

Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za matematiko in fiziko*



Oddelek za fiziko

Akustični resonator

Poročilo pri fizikalnem praktikumu III

Kristofer Č. Povšič

Mentor: Jelena Vesić

Uvod

Proste oscilacije pri določenih frekvencah, ki se pojavijo v zaprtem omejenem prostoru, imenujemo lastne frekvence. Z uporabo Newtonovega zakona za kontinuum, kontinuitetne enačbe, enačbe za adiabatne stisljivosti in enačbo za hitrosti zvoka dobimo sledečo enačbo 1:

$$\nabla^2 \delta p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \delta p}{\partial t^2} \quad (1)$$

kjer je δp odmik tlaka od ravnovesne lege, c hitrost zvoka, t pa čas.

Pravokotnih odmikov v smeri \vec{n} na steno ni, kar nam služi kot robni pogoj. Z uporabo nastavka in kosinusov zadostimo robni pogoj. Določimo nastavek:

$$\begin{aligned} \vec{r} &= (x, y, z) \\ p(\vec{r}, t) &= p(\vec{r}) \cos(\omega t + \phi) \\ p(\vec{r}) &= p_0 \cos(k_x x) \cos(k_y y) \cos(k_z z) \end{aligned} \quad (2)$$

Nastavek 2 uporabimo v enačbi 1 in dobimo zvezo med kotno frekvenco ω in valovnim vektorjem $\vec{k} = (k_x, k_y, k_z)$:

$$\frac{\omega^2}{c^2} = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 \quad (3)$$

Z upoštevanjem robnih pogojev na kvadru s stranicami A, B in C dobimo

$$\begin{aligned} k_x &= \frac{n_x \pi}{A} \\ k_y &= \frac{n_y \pi}{B} \\ k_z &= \frac{n_z \pi}{C} \end{aligned} \quad (4)$$

kjer so $n_x, n_y, n_z \in \mathbb{Z} \cup \{0\}$. Kotne frekvence lastnih valovanj so tako

$$\omega = c\pi \sqrt{\left(\frac{n_x}{A}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{B}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{C}\right)^2} \quad (5)$$

Naloga

- Izračunaj najnižje resonančne frekvence akustičnega resonatorja za n_i od 0 do 3 in dobljene frekvence (manjše od 1000Hz) v tabeli razvrsti po velikosti skupaj s pripadajočimi vrednostmi n_i . V tabeli pusti še dva prazna stolpca za izmerjene frekvence in amplitude.
- Izmeri resonančni odziv akustičnega resonatorja v območju od 200 do 1000Hz in ga nariši na ustrezen graf.
- Izmeri odvisnost signala od položaja mikrofona v škatli in za osnovno in še nekatere višje resonance. Izberi si take frekvence, da bodo odvisnosti $p(\vec{r})$ različne (recimo za n_x od 0 do 3).
- Primerjaj izmerjene in izračunane frekvence in na ta način določi, kateremu nihajnemu načinu pripadajo izmerjene resonance. Frekvence maksimumov in ustrezne amplitude vnesi v pripravljeno tabelo.
- Iz prvih treh resonanc izračunaj hitrost zvoka.
- Oцени razpolovno širino prvih treh resonančnih črt in še katere, ki je dovolj ločena od ostalih.

Potreščine

- Akustični resonator - zaboj iz vezanih in ivernih plošč z debelimi dušenimi stenami, notranje dimenzija so $A \times B \times C = 56.7\text{cm} \times 38.5\text{cm} \times 24.0\text{cm}$ (nedoločnost $\pm 0.1\text{cm}$) z odstranljivim pokrovom
- prenosnik opremljen s programom AkRes in zunanjo zvočno kartico, ki podpira 44.1kHz Mono-Duplex način predvajanja in sprejemanja zvoka
- zvočnik, pritrjen na steno resonatorja blizu vogala in povezan preko ojačevalca na izhod zunanje zvočne kartice
- premični mikrofonski povezan na vhod zunanje zvočne kartice.

