

# GARSO GREIČIO ORE NUSTATYMAS BANGŲ INTERFERENCIJOS METODU

**Darbo užduotis.** Taikant bangų interferencijos metodą, nustatyti garso greitį ore ir apskaičiuoti oro molinių šilumų  $C_p$  ir  $C_v$  santykį.

**Teorinio pasirengimo klausimai.** Stovinčiųjų bangų gavimas. Garso greitis ore. Molekulės laisvės laipsnių sąvoka. Izochorinė ir izobarinė molinės šilumos.

**Teorinė dalis.** Šiame darbe garso greitį išmatuosime gavę jo stovinčiąsias bangas. Tam viena kryptimi sklindančiai bangai

$$s_1 = s_m \cos(\omega t - kx)$$

interferuojant su priešpriešiais sklindančia tokio pat dažnio ir amplitudės banga

$$s_2 = s_m \cos(\omega t + kx)$$

gaunama „stovinčioji banga“

$$s = s_1 + s_2 = 2s_m \cos kx \cos \omega t ; \quad (1)$$

čia  $s_m$  – sklindančios bangos amplitudė,  $\omega = 2\pi\nu$  – jos ciklinis dažnis,  $k = 2\pi/\lambda$  – banginis skaičius.

(1) lygtis – tai svyravimų lygtis, kurių amplitudė

$$s^* = 2s_m |\cos kx| \quad (2)$$

yra periodinė koordinatės  $x$  funkcija. Taškuose, kurių koordinatė  $x$  tenkina lygtį

$$kx = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, \dots \quad (3)$$

nuokrypio amplitudė yra didžiausia ir lygi  $2s_m$ . Šie taškai vadinami stovinčiosios bangos nuokrypio *pūpsniais*. Taškuose, tenkinančiuose sąlygą

$$kx = \frac{\pi}{2}, 3\frac{\pi}{2}, 5\frac{\pi}{2}, \dots \quad (4)$$

virpesių amplitudė lygi nuliui. Šie aplinkos taškai nevirpa ir juos vadiname stovinčiosios bangos nuokrypio *mazgais*.

Molinė šiluma, lygi šilumos kiekiui, kurį suteikus vienam moliui medžiagos jos temperatūra pakyla vienu laipsniu. Dujoms ji labai priklauso nuo jų molekulių sudėtingumo ir nuo proceso, kurio metu suteikiama šiluma, pobūdžio.

Molekulės sudėtingumas susietas su ją sudarančių atomų skaičiumi ir apibūdinamas molekulės *laisvės laipsnių skaičiumi*. Pastarasis lygus koordinačių skaičiui, reikalingam nusakyti molekulės padėtį erdvėje. Vienatomę molekulę galima laikyti materialiuoju tašku. Jos padėtį nusakome trimis koordinatėmis ( $x, y, z$ ), kurios kinta molekulei slenkant, todėl ji turi 3 *slenkamojo judėjimo* laisvės laipsnius.

Dviatomės *kietojo* ryšio molekulės erdvinė padėtis apibūdinama 5 koordinatėmis: trys jų ( $x, y, z$ ) nusako molekulės masės centro padėtį ir du kampai ( $\alpha, \beta$ ) su koordinačių ašimis – jos ašies orientaciją. Pastaroji kinta molekulei sukantis, todėl tokia molekulė turi 3 *slenkamojo* ir 2 *sukamojo judėjimo* laisvės laipsnius. Kai ryšys tarp atomų yra *tamprus*, tai tokia molekulė turi dar vieną *virpamojo judėjimo* laisvės laipsnį. Triatome erdvinė struktūra pasižyminti molekulė turi ne mažiau kaip 6 laisvės laipsnius.

Molekulinėje fizikoje įrodoma, kad *kiekvienam* laisvės laipsniui vidutiniškai tenka  $\frac{1}{2}kT$  kinetinės energijos (čia  $k$  Bolcmano konstanta). Tačiau virpėjimo laisvės laipsniui vidutiniškai dar tiek pat ( $\frac{1}{2}kT$ ) tenka potencialinės energijos. Todėl molekulinės fizikos energetinėse lygtyse molekulės sudėtingumas apibūdinamas dydžiu

$$i = (3 + n_{suk} + 2n_{virp}) ; \quad (5)$$

čia 3 – molekūlės slenkamojo,  $n_{suk}$  – sukamojo ir  $n_{virp}$  – virpamojo judėjimo laisvės laipsnių skaičius. Kai tarp atominių ryšių molekulėje yra kietas ( $n_{virp} = 0$ ), tuomet  $i$  lygus molekūlės laisvės laipsnių skaičiui.

