

5. Skladanie kolmých kmitov

Autor pôvodného textu: **Drahošlav Barančok**

Úloha: Pomocou akustického interferometra určiť rýchlosť šírenia zvuku vo vzduchu pri izbovej teplote.

Teoretický úvod

Akustický interferometer (obr. 5.2) sa skladá zo zdroja akustickej frekvencie, reproduktora, mikrofónu a osciloskopu. Lúč osciloskopu je vo vertikálnom smere vychýľovaný priamo signálom zo zdroja, v horizontálnom smere signálom prichádzajúcim z mikrofónu, ktorého vzdialenosť od reproduktora možno plynulo meniť. Zmenou vzdialenosti sa mení vzájomné fázové posunutie kmitania lúča v horizontálnom a vertikálnom smere, takže na obrazovke osciloskopu vidíme skladanie dvoch navzájom kolmých kmitavých pohybov, s možnosťou meniť ich fázový rozdiel.

Ak na horizontálne a na vertikálne vychýľovacie platničky osciloskopu privádzame sínusové napätie rovnakej uhlovej frekvencie ω , výchylky lúča v horizontálnom a vertikálnom smere opisujeme vzťahmi:

$$x = x_0 \sin(\omega t + \varphi_1) \quad (5.1)$$

$$y = y_0 \sin(\omega t + \varphi_2)$$

kde x_0 a y_0 sú amplitúdy kmitavého pohybu a φ_1 a φ_2 fázové konštanty (začiatočné fázy). Tvar obrazca na obrazovke závisí od rozdielu fáz $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$. Ak $\Delta\varphi = k\pi$, kde $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, rovnice (5.1) nadobudnú tvar

$$x = x_0 \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$y = y_0 \sin(\omega t + \varphi_1 - k\pi) = \pm y_0 \sin(\omega t + \varphi_1).$$

Podielom týchto dvoch rovníc je rovnica priamky:

$$y = \pm \frac{y_0}{x_0} x. \quad (5.2)$$

Obrazec na obrazovke má v tomto prípade tvar naklonenej úsečky, ktorej smernica má hodnotu (y_0 / x_0) .

Ak $\Delta\varphi = (2k + 1) \pi/2$, kde k je opäť celé číslo, potom rovnice (5.1) nadobudnú tvar

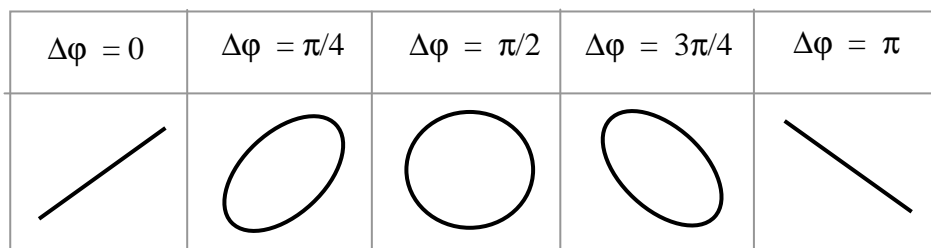
$$x = x_0 \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$y = y_0 \sin[\omega t + \varphi_1 - (2k + 1)(\pi/2)] = \pm y_0 \cos(\omega t + \varphi_1).$$

Umocnením a sčítaním týchto rovníc, po menšej úprave, dostaneme rovnicu elipsy, ktorej osi sú rovnobežné so súradnicovými osami:

$$\frac{x^2}{x_o^2} + \frac{y^2}{y_o^2} = 1 . \quad (5.3)$$

Pri iných fázových rozdieloch majú obrazce tvar elipsy s osami, ktoré už nie sú rovnobežné so súradnicovými osami. Niektoré špeciálne prípady obrazcov, keď amplitúdy x_o a y_o sú rovnaké, sú uvedené na nasledujúcom obrázku 5.1 :



Obr. 5.1

Metóda merania

Z reproduktora vychádza zvuková vlna, ktorú budeme v hrubom priblížení považovať za rovinnú. Potom rovnicu, ktorá vyjadruje akustickú výchylku $u(z, t)$ ako funkciu času t a vzdialenosti z od reproduktora, napíšeme v tvare

$$u = u_o \sin(\omega t - kz), \quad (5.4)$$

kde u_o je amplitúda vlny, ω jej uhlová frekvencia, $k = (2\pi/\lambda)$ je uhlové vlnové číslo vlny a λ jej vlnová dĺžka. Uhlová frekvencia vlny $\omega = 2\pi f$ je 2π - násobkom frekvencie f striedavého napätia, ktoré je zo zdroja privádzané na reproduktor. Medzi frekvenciou f , vlnovou dĺžkou λ a rýchlosťou v šírenia sínusovej zvukovej vlny platí vzťah

$$v = \lambda f \quad (5.5)$$

a tak rovnicu (5.3) môžeme zapísať aj v tvare

$$u = u_o \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} z\right) = u_o \sin\left(\omega t - \frac{2\pi f}{\lambda f} z\right) = u_o \sin\left[\omega\left(t - \frac{z}{v}\right)\right] \quad (5.6)$$

