

# O Stefanovem akustičnem poskusu

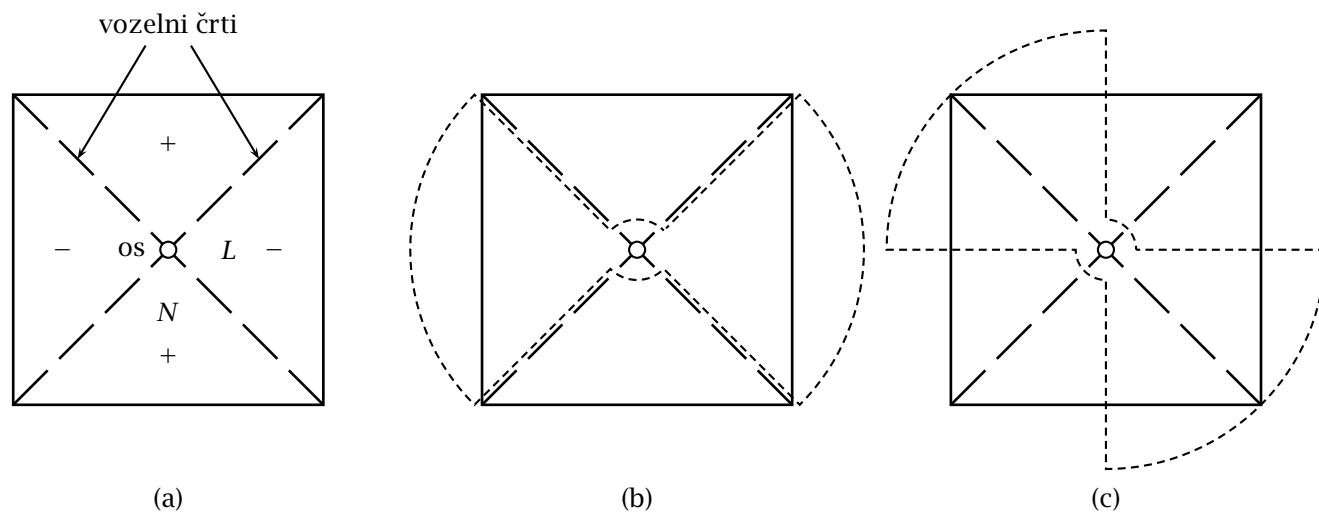


JANEZ STRNAD

→ Jožef Stefan je pred matematično-naravoslovnim razredom cesarske akademije znanosti na Dunaju 11. maja 1886 predaval *O nekem akustičnem poskusu*. Tedaj enaintridesetletni Stefan je tri leta pred tem postal redni profesor na dunajski univerzi ter leto pred tem direktor fizikalnega inštituta in redni član akademije. Razprava o akustičnem poskusu v Poročilih dunajske akademije znanosti ima v seznamu 83-ih Stefanovih del številko 28.

V razpravi je Stefan brez uvoda opisal vrsto poskusov z zvokom. Kvadratno kovinsko ploščo je z

violinskim lokom spravil v nihanje, tako da sta vozelnii črti ležali na njenih diagonalah. Vozelni črti, v katerih so deli plošče mirovali, je bilo mogoče opaziti po tem, da se je na njiju nabrala mivka, ki jo je potresel po plošči. Deli plošče tostran in onstran vozelnii črte so se gibali pravokotno na ravnino plošče v nasprotnih smereh. Območje plošče s simetralo levo-desno zaznamujmo z  $L$ , območje plošče s simetralo od sebe - k sebi pa z  $N$ . Ko so se deli  $L$  gibali navzgor in stiskali zrak nad ploščo, so se deli  $N$  gibali navzdol in redčili zrak nad ploščo. Po polovici nihaja so se deli  $L$  gibali navzdol in deli  $N$  navzgor. Od plošče so potovale razredčine in zgoščine, ki jih je bilo slišati kot zvok. Valovi, ki so izhajali iz območja  $L$ , so bili za pol nihaja zakasnjeni za valovi iz območja  $N$  ali so zaostajali za njimi za pol valovne dolžine.



**SLIKA 1.**

Plošča z vozelnima črtama (a), izseka v legi, v kateri slišimo zunaj osi močnejši zvok (b), in v legi, v kateri slišimo šibkejši zvok (c).

Valovi so se sestavili, interferirali. V navpični osi nad sredino plošče so se popolnoma oslabili. Po osi ni bilo slišati zvoka.