Dujoms ypač svarbi *izochorinė* (pastovaus tūrio) molinė šiluma  $C_V$  ir *izobarinė* (pastovaus slėgio) molinė šiluma  $C_p$ . Molekulinėje fizikoje parodoma, kad  $C_V = \frac{i}{2}R$ ,  $C_p = \frac{i+2}{2}R$ , todėl

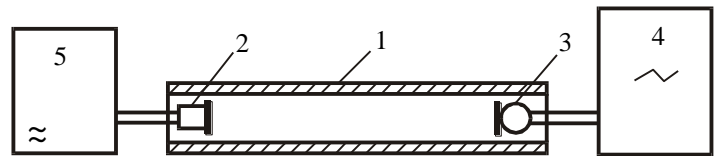
$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i} . \quad (6)$$

Oras, kaip ir visos dujos, pasižymi tik tūriniu tamprumu, todėl garso bangos yra išilginės. Jas sudaro periodiškai besikaitaliojantys oro sutankėjimai ir praretėjimai, kurie nuolat tolsta nuo garso šaltinio. Sutankėjimo vietose temperatūra pakyla, praretėjimo – sumažėja. Dėl mažo oro šilumos laidumo šie sutankėjimo ir praretėjimo procesai, galima sakyti, vyksta be šilumos mainų, t.y. *adiabatiškai*. Adiabatinį procesą aprašo *Puasono* lygtis  $pV^\gamma = const$  ir garso bangų greitį ore apibūdina *adiabatinis tūrio tamprumo modulis*  $K = \gamma p$ . Todėl garso greitis ore

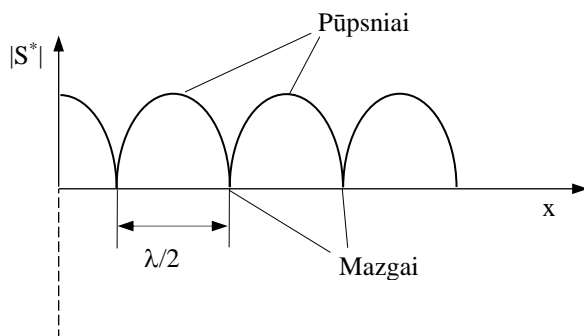
$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}} ; \quad (7)$$

čia  $M \cong 29,2 \cdot 10^{-3}$  kg/mol – oro vieno molio masė,  $\rho$  – oro tankis;  $R$  – universalioji dujų konstanta.

**Darbo aprašymas.** Laboratorinio darbo įrenginio principinė schema parodyta 1 paveiksle. Ją sudaro tiesus stiklinis akustinis vamzdis 1, kurio viename gale įtaisytas garsiakalbis 2, o antrajame – mikrofonas 3. Jų membranos yra lygiagrečiose plokštumose. Mikrofonas prijungtas



1 pav.



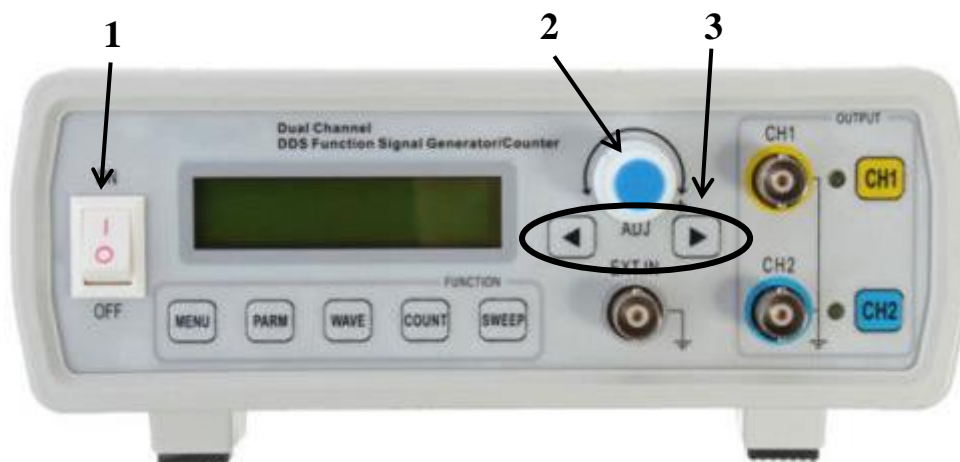
2 pav.

