

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 25 (1997/1998)

Številka 5

Strani 270-273

Zoran Arsov:

SONČEVE MELODIJE

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/25/1350-Arsov.pdf>

© 1998 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2009 DMFA - založništvo

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

SONČEVE MELODIJE

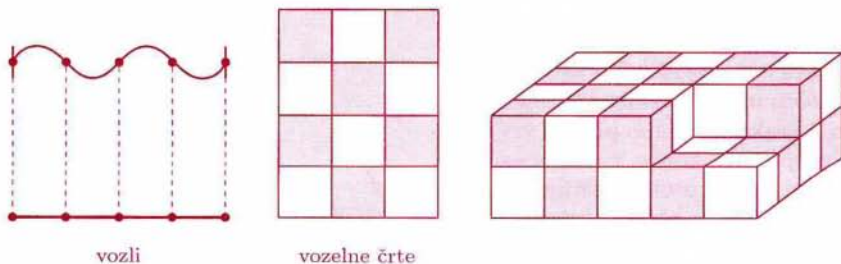
Če bi nam na ulici kdo dejal, da ravnokar posluša, kako poje Sonce, bi ga razglasili za posebneža. Vseeno bi morali biti pri tej izjavi previdnejši.

V primeru, da med Zemljo in Soncem ne bi bilo praznega prostora in da bi zaznali dovolj nizke tone, bi Soncu lahko prisluhnili. Tipični ton na Soncu je približno 12.5 oktav nižji od zvoka s frekvenco 20 Hz, ki ga človek ravno še zazna. V črtastem spektru zvoka ima največjo moč akustično valovanje z nihajnim časom okoli 5 minut (frekvenca 0.003 Hz).

Izvir zvoka s črtastim spektrom je telo, ki niha le z določenimi lastnimi frekvencami. Poznamo mnogo primerov iz glasbe: strune, opne in piščali. Nihanje zraka v piščali vzbujamo s pihanjem. Piščal ima v ta namen ob strani luknjico. Ko pihamo mimo luknjice, nastanejo vrtinci, ki vzbudijo nihanje zraka. Amplituda zvočnih valov je ponavadi majhna v primerjavi z valovno dolžino. Za tlak tako v kartezičnih koordinatah zapišemo

$$p(x, y, z, t) = p_0 + \delta p(x, y, z, t),$$

kjer je p_0 ravnovesna vrednost tlaka in δp majhen odmik okoli p_0 . Zaradi odbojev na stenah piščali se v notranjosti pojavijo stoječi zvočni valovi. Če so stene razporejene v obliki kvadra, se stoječe valovanje vzpostavi, ko so razdalje med stenami v smereh x , y in z večkratniki polovične valovne dolžine tona, ki ga daje piščal. Posamezen nihajni način torej opišemo s tremi števili n_x , n_y in n_z . Pri struni zadostuje le število n_x , če koordinatni sistem izberemo tako, da struna leži v smeri osi x . Število n_x šteje vozle na struni. Pri opni se vozli združijo v vozne črte. Slika 1 kaže stoječe valove na struni, pravokotni opni in v posodi z obliko kvadra.



Slika 1. Nihanje strune ($n_x = 5$), pravokotne opne ($n_x = 4$, $n_y = 5$) in plina v posodi z obliko kvadra ($n_x = 6$, $n_y = 5$, $n_z = 3$). Razlika v predznaku odmika od ravnovesne vrednosti je ponazorjena s svetlimi in temnimi predeli. Pri piščali velja za temne predele $\delta p > 0$ in za svetle predele $\delta p < 0$.

Sonce si lahko predstavljamo kot mehko posodo polno tekočine. Pri piščali povzročijo nihanje zračni vrtinci, izvor nihanja v Soncu pa so vrtinci plina v konvekcijski plasti. Zvočni valovi se širijo po notranjosti Sonca. Ob površini se odbojna meja za valove pojavi zaradi velikega zmanjšanja gostote tekočine, v notranjosti pa zaradi povečanja zvočne hitrosti, tako da se val lomi nazaj proti površini. Pri standardnem fizikalnem modelu obravnavamo Sonce kot sferno simetrično, kar pomeni, da je ravnovesni tlak p_0 odvisen le od radialne koordinate. Velja torej:

$$p(r, \theta, \phi, t) = p_0(r) + \delta p(r, \theta, \phi, t).$$

Podobno kot pri piščali je v Soncu ujeta stoječe akustično valovanje (slika 2a na II. strani ovitka). Ker gre za tridimenzionalni primer, potrebujemo za opis nihajnega načina tri števila n_r , n_θ in n_ϕ . Bolj ustaljene oznake so po vrsti n za število radialnih vozlov (vozelnih krogel), l za število vzporedniških vozlov in m za število poldnevniških vozlov. Ker površina Sonca ni trdna, se premika zaradi valovanja v notranjosti. To spominja na potrese, zato opazovanje premikov Sončeve površine imenujemo helioseizmologija.

Periodično gibanje površine opazujemo na različne načine. V sedemdesetih letih so astronomi odkrili, da rob Sonca niha, ko so merili njegovo lego. Kasneje so te meritve potrdili tudi z merjenji Dopplerjevih premikov spektralnih črt. Premiki nastanejo zato, ker se plin v fotosferi med oddajanjem svetlobe giblje. Gibanje je superpozicija okoli 10^7 lastnih nihanj (slika 2c na II. strani ovitka). Širina spektralne črte Ni I pri 676.8 nm je okoli 10 pm, hitrostna razlika zaradi nihanja tekočine v fotosferi, ki znaša okoli 0.1 m/s, pa premakne črto za 0.0002 pm. Premik je izredno majhen. Zato je potrebno uporabiti poseben merilni instrument, ki deluje kot interferometer.

