

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik **20** (1992/1993)

Številka 1

Strani 2-4

Andrej Likar:

## VALOVNI STROJ

Ključne besede: fizika, valovanje.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/20/1115-Likar.pdf>

© 1992 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.

## VALOVNI STROJ

Ste že opazovali valove na vrvi? Dolgo gibko vrv vpneemo na enem krajišču, drugega pa nihamo. Bolj zanimivo je opazovati valovanje na *valovnem stroju*. V zahtevni izvedbi ga sestavlja napeta jeklena žica, na katero so v enakih razmikih prečno nanizane enako dolge jeklene palice (slika na naslovni strani). Žico na nekaj mestih podpremo, da je kolikor mogoče vodoravna, lahko pa jo obesimo navpično. Palice nizamo na žico kot bisere na ogrlico, nato pa jih poravnamo in trdno spojimo z žico. Razdalja med palicami meri med 2 cm in 4 cm, žica pa je na krajiščih pritrjena na toga nosilca. Končno palico počasi zanihamo pravokotno na žico. Po nizu potuje valovanje z veliko amplitudo in dovolj počasi, da ga je mogoče podrobno opazovati.

Hitrost valovanja je odvisna od debeline žice, njenega strižnega modula, vztrajnostnega momenta palic in njihove medsebojne razdalje. Nam bo bolj prav prišla zveza:

$$c = 2\pi\nu l / \sqrt{2},$$

pri čemer je  $c$  hitrost valovanja,  $l$  razmik med sosednjima palicama,  $\nu$  pa frekvenca nihanja ene palice, ko sta njeni sosedi pritrjeni v mirovni legi. Zveza pomaga izbrati primerno debelo jekleno žico in dolžino ter presek palic, ne da bi bilo treba izdelati cel valovni stroj. Zadošča, da poskusimo z eno palico, ki jo pritrdimo na košček žice z dolžino  $2l$ . Prikladno je, da je hitrost valovanja  $c$  okrog  $0,5 \text{ ms}^{-1}$  ali manj.

Takega valovnega stroja v amaterski delavnici ni lahko narediti. Hitro pa izdelamo preprostejšo inačico, ki je prav tako uporabna. Namesto jeklene žice bomo med vodoravna nosilca vzporedno napeli gumijasti vrvici, ki ju naredimo s povezovanjem gumijastih obročkov. Nanju bomo prečno nizali lesene paličice (uporabili smo 40 cm dolge paličice iz svežnja za igro mikado). Vpeljemo jih skozi razpotegnjene obročke, ki paličice trdno vpnejo. Koristno je, da si že prej označimo sredino vsake paličice. Da sta vrvici čim bolj vzporedni, pritrdimo na sredino že vpeljanih paličic ščipalke za sušenje perila, ki poskrbijo, da je razmik med vrsticama enakomeren. Ko smo vpeljali vse paličice, jih poravnavamo, da se v mirovni legi postavijo vodoravno. Najhitreje to storimo, če premaknemo paličico, ki je najbolj oddaljena od vodoravne lege, nato pa ves niz umirimo in nadaljujemo tako do konca. Vmes jih tudi razmikamo, da so čim bolj enakomerno nanizane (slika 1 a in b na IV. strani ovitka zgoraj). Ni

nujno, da so vse paličice natančno v vodoravni mirovni legi, poskusi se nam bodo vseeno posrečili.

Najprej izmerimo *hitrost valovanja*. Paličico na robu na hitro zasučemo v skoraj navpično lego in merimo čas, v katerem motnja doseže paličico na nasprotnem robu (slika 2 a in b na IV. strani ovitka spodaj). Če izmerimo še dolžino  $L$  valovnega stroja od enega roba do drugega, lahko določimo hitrost valovanja:

$$c = \frac{L}{t}.$$

Pri našem stroju je bila dolžina  $L = 0,94$  m, čas potovanja motnje pa  $t = 2,2$  s, iz česar izračunamo:

$$c = 0,43 \text{ ms}^{-1}.$$

Dolžino  $L$  smo izmerili na 0,5 cm natančno, čas pa na 0,1 s. Hitrost  $c$  je zato negotova za  $0,02 \text{ ms}^{-1}$ .