Navodilo

Meritev opravimo tako, da merimo zvočno jakost v resonatorju z mikrofonom, pri čemer vzbujaemo valovanje z zvočnikom, na katerega priključimo izvor s konstantno amplitudo napetosti ali toka.

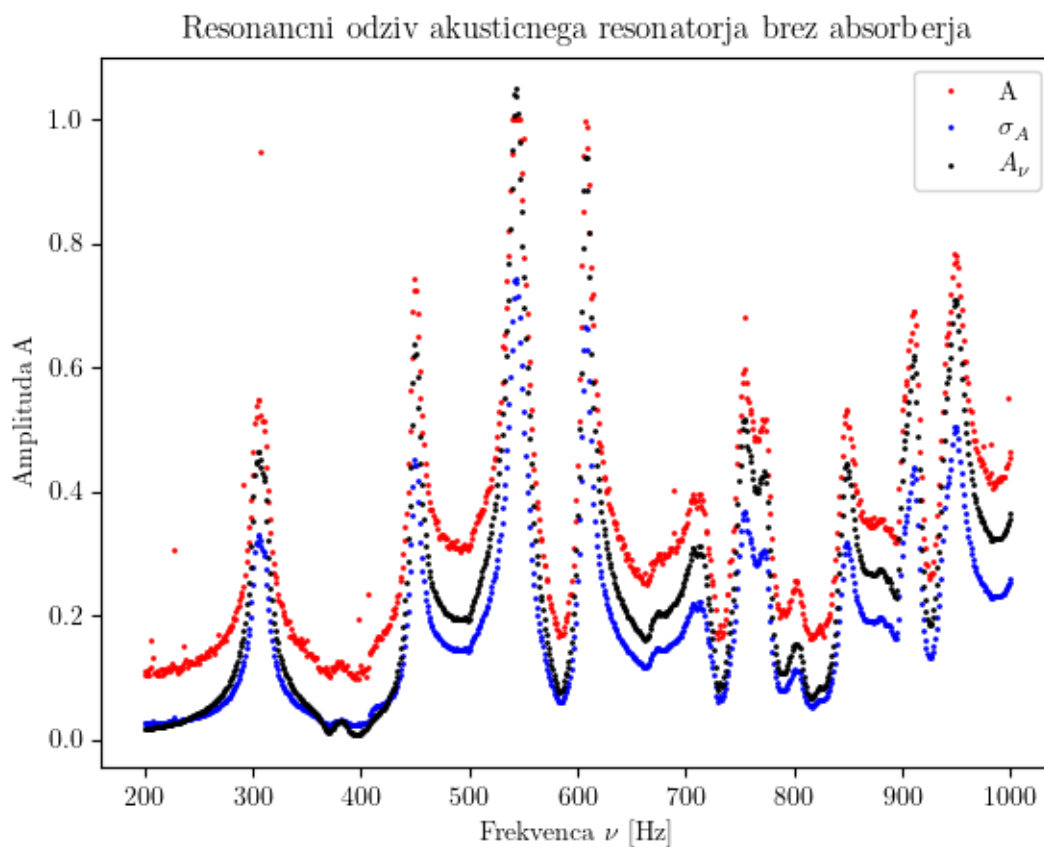
Meritev izmerimo s pomočjo programa, ki shrani 4 vrednosti: generirano frekvenco, amplitudo, standardno deviacijo amplitude in amplitudo odziva s pomočjo t.i. sinhronne detekcije (ang. lock-in detection). Tako zvočni profil kot resonančni odziv izmerimo s pomočjo tega programa.