Stefan je iz lepence izrezal izseka s središčnim kotom  $90^\circ$ . Zunaj osi je bilo slišati ojačeni zvok, če je izseka podprl nad ploščo, tako da sta se robova pokrivala z vozelnima črtama. Zvok pa je bil oslavljen, če sta bila robova izsekov vzporedna z robovi plošče. Zvok je bil izmenoma močan in šibek, je *utripal*, ko je izseka vrtel nad ploščo. Utripanje je bilo počasnejše, če je izseka vrtel počasneje, in hitrejšo, če ju je vrtel hitreje. Pri dovolj hitrem vrtenju prvotnega zvoka ni bilo več slišati, pojavila pa sta se dva zvoka, višji in nižji ton. Po frekvenci sta se tem bolj razlikovala, čim hitrejšo je bilo vrtenje. Podoben pojav je opazil, če sta izseka mirovala, a je okoli osi vrtel zvonečo ploščo. Pojav je opazil tudi brez izsekov, če je samo vrtel zvonečo ploščo. Pripomnil je, da so poročali o poskusih te vrste z vrtečimi se glasbenimi vilicami.

Kar je opazil pri poskusih, je Stefan podprl z računom. Zvok s frekvenco  $\nu = 1/T$ , če je  $T$  nihajni čas, v določeni točki opišemo z nihanjem delov zraka  $a \sin 2\pi\nu t$ . Jakost zvoka je sorazmerna s kvadratom  $a$ . Naj se jakost zvoka periodično spreminja s frekvenco  $\nu'$ . Potem gibanje delov zraka opiše izraz:  $a \sin 2\pi\nu't \sin 2\pi\nu t$ . Z izrekoma za kosinus vsote in razlike izraz preuredimo:

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad a \sin 2\pi\nu't \sin 2\pi\nu t &= \\ &= \frac{1}{2}a \cos 2\pi(\nu - \nu')t - \frac{1}{2}a \cos 2\pi(\nu + \nu')t. \end{aligned}$$

Zares pri dovolj hitrem utripanju tona s frekvenco  $\nu$  slišimo tona s frekvencama  $\nu + \nu'$  in  $\nu - \nu'$ . Frekvenci tonov se tem bolj razlikujeta, čim večja je frekvenca utripanja  $\nu'$ .

Stefan je poskus še izpopolnil. Pred vrtečo se ploščo je pravokotno na ravnino plošče, premaknjeno od osi, postavil cevko, ki je ojačila le višji ton, ali krajšo cevko, ki je ojačila le nižjega. Tako je zaznaval posebej ton s frekvenco  $\nu + \nu'$  ali ton s frekvenco  $\nu - \nu'$ .

2. novembra 1866 je Stefan pred akademijo nastopil z *Dodatkom k razpravi O nekem akustičnem*

*poskusu*. Pred tem je pregledal literaturo. Zapisal je: »Ob času objave navedenega sestavka nisem vedel, da so opisane poskuse naredili drugi že pred menoj. Odtlej sta prišli tudi dve zahtevi za prvenstvo. Poleg tega sem našel v literaturi starejša poročila o tovrstnih poskusih.« Nato je naštel, kdo je pred njim naredil podobne poskuse. Nekatere izvedbe poskusa so opisali v učbenikih in večkrat so o njih poročali v revijah. Nekaj poskusov je naredil Ernst Mach in te je Stefan izčrpeje opisal in dodal nekaj svojih ugotovitev. Ponovil je tudi nekaj poskusov s sireno. Pod glasbenimi vilicami je vrtel ploščo z odprtini na krožnici v enakih razmikih. Poskuse te vrste je naredil Hermann von Helmholtz, ko je raziskoval, kako zaznavamo zvok. Na koncu sestavka je Stefan zapisal: »Upam, da sem s tem dodatkom dosegel postavljeni namen, namreč to, da sem zavaroval pravice vsakega fizika, ki je bil udeležen pri teh poskusih, kolikor mi dovoljuje sedanje poznavanje virov.«