Mikrofonas ne tik pasyviai atspindi garso bangas, bet ir akustinius virpesius transformuoja į elektrinius: jei mikrofonas yra stovinčiosios bangos slėgio pūpsnyje, gauname didžiausią elektrinių virpesių amplitudę, jei mazge – mažiausią (2 pav.). Atstumas tarp dviejų gretimų pūpsnių (arba mazgų) lygus pusei sklindančiosios bangos ilgio ( $\lambda/2$ ). Tuo naudojamosi matuojant bangos ilgį.

1. Gerai susipažįstame su naudojamais įrenginiais, juos įjungiamo į elektros tinklą, paruošiamo darbui GDG bei kompiuterį

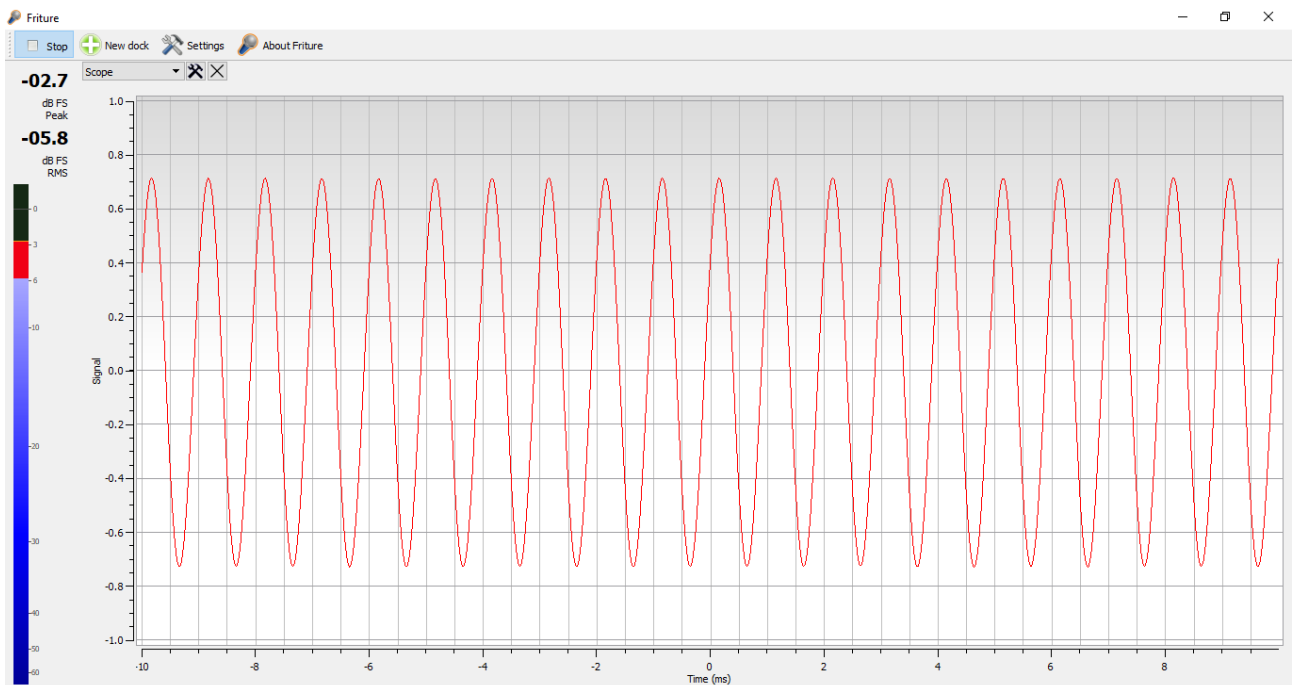
Įjungus generatorių automatiškai pradedamas generuoti 1 kHz sinusinės formos signalas. Rekomenduojama pasikeisti indikuojamo signalo dažnio daugiklį (Hz, kHz ar MHz) į kHz (jei

