

## GARSO GREIČIO ORE NUSTATYMAS BANGŲ INTERFERENCIJOS METODU

Tadas Laurinaitis, IFF – 6/8

Data: 2017 – 05 – 23

Dėstytojas: lekt. Marius Kaminskas

**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 erdvine struktūra pasižyminti molekulė turi ne mažiau kaip 6 laisvės laipsnius.

## GARSO GREIČIO ORE NUSTATYMAS BANGŲ INTERFERENCIJOS METODU

Tadas Laurinaitis, IFF – 6/8

Data: 2017 – 05 – 23

Dėstytojas: lekt. Marius Kaminskas

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 potencinės energijos. Todėl molekulinės fizikos energetinėse lygtyse molekulės sudėtingumas apibūdinamas dydžiu

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

čia 3 – molekulės slenkamojo,  $n_{suk}$  – sukamojo ir  $n_{virp}$  – virpamojo judėjimo laisvės laipsnių skaičius. Kai tarpatominis ryšys molekulėje yra kietas ( $n_{virp} = 0$ ), tuomet  $i$  lygus molekulės 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

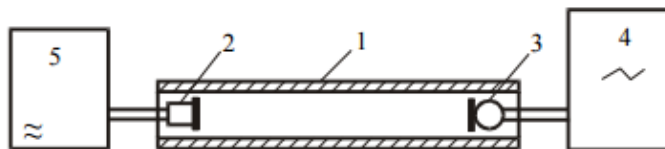
$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i} . \quad (6)$$

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 telefonas 2, o antrajame – mikrofonas 3. Jų membranos yra lygiagrečiose plokštumose. Mikrofonas prijungtas



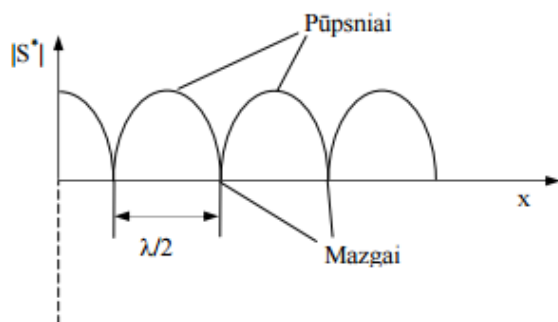
1 pav.

## GARSO GREIČIO ORE NUSTATYMAS BANGŲ INTERFERENCIJOS METODU

Tadas Laurinaitis, IFF – 6/8

Data: 2017 – 05 – 23

Dėstytojas: lekt. Marius Kaminskas

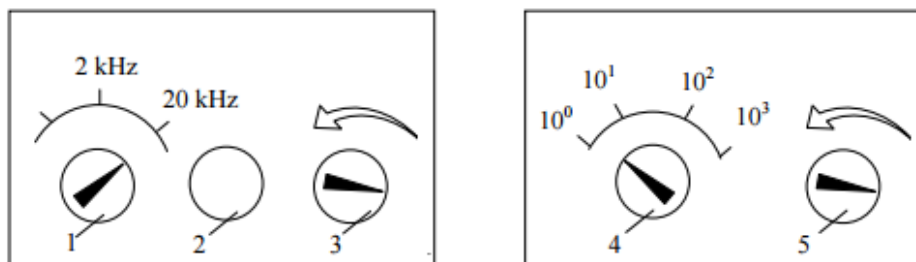


2 pav.

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 įrengimais, juos įjungiamo į elektros tinklą, paruošiamo darbui GDG ir kompiuterį.

Matuojant rankenėlė „dažnio matavimo ribos“ turi būti padėtyje „20 kHz“. Švelniai dažnį galime keisti rankenėle 2. Išėjimo galią keičiamo rankenėle 3 ir 5. Perjungėjas 4 turi būti padėtyje „10<sup>1</sup>“. Įjungiamo kompiuterį ir paleidžiame darbo programą.



3 pav.

2. Bandymą rekomenduojama pradėti nuo 3000 Hz dažnio.
3. Strypą su pritvirtintu mikrofonu atitraukiame netoli dešiniojo akustinio vamzdelio galo.
4. Lėtai stumiame strypą su mikrofonu į kairę ir stebime virpesių amplitudę monitoriuje. Kai virpesių amplitudė bus didžiausia, mikrofonas bus stovinčiosios bangos pūpsnyje. Užrašome jo padėtį.
5. Toliau lėtai stumiame mikrofoną į dešinę iki gretimo pūpsnio ir išmatuojame nuotolį tarp dviejų pūpsnių: tai bus  $\lambda/2$ . Nekeisdami dažnio, tęsiame matavimus dar keletą kartų ir apskaičiuojame bangos ilgio vidurkį.
6. Aprašytus veiksmus atliekame dar esant 2500 Hz, 2000 Hz ir 1500 Hz dažniams.
7. Iš formulės  $v = \lambda \cdot \nu$  apskaičiuojame greitį ore.
8. Kelvino skalėje užrašę oro temperatūrą, apskaičiuojame oro molinių šilumų  $C_p$  ir  $C_v$  santykį  $\gamma$  (iš 7 formulės)

## GARSO GREIČIO ORE NUSTATYMAS BANGŲ INTERFERENCIJOS METODU

Tadas Laurinaitis, IFF – 6/8

Data: 2017 – 05 – 23

Dėstytojas: lekt. Marius Kaminskas

9. Apskaičiuojame garso greičio bei molinių šilumų santykio vidutines vertes ir jų vidutines kvadratinės paklaidas.

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

Matavimo ir skaičiavimų rezultatus surašome į lentelę.

$R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1};$		$M = 29,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1};$		$T = (273 + t) \text{ K}$			
$v_i,$ 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 vienaatomių dujų molinių šilumų  $C_p$  ir  $C_v$  santykis ?

### Literatūra

1. Tamašauskas A. Fizika. – Vilnius: Mokslas, 1987. – I d. – 131-133 p.
2. Ambrasas V., Jasilionis B. Mechanika, molekulinė fizika ir termodinamika. – Kaunas: Technologija, 2008.

### Tyrimo rezultatų lentelė:

$R = 8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \quad M = 29.2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol} \quad T = (273 + 22) \text{ K} = 295 \text{ K}$							
$v_i, \text{ kHz}$	$\lambda_i, \text{ m}$	$v_i, \text{ m/s}$	$\langle v \rangle, \text{ m/s}$	$\gamma_i$	$\langle \gamma \rangle$	$S_v, \text{ m/s}$	$S_\gamma$
1.0	0.336	336	348.5	1.34	1.4425	6.06	0.05
1.5	0.23	345		1.41			
2.0	0.174	348		1.44			
2.5	0.146	365		1.58			

### Išvada: