

Vaja 35

MERITVE Z ULTRAZVOKOM

Zvok s frekvenco višjo kot $20 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$ imenujemo ultrazvok. Njegova kratka valovna dolžina omogoča, da lahko velikokrat zanemarimo uklon in vzamemo, da se širi kot curek ali valovni paket. Na dovolj veliki ploskovni oviri se odbije in se vrne do prejemnika kot ravni val. Po času, ki ga potrebuje od izvira do ovire in nazaj, lahko sklepamo na oddaljenost ovire, po smeri odbitega valovanja pa lego ovire. Uporabljamo ga v medicinskih preiskavah, za iskanje napak v kovinskih telesih, za odkrivanje predmetov pod morjem itd.

Oddajniki in sprejemniki ultrazvoka so najbolj pogosto piezoelektrične snovi. Taka snov se mehansko deformira (stisne ali raztegne) v električnem polju. Z izmenično napetostjo na ploskvah tanke ploščice povzročamo mehansko nihanje, ki se prenaša v okolico. To je oddajnik ultrazvoka. Ploščica iz piezoelektrične snovi je lahko tudi sprejemnik ultrazvoka, ker s stiskanjem induciramo električno polje v ploščici. Če potrebujemo ultrazvok večjih jakosti, pa uporabimo feromagnetne lastnosti snovi. V njej nastajajo deformacije pod vplivom sprememb magnetnega polja. Pojav imenujemo magnetostrikcija.

Širjenje zvoka skozi neviskozno kapljevino v smeri osi x lahko opišemo z valovno enačbo:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0, \quad (35.1)$$

kjer je zvočna hitrost definirana kot $c = \sqrt{1/\kappa_s \rho_o}$. y je količina, ki lahko predstavlja spremembo gostote snovi $\rho(x, t)$ ali pa spremembo tlaka $p(x, t)$, ki nastaneta zaradi valovanja. κ_s je adiabatna stisljivost kapljevine

$$\kappa_s = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_S \quad (35.2)$$

in ρ_o je ravnovesna gostota snovi. Rešitve zgornje valovne enačbe so lahko potujoči valovi

$$y = A \cos(\omega t + kx), \quad (35.3)$$

kjer je $\omega = 2\pi\nu$ in $k = \frac{2\pi}{\lambda}$. Fazna hitrost zvoka je $c = \frac{\omega}{k}$. Lahko pa je rešitev tudi potujoči valovni paket, ki ga izrazimo s

$$y = \sum_i A_i \cos(\omega_i t + k_i x). \quad (35.4)$$

Paket je valovanje sestavljeno iz valovanj različnih krožnih frekvenc in valovnih števil. Hitrost paketa se lahko razlikuje od fazne hitrosti c . Podaja jo skupinska ali grupna hitrost, ki je definirana kot

$$c_g = \frac{d\omega}{dk}. \quad (35.5)$$

35.1 Naloga

1. Z metodo preleta ultrazvočnega sunka določi:
 - hitrost potovanja zvočnega vala skozi vodo in
 - hitrost zvoka skozi neznano tekočino.
2. Nalogo ponovi z merjenjem fazne zakasnitve med sprejetim in oddanim ultrazvočnim valovanjem.

35.2 Potrebščine

1. Ultrazvočni oddajnik,
2. ultrazvočni sprejemnik,
3. nosilec z milimetrskim vijakom,
4. kad,
5. ultrazvočni merilnik,
6. osciloskop,
7. 4 koaksialni kabli za povezave,
8. merjenec.

35.3 Navodilo

1. S kabli zveži oddajnik in sprejemnik ultrazvoka z ultrazvočnim merilnikom. Izhod-'y' merilnika priključi na vertikalni vhod osciloskopa, izhod-'x' merilnika pa na vhod za proženje osciloskopa. Pretikalo merilnika, ki določa režim delovanja oddajnika, naj bo v položaju 'sunkovno'. Oddajnik bo oddajal kratke ultrazvočne pakete ali sunke. Vključi napetosti in na zaslonu osciloskopa boš opazil sliko oddanih in odbitih paketov. V odvisnosti od položaja pretikala sprejemnika lahko opazuješ odbite pakete z oddajno ali pa sprejemno ploščico.

Za meritev si izberi tako, da bo ena ploščica oddajnik druga pa sprejemnik. Če spreminjaš lego sprejemnika se spreminja tudi položaj paketov na zaslonu osciloskopa. Iz razdalj na zaslonu lahko določiš čas preleta paketa. Če pa poznaš še spremembo razdalje med oddajno in sprejemno ploščico, pa lahko tudi izračunaš hitrost ultrazvoka v tekočini.

Preklopi časovno bazo osciloskopa na največjo občutljivost tako, da s premikanjem vodoravnega položaja žarka osciloskopa, še lahko vidiš sprejeti signal na zaslonu. Z vrtenjem vijaka na nosilcu v kadi spreminjaj položaj sprejemnika. En zavrtljaj pomeni premik za 1 mm. Z vrtenjem premakni sliko paketa z desne strani osciloskopskega zaslona proti levi kolikor je mogoče. Izmeri premik in časovno razliko. Meritev nekajkrat ponovi (~ 10 -krat).

