

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 23 (1995/1996)

Številka 2

Strani 72-75

Andrej Likar:

## VETER IN ZVOK

Ključne besede: fizika, valovanje, lom, zvok.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/23/1259-Likar.pdf>

© 1995 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.

## VETER IN ZVOK

V neki vasi so kmetje sodili o spremembi vremena po zvonjenju iz nekaj kilometrov oddaljene cerkve. Ponavadi zvonov niso slišali. Če pa so zvonovi razločno bili, je to napovedovalo spremembo vremena. Takrat je pihal veter od cerkve proti vasi in govorili so, da pač veter prinese tudi zvok.

Spremembo slišnosti zvoka iz oddaljenega izvira marsikdo razlaga takole: Hitrost zvoka je 340 m v sekundi, zato za pot, denimo treh kilometrov, potrebuje okrog deset sekund. V tem času se tudi zrak premakne za nekaj deset metrov, zato pride zvok do poslušalca nekoliko prej. Zvok tako prepotuje v zraku krajšo pot kot v brezvetrju. Zvok pa na krajši poti manj oslabi.

Izkušnje kažejo, da se v brezvetrju oddaljenega zvonjenja skoraj ne sliši, tudi če smo nekaj sto metrov bliže zvonovom. Ko pa piha veter v pravi smeri, je zvonjenje zelo razločno in glasno. Z zgornjo razlago torej ne moremo biti zadovoljni. Pokaže se, da je za opis pojava pomembno upoštevati lom zvoka.

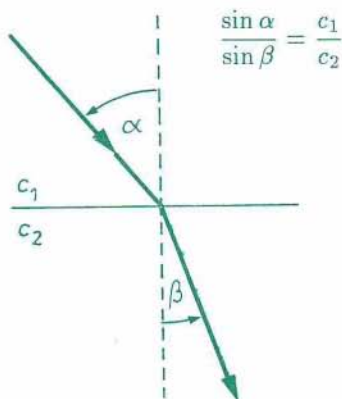
Spomnimo se, kako opišemo lom valovanja. Ravni val, ki potuje po sredstvu 1 in pade poševno na mejo s sredstvom 2, se tam lomi. Lomni zakon pravi, da je razmerje sinusov vpadnega in lomnega kota enako razmerju lomnih količnikov obeh sredstev:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1},$$

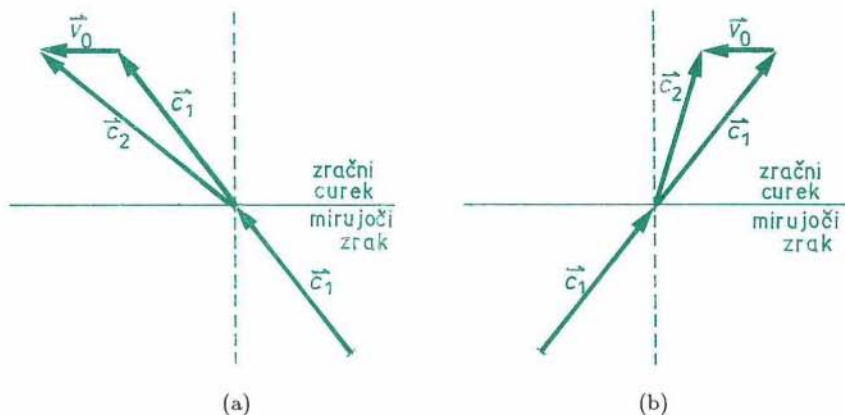
pri čemer kota  $\alpha$  in  $\beta$  merimo glede na pravokotnico na mejo obeh sredstev. Razmerje lomnih količnikov snovi  $\frac{n_2}{n_1}$  je enako razmerju  $\frac{c_1}{c_2}$  med hitrostma valovanja v sredstvih 1 in 2. Če je hitrost valovanja v sredstvu 2 večja kot v sredstvu 1, se valovanje lomi stran od vpadne pravokotnice, v obratnem primeru pa k vpadni pravokotnici (glej sliko 1).

Opazujmo zvočni val, ki naleti na vodoravni curek zraka. Meja med mirujočim zrakom in zrakom v curku naj bo ostra. Hitrost zvoka v curku ni v vseh smereh enaka. Največja je v smeri curka, najmanjša pa v curku nasprotni smeri. Hitrosti valovanja v curku moramo prišteti še hitrost

curka. Na meji med mirnim in gibajočim se zrakom se bo val zato lomil. Slika 2a kaže lom vala, ki vpade vzdolž curka, slika 2b pa lom, ko val vpade proti curku. V prvem primeru se bo val lomil od vpadne pravokotnice, saj je hitrost valovanja v curku večja kot v mirnem zraku. V drugem primeru pa se bo lomil proti vpadni pravokotnici. Lomni kot določimo tako, da seštejemo vektorja hitrosti  $\vec{c}_1$  in hitrosti zraka v curku  $\vec{v}_0$ , da dobimo hitrost  $\vec{c}_2$ . Nekaj valovanja se pri tem odbije nazaj v mirujoč zrak.



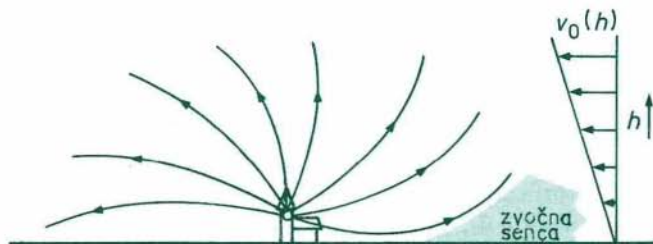
Slika 1. Ponazoritev lomnega zakona. Kot  $\alpha$  je vpadni kot,  $\beta$  pa lomni. Oba kota merimo glede na pravokotnico na mejo obeh sredstev.