V tesnej blízkosti reproduktora, teda v mieste s polohou $z = 0$, akustickú výchylku v súlade s rovnicou (5.4) vyjadríme rovnicou

$$u = u_o \sin(\omega t) .$$

Akustické oscilácie registrujeme mikrofónom, ktorý ich mení na elektrické oscilácie. Predpokladáme, že fázové posunutie sa pri transformácii akustického signálu na elektrický nemení. Ak privedieme napájacie napätie reproduktora na vertikálnu os osciloskopu a výstup z mikrofónu na horizontálnu os, na obrazovke pozorujeme skladanie dvoch navzájom kmitavých pohybov. Pozorované interferenčné obrazce zodpovedajú fázovému rozdielu obidvoch kmitavých pohybov. Možno nájsť takú vzdialenosť z_1 mikrofónu od reproduktora, pri ktorej pozorujeme napríklad sklonenú úsečku (ľavý krajný obrázok). Pri postupnom vzdďalovaní mikrofónu od reproduktora vzniknú aj ďalšie obrazce z obrázku 5.1., až vo vzdialenosti z_2 sa opäť objaví pôvodná úsečka. Vtedy sa fáza výstupného signálu

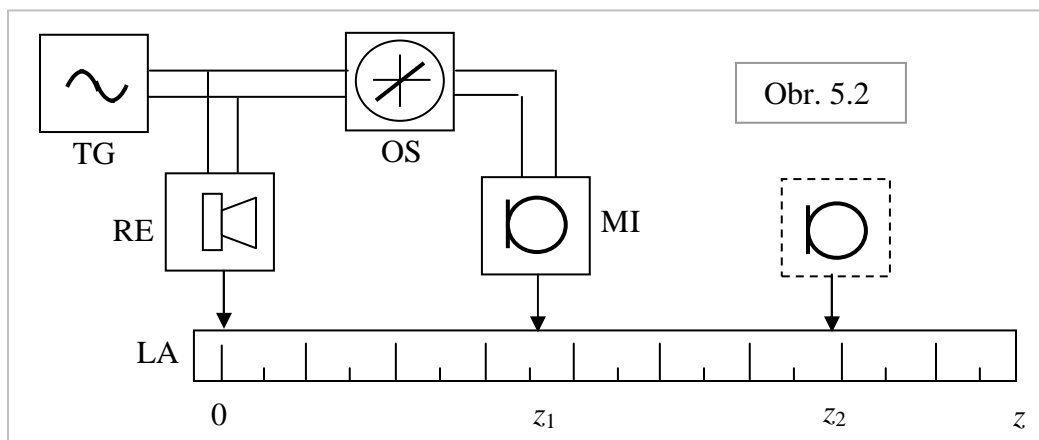
z mikrofónu zmenila práve o 2π , a teda rozdiel $z_2 - z_1$ sa rovná vlnovej dĺžke zvuku, ako vyplýva z nasledujúcej úpravy:

$$\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} z_1\right) - \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} z_2\right) = 2\pi \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda}(z_2 - z_1) = 2\pi \Rightarrow (z_2 - z_1) = \lambda$$

To znamená, že zmeraním vzdialenosti $d = z_2 - z_1$ určíme vlnovú dĺžku akustickej vlny a pomocou vzťahu (5.5) aj rýchlosť v jej šírenia, ak frekvenciu f generátora poznáme.

Opis aparatury a postup pri meraní

Akustický interferometer je nakreslený na obrázku 5.2. Celé zariadenie sa skladá z tónového generátora TG, osciloskopu OS, reproduktora RE, mikrofónu MI a lavice LA, na začiatku ktorej je umiestnený reproduktor a po ktorej sa mikrofón môže posúvať. Reprodukter je napájaný z laditeľného zdroja sínusového napätia akustických frekvencií a je zdrojom akustických vln rovnakej frekvencie. Tieto sa registrujú mikrofónom a ním aj transformujú na elektrické kmity, ktoré sa potom privádzajú na horizontálnu vychýľovaciu sústavu osciloskopu. Na vertikálnu sústavu sa privádza striedavé napätie priamo z tónového generátora.



Praktické meranie spočíva v nájdení vzájomne najbližších polôh mikrofónu, v ktorých sú obrazce na obrazovke osciloskopu rovnaké (napríklad na ľavú stranu naklonená úsečka). Ak chceme vlnovú dĺžku určiť čo najpresnejšie, je potrebné mikrofón posunúť o viac vlnových dĺžok a merať pri väčších vzdialenostiach od zdroja vlnenia. Meriame pri rôznych frekvenciách, v rozsahu asi od 15 kHz po 20 kHz. Namerané hodnoty zapisujeme do tabuľky a zo získaných hodnôt rýchlosti zvuku vypočítame jej aritmetický priemer a smerodajnú odchýlku aritmetického priemeru. Výsledok merania rýchlosti zvuku zapíšeme spolu s neistotou merania.

Nameranú rýchlosť zvuku porovnáme s hodnotou zodpovedajúcou teplote v laboratóriu, ktorú získame zo vzťahu

$$v_t = 331 \sqrt{\frac{T}{T_o}} \text{ m/s}, \quad (5.7)$$

v ktorom $T_o = 273,15 \text{ K}$ a T je termodynamická teplota v laboratóriu.

Meno:

Kružok:

Dátum merania:

Protokol laboratórnej úlohy 5

Skladanie kolmých kmitov

Stručný opis metódy merania:

Vzťahy ktoré sa používajú pri meraní:

Schéma zariadenia:

Prístroje a pomôcky:

Meranie:

Tab. 5.1

	f kHz	z_1 cm	z_2 cm	$z_2 - z_1$ m	$\Delta\varphi / 2\pi$	λ m	v m/s
1							
2							
3							

Aritmetický priemer:

 $v_{\text{nam}} =$ Smerodajná odchýlka aritmetického priemeru: $s =$

Výsledok merania s neistotou merania:

 $v =$

Rýchlosť podľa vzťahu (5.7)

 $v_t =$ **Slovné zhodnotenie výsledkov merania:****Dátum odovzdania protokolu:****Podpis študenta:****Podpis učiteľa:**