

## 16. Garso greičio ore tyrimas Kundto vamzdžiu

### Užduotis

1. Sužadinti dviejų dažnių stovinčiasias garso bangas Kundto vamzdyje ir išmatuoti jų ilgi.
2. Rasti garso greitį ore ir palyginti su jo vertėmis, pateiktomis informacijos šaltiniuose
3. Grafiškai pavaizduoti nuokrypio stovinčiojoje bangoje pasiskirstymą Kundto vamzdyje.

### Pagrindiniai teoriniai klausimai

1. Dalelių greičių pasiskirstymas sklindančios ir stovinčios bangų atvejais.
2. Bangos fazės pokytis jai atsispindint nuo dviejų medžiagų ribos.
3. Akustinis rezonansas.

### Tyrimo metodika

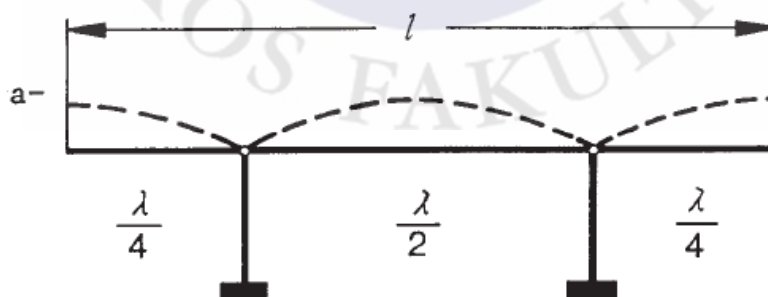
Kundto vamzdis laboratorijoje – tai ant stovų gulsčiai pritvirtintas stiklinis cilindras, kuriame stovinčiųjų garso bangų savybes galima tirti dviem būdais:

1. Bangas vamzdyje sukelti plieniniu strypu, jį patrynus šiurkščia medžiaga, ir liniuote matuojant vamzdyje esančių miltelių pasiskirstymo periodiškumą;
2. Viename vamzdžio gale sužadinant garso bangas, kai periodinės elektros srovės generatoriaus įtampa tiekama pjezoelektriniam elementui, ir vamzdyje stumdomu mikrofону registruojant garsinio signalo pasiskirstymą išilgai vamzdžio (mikrofono padėtis matuojama liniuote).

Mechaninio generatoriaus metaliniame strypelyje sužadinus mechaninius virpesius, kurių savitasis dažnis yra  $f$ , garso greitis  $u$  ir bangos ilgis  $\lambda$  bus susieti taip:

$$u = f\lambda. \quad (1)$$

Išilginių metalinio strypelio svyravimų rezonansinis bangos ilgis  $\lambda$  yra lygus strypelio ilgiui. Eksperimentui parengtoje įrangoje  $\lambda = l = 160$  cm.



1. pav. Išilginiai svyravimai mechaninio generatoriaus strypelyje.

Kai su tokiu generatoriumi tvirtai susieta plokštelė viename iš vamzdžio galų sukelia to paties dažnio garso bangas, jų greitis vamzdyje esančiame ore

$$v = f\lambda_0, \quad (2)$$

kur  $\lambda_0$  yra bangos ilgis. Jis yra dukart didesnis nei atstumas tarp vamzdyje susidariusios stovinčiosios garso bangos mazgų. Atstumą tarp mazgų galima išmatuoti pagal vamzdyje esančių smulkių dalelių (sausos pataisų sporos, smulkios kamštinės medžiagos drožlės) periodinį pasiskirstymą, kai vamzdyje susidaro stovinčioji banga. Sąlygos stovinčiajai bangai vamzdyje susidaryti parenkamos keičiant oro stulpo vamzdyje ilgį antrąjį jo galą uždarančia išilgai vamzdžio stumdama sklende. Reikia pasirinkti tokią sklendės padėtį, vamzdyje esančių dalelių periodinis pasiskirstymas būtų ryškiausias. Išmatavus liniuote atstumą  $L$  tarp taip suformuotų "mazgų", randamas garso bangos ilgis  $\lambda_0 = 2L$ .