Slika 2. Lom ravnega vala, ki vpade na mejo med mirnim zrakom in zračnim curkom s hitrostjo  $v_0$ . Val, ki se giblje vzdolž curka, se lomi stran od vpadne pravokotnice (a), val v nasprotni smeri pa k vpadni pravokotnici (b). Smeri valovanja dobimo z vektorsko vsoto valovne hitrosti v mirnem zraku in hitrostjo zraka v curku.

Ko piha veter, hitrost zraka z višino narašča. Blizu tal zrak skoraj miruje, na višini nekaj sto metrov pa je njegova hitrost največja. Zvočni valovi zato potujejo drugače kot v mirnem zraku. Ker se hitrost zraka z višino enakomerno spreminja, se valovanje neprestano lomi. Valovi, ki potujejo proti vetru, se lomijo navzgor, tisti v smeri vzdolž vetra

pa navzdol (glej sliko 3). V smeri proti vetru nastane zvočna senca, vzdolž vetra pa se valovanje zbira na tleh. V valovni senci se glasnost zvoka zmanjša tudi do 30 decibelov glede na brezvetrje. Ojačitev zvoka v smeri vetra pa je navadno manjša.

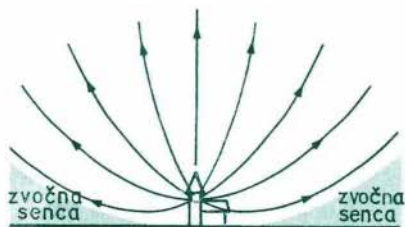


Slika 3. Žarki zvočnih valov iz oddajnika nad tlemi v vetru. Zvok se vzdolž vetra glede na brezvetrje ojači, v nasprotni smeri pa oslabi.

Tudi ko ni vetra, se zvok v zraku lomi. Hitrost zvoka je odvisna tudi od temperature zraka, ki se spreminja z višino. Navadno je zrak v višjih plasteh ozračja hladnejši kot na tleh. V zimskih mesecih pa je pogosta temperaturna inverzija: temperatura se z višino nekaj časa večja, nato pa začne spet padati. Hitrost zvoka je takole odvisna od temperature zraka:

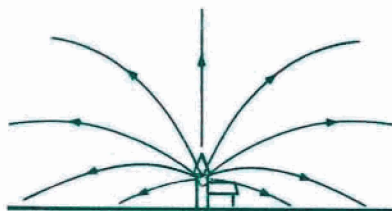
$$c(T) = c_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}}.$$

S  $c_0$  smo označili hitrost zvoka pri temperaturi  $T_0$ . Temperaturi  $T$  in  $T_0$  merimo od absolutne ničle. Pri  $T_0 = 273\text{K}$  ( $0^\circ\text{C}$ ) je  $c_0 = 331\text{ms}^{-1}$ . Za vsako stopinjo zraste hitrost zvoka za približno  $0,6\text{ms}^{-1}$ , če smo blizu temperature  $T_0$ . Običajno se temperatura ozračja zmanjša za eno stopinjo na 100 m. Takrat se valovanje od izvira na tleh lomi navzgor. Na oddaljenosti nekaj kilometrov okrog izvira nastane valovna senca (glej sliko 4).

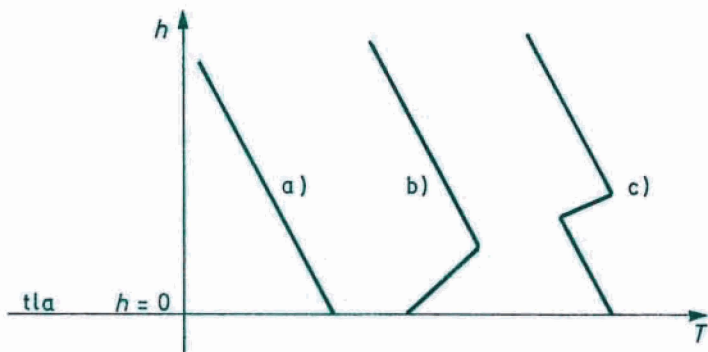


Slika 4. Lom zvočnih valov zaradi padanja temperature z višino. Tudi v tem primeru nastane nekaj kilometrov okrog izvira zvočna senca.

V mirnem in jasnem vremenu se temperatura z višino manjša, zato so noči v takem vremenu tihe. Pri inverziji pa se valovanje lomi navzdol in slišimo tudi bolj oddaljene zvočne izvire (slika 5). V posebnih okoliščinah nastane inverzija na večji višini: temperatura zraka se najprej znižuje, nato pa se v ozkem pasu spet povečuje (glej sliko 6). Nastane valovni vodnik, po katerem se širi zvok skoraj brez dušenja na zelo velike razdalje.



Slika 5. Potek zvočnih valov pri temperaturni inverziji, ko se temperatura z višino povečuje. Oddaljene zvočne izvire slišimo dosti dlje kot pri normalnih razmerah.



Slika 6. Krivulje temperature v odvisnosti od višine pri normalnem ozračju (a), pri temperaturni inverziji (b) in pri redkem pojavu višinske inverzije, ki tvori "zvočni valovod" (c).

Opisani pojavi so pogosto manj izraziti, ker je ozračje bolj ali manj vtinčasto in nehomogeno.

Andrej Likar