

## 5. Skladanie kolmých kmitov

Pomocou akustického interferometra určte rýchlosť šírenia zvuku vo vzduchu pri izbovej teplote.

### TEORETICKÝ ÚVOD

Keď na horizontálnu a vertikálnu vychyľovaciu sústavu osciloskopu privedieme striedavé napätie napríklad sínusového priebehu, na obrazovke môžeme pozorovať obrazce skladania na seba kolmých kmitov. Ak uhlové frekvencie kmitov  $\omega_1$  a  $\omega_2$  ( $f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi}$ ,  $f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi}$  sú frekvencie striedavých napätí) sú rovnaké, rovnice kmitov budú mať tvar

$$\begin{aligned}x &= x_0 \sin(\omega t + \varphi_1) \\y &= y_0 \sin(\omega t + \varphi_2)\end{aligned}\tag{5.1}$$

kde  $x_0$  a  $y_0$  sú amplitúdy kmitov a  $\varphi_1$  a  $\varphi_2$  fázové konštanty. 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 kmitov budú mať tvar

$$\begin{aligned}x &= x_0 \sin(\omega t + \varphi_1) \\y &= y_0 \sin(\omega t + \varphi_1 - k\pi) = \pm y_0 \sin(\omega t + \varphi_1)\end{aligned}$$

Z podielu rovníc dostaneme rovnicu priamky

$$y = \pm \frac{y_0}{x_0} x\tag{5.2}$$

Obrazec na obrazovke bude mať teda tvar sklonenej úsečky, ktorej smernica má hodnotu  $\pm \frac{y_0}{x_0}$ .

Ak  $\Delta\varphi = (2k + 1) \frac{\pi}{2}$ , kde  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , potom

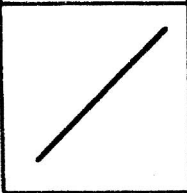
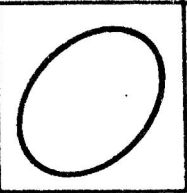
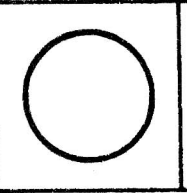
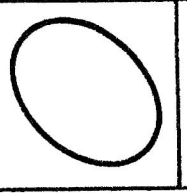

$$x = x_0 \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$y = y_0 \sin \left[ \omega t + \varphi_1 - (2k + 1) \frac{\pi}{2} \right] = \pm y_0 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

Umocnením a sčítaním týchto rovníc dostaneme

$$\frac{x^2}{x_0^2} + \frac{y^2}{y_0^2} = 1 \quad (5.3)$$

čo je rovnica elipsy s osami v smeroch súradnicových osí. Pre iné fázové rozdiely budú mať obrazce tvar elipsy s osami sklonenými. Niektoré špeciálne prípady pre rovnaké amplitúdy  $x_0 = y_0$  sú na obr. 5.1.

$\varphi = 0$	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi$
				
a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	e <sub>1</sub>

Obr. 5.1 Obrazce, ktoré vznikli skladaním na seba kolmých kmitov s rovnakými amplitúdami pre niektoré fázové rozdiely

## METÓDA MERANIA

V tesnej blízkosti reproduktora, použitého v tejto úlohe vo funkcii zdroja zvuku, možno kmitanie vzduchu vyjadriť rovnicou

$$u = u_0 \sin(\omega t)$$

formálne totožnou s rovnicou striedavého napätia z napájacieho zdroja reproduktora. Akustické kmity registrujeme mikrofónom, ktorý ich mení na kmity elektrické (predpokladáme, že fázové posunutia sa následkom elektrickej transformácie nemenia). Ak privedieme napájacie napätie reproduktora napríklad na horizontálnu os osciloskopu a výstup mikrofónu na os vertikálnu, pozorujeme na obrazovke interferenčné obrazce zodpovedajúce fázovému rozdielu obidvoch kmitov. Možno nájsť takú vzdialenosť polôh mikrofónu od reproduktora  $d_1$ , pri ktorej pozorujeme napríklad sklonenú úsečku (obr. 5.1a). Pri postupnom vzdďaľovaní mikrofónu od reproduktora pozorujeme postupne obrazce podobné ako na obr. 5.1b, 5.1c, 5.1d, atď. až vo vzdialenosti  $d_2$  sa objaví opäť úsečka sklonená vľavo. Fáza výstupu z mikrofónu sa zmenila o  $\Delta\varphi = 2\pi$ , a teda rozdiel  $d_2 - d_1$  sa rovná vlnovej dĺžke  $\lambda$ , t.j.