Laikydami, kad žinome garso greitį metale  $u$ , ir remdamiesi (1) ir (2) lygtimis gauname, kad garso bangos greitis ore yra lygus:

$$v = u \frac{\lambda_0}{\lambda} = u \frac{2L}{l}. \quad (3)$$

### Tyrimo eiga

Darbo priemonės, naudojamos garso bangų sužaditimui Kundto vamzdyje mechaniniu generatoriumi, yra parodytos 2 pav. Mechaninių virpesių generatorius (ilgis 160cm) yra plieninis strypelis, tvirtai sujungtas su apvaliomis plokštelėmis, įtvirtintomis per 40 cm atstumu nuo jo galų. Vamzdis užpildomas sukiojant žarnelę, kurioje yra kamštinės medžiagos miltai arba pataisų sporos. Kamštinės medžiagos miltai ir stiklinis vamzdis turi būti kiek įmanoma sausi.

Tolygiai pasukite Kundto vamzdį apie ašį, kad kamštinės medžiagos ar pataisų sporų miltai pakiltų nuo apačios ir kuo tolygiau prikibtų prie jo sienelių. Generatoriaus strypu iš lėto traukite veltinio audeklą, kurio paviršius padengtas kanifolijos milteliais, iki tol, kol pasigirs aiškus, stiprus garsas. Jei reikia, vibracijų generatoriaus strypas prieš nuvalykite gabalėliu audinio, suvilgyto metilo spirite. Stikliniame vamzdyje sugeneravus stovinčiąsias bangas, kamštinės medžiagos miltai, kurie buvo prikibę prie vamzdžio senelių, nukris į apačią, sudarydami pusapskritimines girliandas tose vietose, kur oro judėjimas bus intensyviausias (pūpsniuose). Derinimo rankenėlę (paslankųjį stūmoklį) pastumdant maždaug 1cm ruože pasiekama, kad susiformuotų ryškiausias dalelių pasiskirstymo vaizdas. Atstumas tarp stovinčiosios bangos mazgų yra matuojamas liniuote. Išmatuokite ir oro temperatūrą, kuri bus reikalinga įvertinant garso greitį.

Garso bangų greitis idealiose dujose gali būti apskaičiuotas pagal formulę:

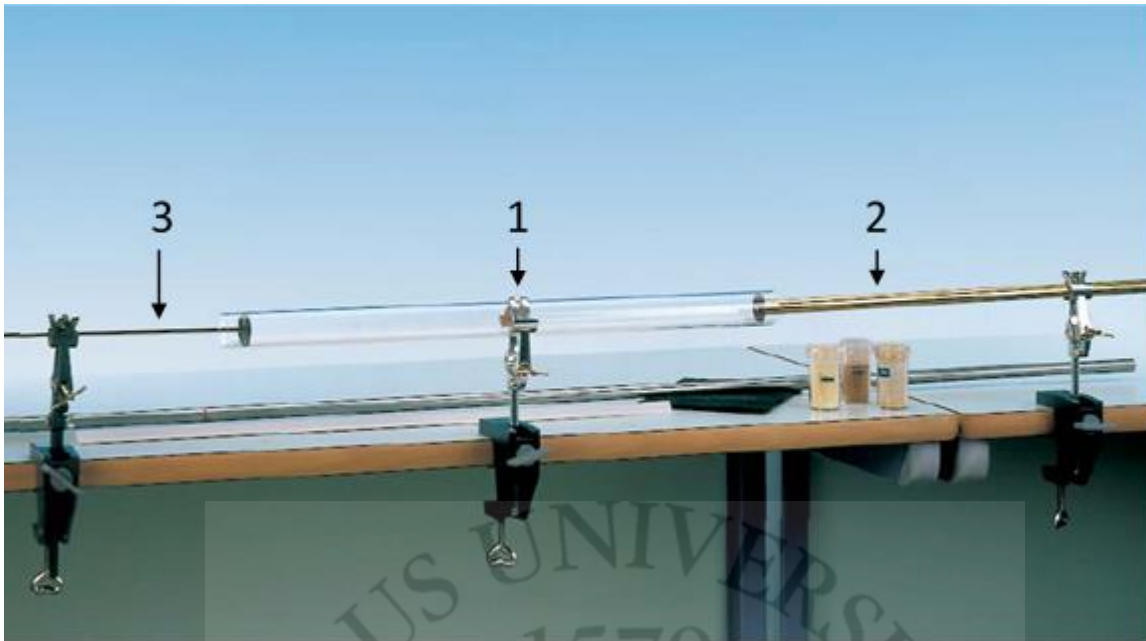
$$v = \sqrt{\gamma \frac{R}{M} T}. \quad (4)$$