Meritve in izračunane vrednosti

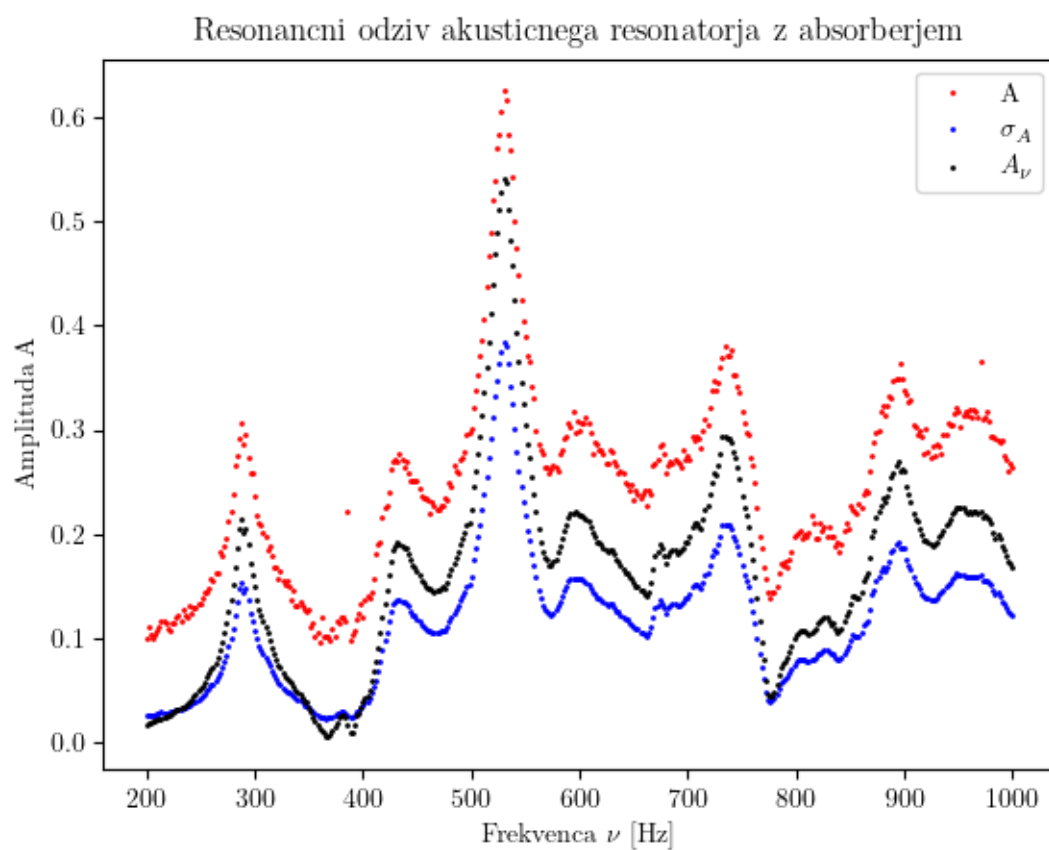
Izmerjene in izračunane so bile naslednje vrednosti

\vec{n}	$\nu_{izr}[Hz]$	$\nu_{izm}[Hz]$	A	σ_A	A_ν
(1, 0, 0)	299.82	308	0.53	0.32	0.43
(2, 0, 0)	599.65	607	0.93	0.62	0.88
(3, 0, 0)	899.47	911	0.71	0.42	0.62
(0, 1, 0)	441.56	450	0.72	0.45	0.64

Resonančni odziv



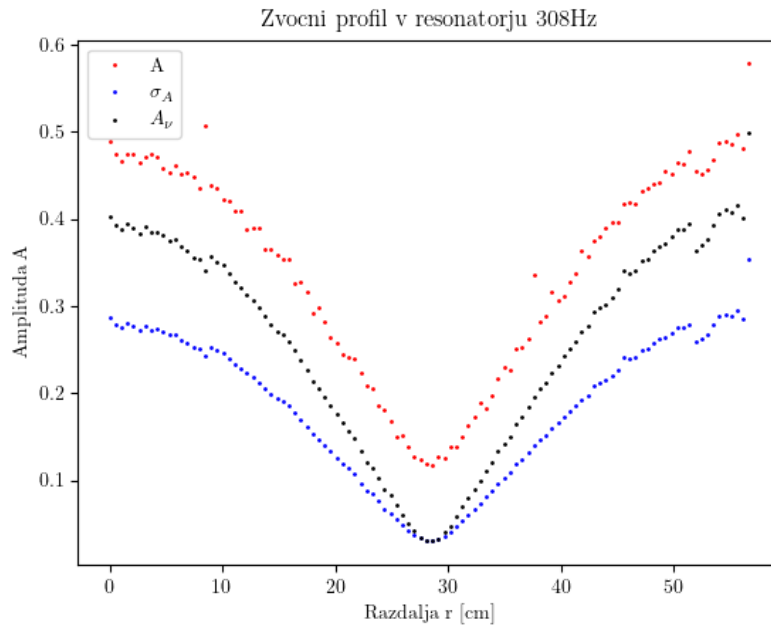
Slika 1: Graf prikazuje resonančni odziv akustičnega resonatorja brez absorberja za frekvence med 200 in 1000 Hz.