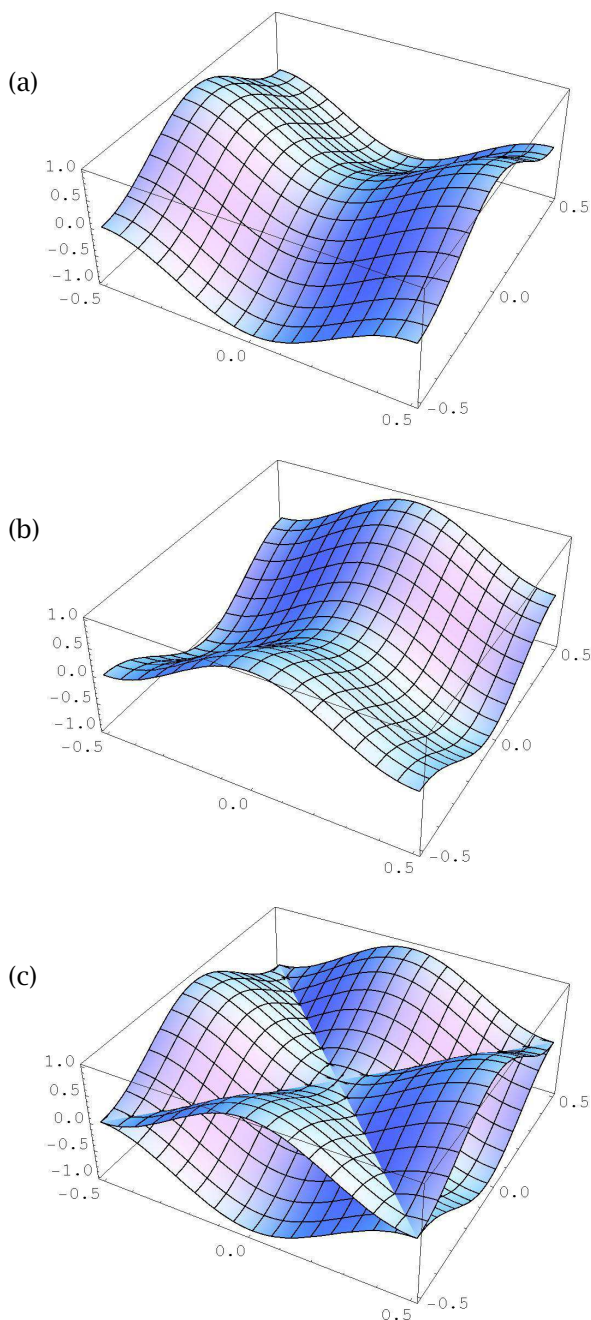
Zanimanje za poskuse z zvonečimi ploščami in raziskovanje vozelnih črt je razširil Ernst Florens Friedrich Chladni (1756–1827). Vozelne črte poznamo



**SLIKA 2.**

Chladnijeva slika na sredini vpete kvadratne nihajoče plošče z diagonalnima vozelnima črtama.





**SLIKA 3.**

Diagrama odmika delov plošče, ko odmik doseže največjo vrednost (a) in pol nihaja pozneje (b) ter skupni diagram (c). Odmiki so narisani močno pretirano.

kot *Chladnijeve figure*. Že leta 1680 jih je opazoval Robert Hooke, ki je spravil v nihanje stekleno ploščo, posuto z moko. Chladni, slovaškega porekla, je na očetovo željo študiral pravo na nemških univerzah in študij končal leta 1782. Potem je lahko dal duška svojemu zanimanju za fiziko. Izmeril je hitrost zvoka v različnih plinih in leta 1787 objavil *Odkritja o teoriji zvoka*. To mu je prineslo naslov »oče akustike«. Leta 1794 so ga pritegnile govorice o kamnih, ki padajo izpod neba. Tedaj se je zdelo to nemogoče in Chladni si je s svojim zanimanjem nakopal posmeh učenih ustanov. Na pravniški način je po knjižnicah iskal podatke in ugotovil skupne poteze različnih poročil o kamnih izpod neba. Po njih je sklepal, da izpod neba zares padejo kamni, čeprav poredko. Zato je znan tudi kot »oče meteoritov«. Knjigo *O ognjenih meteorjih in o masah, ki so padle z njimi* je izdal šele leta 1819, ker so ga medtem zaposlili poskusi z zvokom. Pohvalil se je, da je kot fizik leta 1794 »načel vprašanje izpod neba padlih meteorskih mas in njihovega vesoljskega izvora«.

Za konec omenimo, da so poskusi opisane vrste z zvokom pomembni še danes. Leta 2007 je sedem raziskovalcev s švicarskih in ameriških ustanov v imenitni reviji *Physical Review Letters* objavilo članek *Chladnijeve figure ponovno v nanomehaniki*. Hooke, Chladni, Stefan in drugi so opazovali vozelné črte na ploščah, ki so nihale v zraku. Delci moke ali mivke so se gibali proti vozelnim črtam in ob njih obmirovali. Sodobni raziskovalci so opazovali gibanje zelo drobnih delcev nad ploščicami v tekočini. Ugotovili so, da delci s premerom nekaj nanometrov (milijardin metra ali milijonin milimetra) silijo proti vozelnim črtam, delci s premerom nekaj mikrometrov (milijonin metra ali tisočin milimetra) pa proti delom ploščic, ki najmočneje nihajo. Pojav so preiskali in tudi pojasnili s tokovi v tekočini. Ugotovitev je pomembna, ker odpira možnost za razvrščanje zelo drobnih delcev po velikosti.

× × ×

[www.presek.si](http://www.presek.si)

[www.dmfa.si](http://www.dmfa.si)

[www.dmfa-zaloznistvo.si](http://www.dmfa-zaloznistvo.si)