeru vrti hitreje.

pred šobo, ko ima hitrost \vec{v}_1 , in potem, ko zapusti šobo in ima hitrost \vec{v}_2 . Če ima cev enakomeren presek, sta hitrosti v_1 in v_2 enako veliki. Gibalna količina dela vode se spremeni pri prehodu skozi šobo za $m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$, ker deluje nanj šoba s silo. Po drugem Newtonovem zakonu ima sila šobe na del vode smer vektorja $m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$, ki je enaka smeri vektorja $\vec{v}_2 + (-\vec{v}_1)$ (slika 2).

Silo dobimo iz drugega Newtonovega zakona tako, da spremembo gibalne količine delimo s časom, v katerem se sprememba dogodi. Po tem je sila šobe na del vode $\vec{F} = \Phi(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$, če je $\Phi = m/t$ masni tok vode, to je masa vode, ki vsako sekundo izteče iz cevi. Ker se razmere ne spreminjajo s časom, se tudi sila šobe na vodo ne spreminja.

Po tretjem Newtonovem zakonu deluje šoba na vodo z nasprotno enako



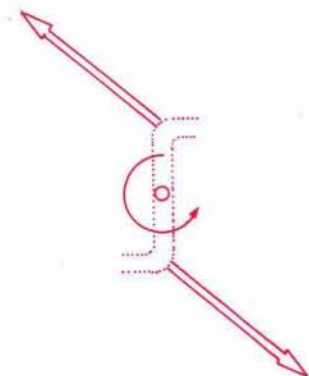
(a)



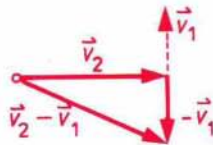
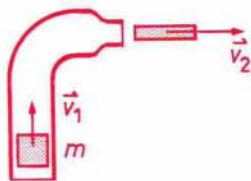
(b)



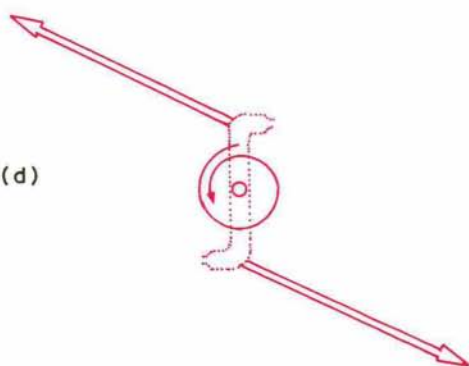
(c)



Slika 2



(d)



Slika 3

silo kot voda na šobo. Pri cevi brizgalnika v obliki črke S imamo na krajiščih dve šobi, iz katerih izteka voda v nasprotnih smereh. Ti sili sta nasprotno enaki in ne ležita na isti premici; učeno pravimo, da sestavljata *dvojico sil*. Če naj se razmere s časom ne spremenijo – na ta primer smo se omejili, moramo z dodatno dvojico sil premagati opisano dvojico sil in doseči, da se cev brizgalnika