Čia  $\gamma = 1,4$  yra adiabatės rodiklis - savitųjų šilumų esant pastoviam jų slėgiui ir pastoviam tūriui santykis dviatomėms dujoms, kas yra labai artima orui, kurio sudėtį lemia dviatomiai deguonis ir azotas,  $R = 8,31 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$  - universalioji konstanta.

Įrašę į (4) vidutinę oro molio masę  $M = 0,029 \text{ kgmol}^{-1}$ , gauname garso greičio priklausomybės nuo oro absoliučios temperatūros  $T$  išraišką:

$$v = 20\sqrt{T}. \quad (5)$$

Laboratorijoje išmatavę oro temperatūrą Celsijaus temperatūrų skalės laipsniais  $t$  ir pavertę ją Kelvino temperatūrų skalės laipsniais  $T = t + 273$ , suskaičiuojame garso bangų greitį ir palyginame su šiame darbe išmatuota verte.



2 pav. Darbo priemonės garso bangos ilgių ore ir metale santykiui matuoti: vamzdis, kuriame susidaro stovinčioji banga (1), metalinis strypas virpesiams sužadinti (2), antrąjį vamzdžio galą uždaranti judama sklendė (3).

Analogiškus matavimus siūloma atlikti kitu būdu. Jo schema yra iš esmės ta pati, kaip ir 2 pav., tik dešiniajame to vamzdžio gale garso bangas sužadina pjezoelektrinis elementas, maitinamas periodinės elektros srovės generatoriaus. Eksperimentui rekomenduojama pasirinkti 600 Hz ir 1 kHz dažnius. Garsinių svyravimų amplitudės pasiskirstymas yra tiriamas išilgai vamzdžio stumdomu mikrofonu, prijungtu prie oscilografo. Didžiausios ir mažiausios garsinių svyravimų amplitudės vietos yra įvertinamos pagal oscilografu vizualizuojamo signalo dydį, o atstumas tarp tų vietų  $L$  randamas matuojant šalia vamzdžio esančia liniuote. Tada garso greitis ore gali būti apskaičiuotas remiantis tik (2) formule:

$$u = 2fL. \quad (6)$$

Pasiruošdami matavimams patikrinkite, ar viskas sujungta teisingai: virpesių generatorius *PeakTech 4055* turi būti prijungtas prie garsiakalbio (80  $\Omega$ , 4 W, didžiausia įtampa 5.5 V), t.y. generatoriaus išėjime *OUTPUT* įjungtas šakotuvas į jį įjungti du laidai, kurie kitame gale jungiasi į garsiakalbio nugarėlėje esančius lizdus, bet kokia tvarka; stūmoklis su mikrofonu yra vamzdyje; mikrofono laidas sujungtas su stiprintuvu; į stiprintuvą įkištas šakotuvas, o į šakotuvą - laidas, kuris kitame gale jungiasi į oscilografo *PeakTech 1265 X* įėjimą *CHI*.

Ijungiame virpesių generatorių, paspaudę mėlyną apvalų mygtuką, esantį valdymo skydelio kairiame apatiniame kampe. Jeigu iškart atsiranda garsas, reikia paspausti *FUNCTION* skydelio mygtuką *Output*, kad šis nebešviestų žaliai.