V naslednjem poskusu preverimo zvezo  $c = 2\pi\nu l / \sqrt{2}$ . Izmeriti moramo povprečno dolžino  $l$  med sosednjimi paličicami, saj se je pri merjenju hitrosti valovanja le-to gibalo vzdolž celega stroja. Dolžina  $l$  je povezana z dolžino  $L$  takole:

$$l = \frac{L}{n-1}.$$

Z  $n$  smo označili število paličic v valovnem stroju (Zakaj je v imenovalcu na desni strani enačbe  $n-1$ ), ki je pri nas  $n = 24$ , torej:

$$l = \frac{0,94 \text{ m}}{23} = 0,041 \text{ m}.$$

Izmeriti moramo še frekvenco  $\nu$ , s katero niha paličica med pritrjenima sosedoma. Izmerimo čas desetih nihajev (pri čemer štejemo 0, 1, 2, ..., 9, 10, da ne izpustimo enega nihaja). Namerili smo  $t_{10} = 4,3$  s, zato je frekvenca

$$\nu = \frac{10}{t_{10}} = \frac{10}{4,3} \text{ s}^{-1} = 2,33 \text{ s}^{-1}.$$

Hitrost valovanja  $c$  izračunamo:

$$c = 2\pi\nu l / \sqrt{2} = \frac{6,283 \cdot 2,33 \text{ s}^{-1} \cdot 0,041 \text{ m}}{1,414} = 0,42 \text{ ms}^{-1}.$$

To se prav dobro ujema z izmerjeno hitrostjo  $0,43 \text{ ms}^{-1}$ , saj smo že ugotovili, da je ta izmerek negotov za  $0,02 \text{ ms}^{-1}$ . Tudi izračunana hitrost ni čisto

natančna, saj smo jo izračunali iz izmerkov  $\nu$  in  $l$ , ki sta tudi nenatančna.

Valovanje se na krajiščih stroja *odbije*. Opazujemo odboj kratkega *valovnega sunka*. Ustvarimo ga tako, da robno paličico le dvignemo in spustimo v prvotno vodoravno lego. Če je paličica na nasprotnem robu pritrjena, da ostane ves čas v mirovni legi, se sunek odbije z *nasprotno fazo*, torej se hrib odbije in potuje v nasprotno smer kot dolina. Pri prosti robni paličici pa se sunek odbije z *isto fazo*, torej se hrib odbije in potuje nazaj kot hrib. Robna paličica bo skoraj prosta, če bo razdalja med njo in pritrdiščem gumijastih vrvic dovolj velika, denimo štiri razdalje  $l$ .

Vzbudimo na valovnem stroju *stoječe valove*. To terja nekaj spretnosti. Paličico na robu moramo nihati s prav posebno izbrano frekvenco, sicer je na stroju zmešnjava. Stoječi valovi nastanejo, ko se potujoči valovi na robu odbijejo in na poti nazaj *sestavijo* ali *interferirajo* z vpadajočimi valovi. Nekatere paličice mirujejo, druge pa nihajo z dvojno amplitudo potujočih valov. Pri izbrani frekvenci, ki ji rečemo *lastna frekvenca* stroja, se stoječi valovi ne sprevržejo v zmešnjavo. Takih frekvenc je na valovnem stroju več in so v preprosti medsebojni zvezi.

Ali lahko dosežemo, da se valovanje na robu ne bi odbilo in potovalo nazaj? Tedaj bi po stroju potovali le *potujoči valovi*. To res lahko storimo tako, da pritrdimo na robno paličico ravno prav veliko pahljačo iz papirja, ali še bolje iz ptičjih peres. Velikost pahljače določimo s poskušanjem. Ko se valovni sunek od roba le neznatno odbije, pahljače ustrezajo. S potujočimi valovi teče tudi energija od roba, kjer valovanje vzbujamo, na drugi rob, kjer se porabi za mešanje in potem segrevanje okolišnega zraka. S tako prirejenim strojem lahko preverimo osnovno valovno zvezo:

$$c = \lambda \nu,$$

pri čemer hitrost valovanja  $c$  poznamo, *valovno dolžino*  $\lambda$  in *frekvenco vzbujanja*  $\nu$  pa izmerimo.

Morda najdete še sami kakšno zamisel za nov poskus ali izboljšavo valovnega stroja. Oglasite se s predlogi našemu uredništvu.

Andrej Likar

Sliki sta na IV. strani ovitka.

Slika 1. Sestava valovnega stroja z jekleno žico in prečnimi palicami (a) in ameterskega valovnega stroja z gumijastima vrvicama in lesenimi paličicami s kljukicami za sušenje perila (b). Pri obeh strojih je hitrost valovanja okoli  $0,5 \text{ ms}^{-1}$ .

Slika 2. Valovno čelo potuje od leve proti desni (a). Na kovinskem valovnem stroju potuje razpotegnjeni valovni sunek (b).