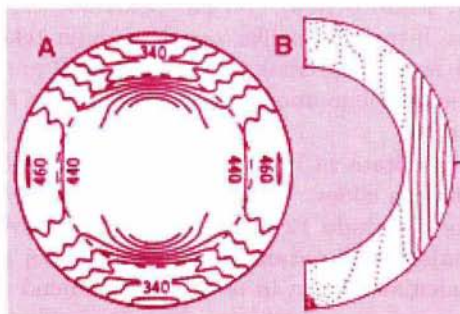
Natančne rezultate za lastne frekvence nihanja dobimo z meritvami preko večih nihajnih ciklov. To še posebej velja pri valovanju z nizko frekvenco. Valove s periodo 12 minut moramo opazovati 20 ur, če želimo slediti 100 nihajem. Za natančne meritve je torej potrebno premostiti težave zaradi menjave dneva in noči. Neprekinjeno opazovanje Sonca je postalo možno pred dvema letoma. Najprej je oktobra 1995 začela delovati mreža observatorijev imenovana GONG (The Global Oscillation Network Group). Šest enakih opazovalnic je razporejenih okoli Zemlje (slika 3) tako, da je Sonce ob primernem vremenu vidno 24 ur na dan. Novejši je opazovalni projekt SOHO (The SOLar Heliospheric Observatory). Observatorij v vesolju kroži od decembra 1995 okoli Lagrangeove točke L_1 med Zemljo in Soncem, od koder je pogled na Sonce nemoten.



Slika 3. Lege observatorijev v sistemu GONG.

Na Soncu lahko pričakujemo dve vrsti valovanj. Kaže, da so prisotni zvočni in težni valovi. Večina opazovanih nihajnih načinov zvočnih valov ima periode med 3 in 12 minutami. Prisotnost težnih valov (periode 1 ure in več) je eksperimentalno težje potrditi. Širijo se po plasteh globoko v notranjosti Sonca in po površini.

Pred pojavom helioseizmologije in pred začetkom meritev toka nevtronov so o stanju notranjosti Sonca sklepali le s teoretičnim modeliranjem. Helioseizmološke meritve predstavljajo veliko pridobitev, saj je njihova natančnost presenetljiva. Tako sedaj poznamo zvočno hitrost (in s tem temperaturo) od površine do središča na 0.1 %, tlak in gostoto pa na 1 % natančno. Vse te količine lahko merimo zato, ker so lastne frekvence odvisne od njih.



Slika 4. Globinski hitrostni profil vrtenja skozi navpični prerez Sonca. Frekvenčna skala na sliki je v nHz. Pri ekvatorju je frekvenca $4.6 \cdot 10^{-7}$ Hz in pri polu $3.4 \cdot 10^{-7}$ Hz.

Lastne frekvence so odvisne tudi od hitrosti vrtenja Sonca na določenem mestu. To dejstvo je zanimivo zato, ker se Sonce ne vrte kot togo telo. Kotne hitrosti različnih delov Sonca niso enake, čemur pravimo diferencialno vrtenje. Nenavadno vrtenje so pri Soncu odkrili že leta 1630

z opazovanjem obhodnega časa Sončevih peg. Obhodni čas je na površini pri ekvatorju krajši (25 dni) in pri polu daljši (36 dni). S helioseizmologijo so sedaj precej natančno določili celoten globinski hitrostni profil (slika 4). Vrtenje povzroči, da se osnovna frekvenca nihajnega načina razcepi na družino tesno zloženih frekvenc. Valovom, ki potujejo v nasprotni smeri vrtenja, se namreč frekvenca navidez zmanjša, tistim valovom, ki potujejo v smeri vrtenja, pa se frekvenca poveča.

Pri opazovanju vrtenja se je pojavil zanimiv problem, saj se jedro Sonca vrti počasneje, kot so napovedovali znanstveniki z različnimi modeli. To spoznanje odpira nova vprašanja o tem, kako zvezde izgubljajo vrtilno količino.

— — —

Na koncu lahko predstavimo še nekaj poskusov, za katere ne potrebujete zapletenih naprav in jih lahko naredite doma. Poskusi so v pomoč pri razumevanju lastnosti zvoka v odvisnosti od oblike, sestave in velikosti fizikalnega objekta, v katerem je zvok ujet.

Poskus 1.

Vzemite veliko steklenico (naša piščal). Pihajte mimo ustja steklenice in opazujte, kako se spreminja zvok, če je v steklenici več ali manj vode. (Odg.: Višji toni, ko je več vode.)

Poskus 2.

Vzemite steklenice različnih oblik in velikosti. V čem se razlikuje zvok? (Odg.: Nižji toni pri večjih steklenicah.)

Poskus 3.

Na vrvico obesite triangel ali kakšen drug zvonec predmet. Poslušajte razliko med zvokom mirujočega zvočila in zvokom, če se zvočilo hitro vrti. (Odg.: Mirujoče zvočilo oddaja isti ton, vrtečemu se ton zavijajoče spreminja, tako kot zvok sirene na intervencijskih vozilih.)

Zoran Arsov