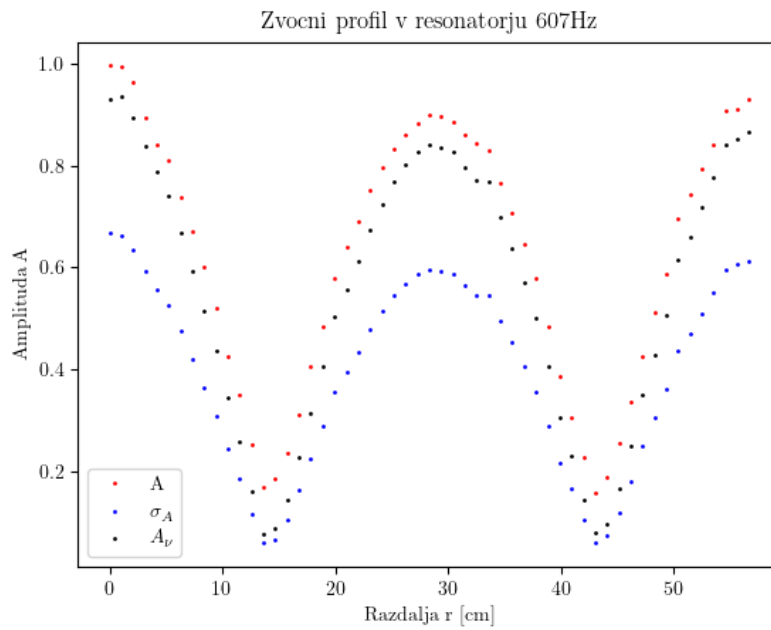
Slika 2: Graf prikazuje resonančni odziv akustičnega resonatorja z absorberjem (črno blago) za frekvence med 200 in 1000 Hz .

Če primerjamo grafa 1 in 2 vidimo, da ima graf 2 manjšo amplitudo in bolj sploščene vrhove pri resonancah.