prie kompiuterio 4. Prie garsiakalbio prijungtas garsinių dažnių generatorius (GDG) 5, todėl generuojamos akustinės bangos sklinda vamzdžiu. Kaip ir kiekvienam kūniui, taip ir membranų ribojamam oro stulpui būdingi tam tikri virpesių savieji dažniai. Garso bangos ore mažai slopsta, todėl jos, atsispindėjusios nuo mikrofono membranos, sklinda priešinga kryptimi. Kai tarp garsiakalbio ir mikrofono membranų yra tam tikras nuotolis, vamzdyje gaunamos *stovinčiosios bangos*.



iškart nėra indikuojama kHz). Tam reikia du kartus paspausti dažnio keitimo rankenėlę 2. Mygtukais 3 keičiama dažnio nustatymo žymeklio padėtis. Rankenėle 2 keičiama dažnio nustatymo žymekliu parinkta dažnio vertės skiltis.

Garsiakalbio skleidžiamo garso intensyvumas keičiamas garsiakalbio galinėje dalyje esančia rankenėle.



4 pav.

2. Bandyką pradėti nuo 1 kHz dažnio.
3. Strypą su pritvirtintu mikrofonu atitraukiame netoli dešiniojo akustinio vamzdelio galo.
4. Lėtai stumiame strypą su mikrofonu į kairę ir stebime virpesių amplitudę ekrane. Kai virpesių amplitudė bus didžiausia, mikrofonas bus stovinčios bangos pūpsnyje. Užsirašome jo padėtį milimetrais. Matavimo metu radus stovinčios bangos pūpsnį (maksimalią amplitudę) matoma amplitudė turėtų užimti apie 2/3 viso ekrano (kaip parodyta 4 pav.) aukščio. Jei ekrane matomo signalo viršūnės „apkarpytos“ būtina sumažinti garso intensyvumą ant garsiakalbio esančia rankenėle, kol „apkarpyimo“ efektas išnyks.
5. Toliau lėtai stumiame mikrofona į kairę iki gretimo pūpsnio ir išmatuojame nuotolį tarp dviejų pūpsnių: tai bus  $\lambda_i/2$ . Aprašytus veiksmus atliekame dar esant 1,5 kHz, 2 kHz ir 2,5 kHz dažniams.
6. Iš formulės  $v = \lambda_i f_i$  apskaičiuojame greitį ore.
7. Kelvino skalėje užrašę oro temperatūrą, apskaičiuojame oro molinių šilumų  $C_p$  ir  $C_v$  santykį  $\gamma$  (7 formulė)

8. Apskaičiuojame garso greičio bei molinių šilumų santykio vidutines vertes ir jų standartinius nuokrypius, parodančius kiek vidutiniškai kiekvienas matavimas yra nukrypęs nuo vidutinės vertės.

$$S_v = \sqrt{\frac{\sum (\langle v \rangle - v_i)^2}{n(n-1)}}, \quad S_\gamma = \sqrt{\frac{\sum (\langle \gamma \rangle - \gamma_i)^2}{n(n-1)}}$$

9. Baigus darbą kompiuteris išjungiamas (kelias sekundes palaikius įjungimo/išjungimo mygtuką bei atsiradusiame dialogo lange pasirinkus „OK“).

Matavimo ir skaičiavimų rezultatus surašome į lentelę.

$R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ;		$M = 29,2\cdot 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;		$T = (273 + t) \text{ K}$			
$f_i$ , Hz	$\lambda_i$ , m	$v_i$ , m/s	$\langle v \rangle$ , m/s	$\gamma_i$	$\langle \gamma \rangle$	$S_v$ , m/s	$S_\gamma$

### Kontroliniai klausimai

1. Ar visuomet garso bangų sklidimas yra adiabatinis ?
2. Kas yra stovinčioji banga ir kaip ji gaunama ?
3. Ar garso greitis ore priklauso nuo jo dažnio ?
4. Kokius laisvės laipsnius ir kiek jų turi dviatomė dujų molekulė?
5. Kam būtų lygus vienatomių dujų molinių šilumų  $C_p$  ir  $C_v$  santykis ?