$$d_2 - d_1 = \lambda$$

Zo vzťahu

$$v = f \lambda$$

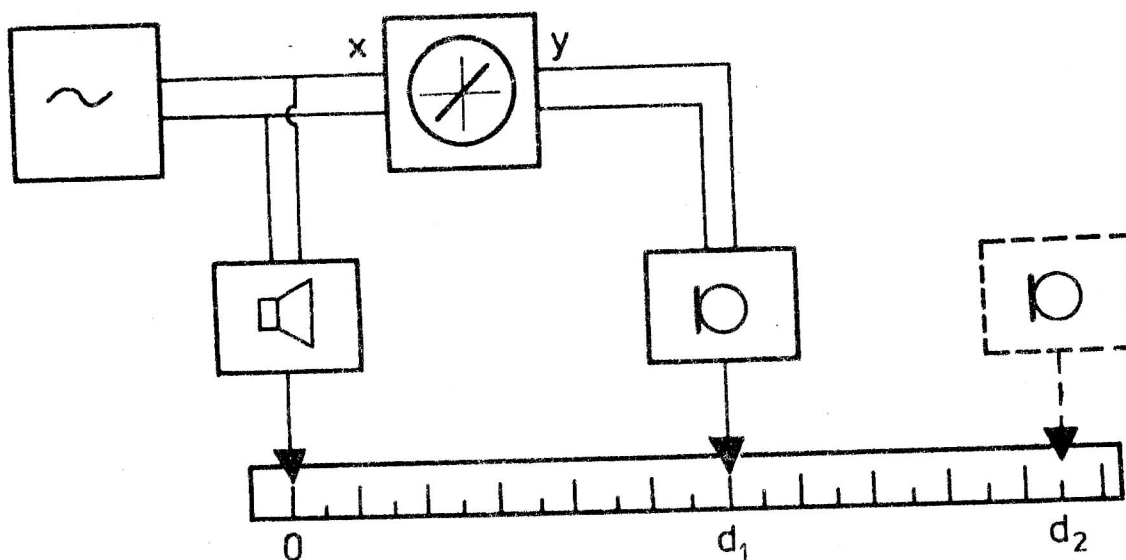
kde  $f$  je frekvencia zvukovej vlny, možno z nameranej hodnoty  $d_2 - d_1$  vypočítať hodnotu rýchlosti šírenia zvuku  $v$  danom prostredí.

## OPIS APARATÚRY A POSTUP PRÁCE

### a) Prístroje a pomôcky:

Akustický interferometer je principiálne zobrazený na obr. 5.2. Skladá sa z tónového generátora, osciloskopu, reproduktora, mikrofónu a lavice, po ktorej sa tento môže pohybovať. Reproduktor

napájaný z laditeľného zdroja sínusového napätia akustických frekvencií je zdrojom zvukových vln, ktoré sa registrujú mikrofónom, transformujú sa ním na elektrické kmity a privádzajú sa na vertikálnu vychyľovaciu sústavu osciloskopu. Na horizontálnu sústavu sa privádza priamo striedavé napätie z tónového generátora.



Obr. 5.2 Schéma akustického interferometra

**b) Postup merania:**

Praktické meranie spočíva v nájdení najbližších polôh mikrofónu, v ktorých sú obrazce na obrazovke rovnaké (napríklad vľavo sklonená 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 10 - 15 kHz. Namerané hodnoty zaznamenávame do tab. 5.1 a zo získaných hodnôt rýchlosti zvuku pri jednotlivých frekvenciách urobíme aritmetický priemer.

Výsledok porovnáme s tabuľkovou hodnotou rýchlosti zvuku vo vzduchu pri danej teplote vzduchu v laboratóriu

$$v = 331 \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad \text{m.s}^{-1}$$

kde  $T_0 = 273,16 \text{ K}$  a  $T$  je absolútna teplota v laboratóriu.

Tab. 5.1

f (kHz)	$d_1$ (cm)	$d_2$ (cm)	$\frac{\Delta\varphi}{2\pi}$	$d_2 - d_1$ (cm)	$\lambda$ (cm)	v (m.s <sup>-1</sup> )

### OTÁZKY A PROBLÉMY

1. Opíšte javy vznikajúce pri skladaní kolmých kmitov s rôznymi kruhovými frekvenciami!
2. Vysvetlite, prečo sa sklon úsečiek v polohách líšiacich sa fázovo o  $2\pi$  pri postupnom vzdľaňovaní mikrofónu od reproduktora mení!
3. Ako by bolo možné demonštrovať skladanie kolmých kmitov pomocou dvoch kyvadiel?