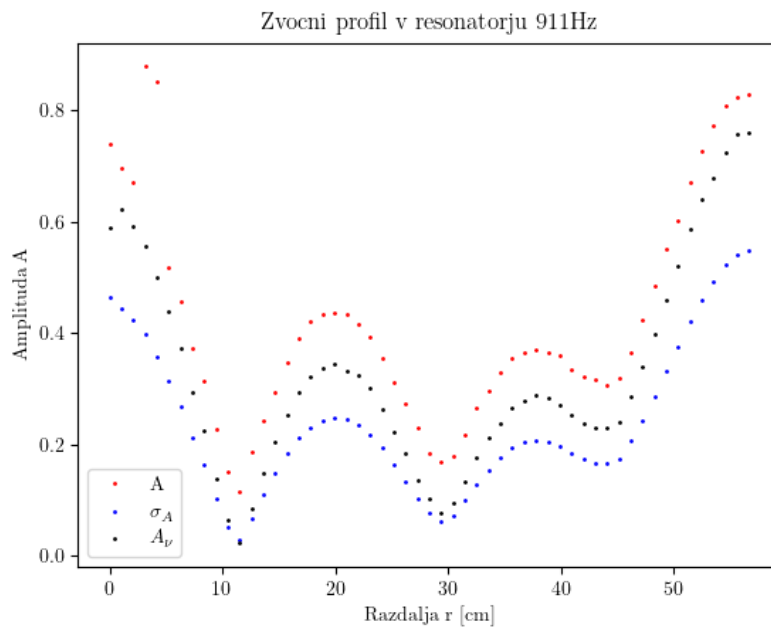
Zvočni profil



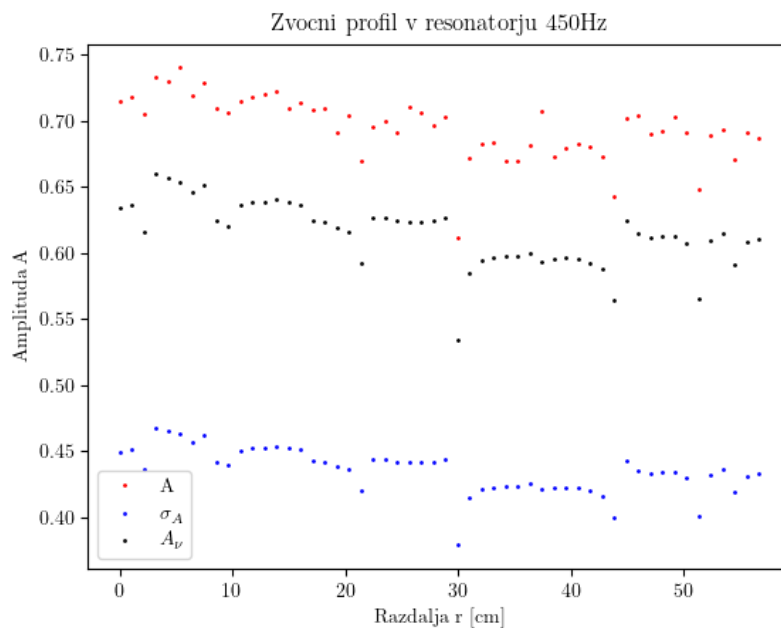
Slika 3: Graf prikazuje zvočni profil v resonatorju pri frekvenci 308Hz



Slika 4: Graf prikazuje zvočni profil v resonatorju pri frekvenci 607Hz



Slika 5: Graf prikazuje zvočni profil v resonatorju pri frekvenci 911Hz



Slika 6: Graf prikazuje zvočni profil v resonatorju pri frekvenci 450Hz

Na grafih opazimo, da amplituda v odvisnosti od frekvence pade ponekod na skoraj 0. Naš akustični resonator je v zaprta piščal, ki smo jo obravnavali pri predavanjih Klasične fizike in tam, kjer je amplituda skoraj 0, je t.i. vozle.

Na grafu 6 ni vidnega vozla, saj je zvočni profil narejeno v x smeri (po daljši stranici, horizontalno). Da bi se pri tej resonančni krivulji dobili podoben graf ostalim, bi moral zvočni profil narediti po drugi dimenziji - v globino ali pa v širino.

Hitrost zvoka in ocena razpolovne širine

Iz formule 5 izrazimo hitrost in dobimo sledečo enačbo:

$$c = \frac{2\nu}{\sqrt{\left(\frac{n_x}{A}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{B}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{C}\right)^2}} \quad (6)$$

$\nu[Hz]$	$c[m/s]$	$napaka[m/s]$
308	349.3	0.6
607	344.2	0.6
911	344.4	0.6

Izračunamo povprečno hitrost zvoka, ki je $c = 345.9m/s \pm 3.3m/s$.

Pri resonančni črti izračunamo polovično vrednost maksimalne amplitude in pri tej vrednosti pogledamo, kako širok je val, delimo z 2 in s tem dobimo razpolovno širino resonančnih črt.

$\nu[Hz]$	$\Delta\nu \pm 1[Hz]$
308	13.5
450	11.5
542	16
607	9