Signalu reguliavimui pasirinkite dažnį tarp 1 – 2 kHz, tada *FUNCTION* skydelyje mygtuką *Freq\Period* paspauskite kelis kartus - tol, kol jis švies žaliai, ir prie kairiojo ekrano skaičiaus bus dažnio dimensija (kHz). Nustatykite tą dažnį su *ADJUST* ratuku ir po juo esančiais mėlynais ženklo keitimo mygtukais. Jeigu viršuje kairėje nėra periodinio sinusinio signalo simbolio (~), tai paspauskite *Shift* ir *Freq\Period* po vieną kartą. Signalu amplitudė turi būti 1V (tai 1.000 Vpp), o jeigu taip nėra, spauskite *Ampl\Atten* ir reguliuokite taip pat, kaip dažnį. Signalu amplitudė neturėtų viršyti 5,5 V, nes tai yra maksimali įtampa, kuri, anot gamintojų, dar nesugadina garsiakalbio.

Paspaudžiame mygtuką *Output*. Ijungiame stiprintuvą. Ijungiame oscilografą (mygtukas yra jo viršuje). Jeigu viskas sureguliuota teisingai, turėtumėte matyti periodinį sinusinį signalą. Linija yra raudonos spalvos. Jeigu matote daugiau linijų arba visai nematote jų, tai kelis kartus spauskite

raudoną *CH1* ir geltoną *CH2* mygtukus, kol pamatysite gerą vaizdą. Langeliai ekrano apačioje turėtų būti tokiose padėtyse: *Coupling - AC, Inverted - OFF, Probe - X1*. Tas padėtis galima keisti po jais arba šalia jų esančiais mygtukais *H1, H2...*, *F1, F2*. Jeigu signalo amplitudė rodoma per maža arba per didelė, tai naudokite *VOLTS/DIV* ratuką, esantį virš *CH1* (*X* kanalo), o jeigu vaizdas per siauras arba per platus, tai naudokite *SEC/DIV* ratuką, esantį virš *EXT TRIG* kontakto.

Matavimų pradžioje stūmoklis prigludžiamas prie garsiakalbio, o po lėtai traukiamas nuo jo. Ieškome didžiausio garso sustiprėjimo vietų, klausydamiesi garso ir žiūrėdami į oscilografo ekraną, kur amplitudė yra didžiausia. Visas sustiprėjimų vietas (oro tarpo vamzdyje ilgius) išmatuojame liniuote ir užrašome darbo žurnale. Įvertinę atstumą tarp jų, apskaičiuojame dydį *L* ir, žinodami generatoriaus dažnį *f*, pagal (6) formulę apskaičiuojame garso bangų greitį ore.

Papildomas eksperimentas: stūmoklį pastatome fiksuotu, tarkim, 30cm atstumu nuo garsiakalbio, ieškome visų rezonansinių dažnių intervale nuo 500Hz iki 3000Hz, tuos dažnius užrašome darbo žurnale ir apskaičiuojame garso greitį ore.

Gautus garso greičio matavimo rezultatus palyginkite su vertėmis, pateiktomis fizikos žinynuose ir apskaičiuotomis pagal (5) formulę.

### Paklaidų įvertinimas

Nustatant garso greitį pagal (6) formulę, jo paklaidą lemia tik garsinių virpesių generatoriaus dažnio ir atstumo tarp stovinčiųjų garso bangų mazgų nustatymo paklaidos:

$$\Delta v = v \sqrt{\left(\frac{\Delta f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2}. \quad (7)$$

### Literatūra:

1. A. Medeišis, „Mechanika, molekulinė fizika, elektra ir magnetizmas. Fizikos praktikumas“, Vilnius, *Vilniaus universiteto leidykla*, 2000, 353 p.
2. A. Matvejevas, „Mechanika ir reliatyvumo teorija“, Vilnius, *Mokslas*, 1982, 334 p.