Za izvedbo drugega dela naloge vstavi med oddajnik in sprejemnik posodo z neznano tekočino. Iz razlike časov preleta in debeline plasti neznane tekočine oceni, kolikšna je razlika med hitrostjo ultrazvoka v vodi in neznani tekočini. Sprememba je zelo majhna in meritev zahteva zelo natančno nastavitve osciloskopa in nekaj prizadevnosti.

2. Preklopi oddajnik na zvezno delovanje. Pazi, da je amplituda dovolj majhna, da ne sveti kontrolna luč. Proženje osciloskopa mora biti na oddajnem signalu. Vodoravni položaj žarka nastavi tako, da vidiš začetek sinusne krivulje, hitrost časovne baze osciloskopa pa tako, da vidiš približno trideset nihajev sprejetega valovanja. Določi frekvenco ultrazvočnega valovanja. Če premakneš sprejemnik za x se valovanje premakne tako kot določa enačba

$$y = y_o \sin [k(d + x)]. \quad (35.6)$$

Pri tem je d prvotna razdalja med sprejemnikom in oddajnikom. Premakni sprejemnik tako, da prepotuje začetek vsaj preko 10-tih vrhov in dolin. Izračunaj valovno dolžino in fazno hitrost valovanja. Poskušaj oceniti kakšna je razlika med hitrostjo določeno iz časa preleta in hitrostjo dobljeno iz meritve fazne zakasnitve! Ali je to morda posledica razlike med grupno in fazno hitrostjo ali pa je v okviru eksperimentalne napake?

Med oddajnik in sprejemnik vtakni še posodo z merjencem. Oceni spremembo faze valovanja in iz debeline plasti merjenca oceni hitrost ultrazvoka v merjencu. Fazna razlika se lahko poveča ali pa tudi zmanjša, zato bodi zelo pozoren. Pomagaš si tako, da vstaviš posodo enkrat z debelejším drugič pa tanjšim presekom v smeri valovanja. Primerjaj fazni zakasnitvi v obeh primerih! Rezultate meritev prikaži v obliki tabele!

35.4 Neobvezni dodatek

Širjenje zvočnih valov skozi medij (plin, tekočino ali trdno snov) opisujemo s pomočjo zakonov mehanike kontinuumov, ker so medatomske razdalje mnogo manjše kot je valovna dolžina zvoka ali ultrazvoka. Odstopanja so le pri širjenju zvoka v zelo redkem plinu ali pri velikih frekvencah ultrazvoka v trdnih snoveh, ko postane valovna dolžina primerljiva z medatomske razdaljo.

V mehaniki kontinuumov definiramo gostoto snovi $\rho(x, y, z, t)$, hitrost snovi $v(x, y, z, t)$ in napetostni tenzor $\underline{\sigma}(x, y, z, t)$, ki so funkcije kraja in časa. Povezujejo jih zakoni ohranitve mase

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{v}) = 0, \quad (35.7)$$

ohranitve gibalne količine

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \operatorname{div} \underline{\sigma} \quad (35.8)$$

in energije. Obenem pa potrebujemo še povezavo med napetostnim tenzorjem in drugimi količinami. V trdni snovi je to Hookov zakon, v tekočini Newtonov zakon viskoznosti in v plinih je to enačba stanja. Ogledali si bomo primer viskozne tekočine. Če zanemarimo zunanje sile, je napetostni tenzor sorazmeren tako spremembam hidrostatskega tlaka, kot tudi deformacijam hitrosti

$$\underline{\sigma} = -p \cdot \underline{1} + 2\eta \operatorname{def} \vec{v} + \left(\zeta - \frac{2}{3}\eta\right) \operatorname{div} \vec{v} \underline{1}, \quad (35.9)$$

kjer je η strižna viskoznost in ζ dilatacijska viskoznost. Tako dobimo naslednjo zvezo

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\operatorname{grad} p + \eta \nabla^2 \vec{v} + \left(\zeta + \frac{1}{3}\eta\right) \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{v}. \quad (35.10)$$

Pri širjenju zvoka skozi snov imamo majhna odstopanja hidrostatskega tlaka in gostote od ravnovesne vrednosti:

$$p = p_o + p' \quad (35.11)$$

$$\rho = \rho_o + \rho'. \quad (35.12)$$

Če se omejimo samo na neviskozne tekočine, imata enačbi (35.7) in (35.8) v prvem približku obliko

$$\frac{\partial \rho'}{\partial t} + \rho_o \operatorname{div} \vec{v} = 0 \quad (35.13)$$

in

$$\rho_o \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\operatorname{grad} p'. \quad (35.14)$$

Predpostavimo tudi, da je frekvenca zvoka dovolj visoka in je stiskanje kapljevine adiabatno, in dobimo zvezo med spremembo tlaka in spremembo gostote

$$\rho' = \kappa_s \rho_o p'. \quad (35.15)$$

Iz enačb izločimo \vec{v} in ρ' in dobimo

$$\frac{\partial^2 p'}{\partial t^2} - c^2 \nabla^2 p' = 0. \quad (35.16)$$