

STANOVENÍ RYCHLOSTI ZVUKU

Měřicí potřeby

- 1) nízkofrekvenční generátor AO-3001C
- 2) osciloskop OS-5020
- 3) trubice s mikrofonem a reproduktorem
- 4) teploměr
- 5) zesilovač se zdrojem

Obecná část

Rychlost šíření zvukových vln v plynech (a kapalinách) je dána vztahem $v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$,

kde ρ je hustota plynu a $K = -V \frac{dp}{dV}$ je modul objemové pružnosti. Stlačování a rozpínání plynu při průchodu akustické vlny probíhá rychle, takže můžeme předpokládat, že šíření zvuku je děj adiabatický ($pV^\kappa = konst$). Spojením uvedených vztahů a stavové rovnice ideálního plynu dostaneme pro rychlost zvuku:

$$v = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\kappa RT}{M}} = \sqrt{\frac{\kappa R \cdot 273,15}{M} \left(1 + \frac{t}{273,15}\right)} = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273,15}} \quad (1)$$

Ve vztahu (1) κ je Poissonova konstanta, p je tlak, R univerzální plynová konstanta, M molární hmotnost, T absolutní teplota a t teplota ve stupních Celsia. Po dosazení číselných hodnot například pro vzduch ($\kappa = 1,4$ a $M = 28,97$ kg/kmol) dostaneme pro teplotu 0°C rychlost zvuku ve vzduchu $v_0 = 331,5$ m/s.

Pro měření rychlosti zvuku se většinou používají různé nepřímé metody, kdy se měří vlnová délka λ a frekvence f a rychlost se určí podle známého vztahu:

$$v = \lambda \cdot f \quad (2)$$

Některé tyto metody jsou popsány např. v knize *Základy fyzikálních měření I*, J. Brož, SPN 1983.

Námi použitá metoda je založena na zjišťování polohy bodů, ve kterých má vlna stejnou (např. $0, 2\pi, 4\pi, 6\pi, \dots$), případně opačnou (např. $1\pi, 3\pi, 5\pi, 7\pi, \dots$) fázi ve srovnání s pevným (referenčním) bodem. Vlnová délka je pak jednoduše dána vzdáleností těchto bodů.

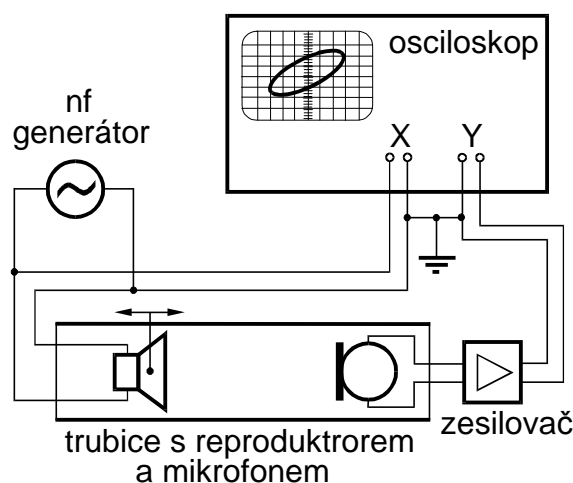
Metoda měření

Zařízení pro měření vlnové délky je na obrázku 1. Napětí s harmonickým (sinusovým) průběhem o známé frekvenci f je přiváděno z nízkofrekvenčního generátoru do reproduktoru a zároveň na X-ové vychylovací destičky osciloskopu. Z reproduktoru se šíří zvuková vlna se stejnou frekvencí f a po uražení určité dráhy je mikrofonem převedena na napětí, které je po zesílení přivedeno na Y-ové vychylovací destičky. Na obrazovce osciloskopu složením těchto dvou signálů se stejnou frekvencí vzniká nejjednodušší Lissajouseův obrazec – elipsa. Snadno to

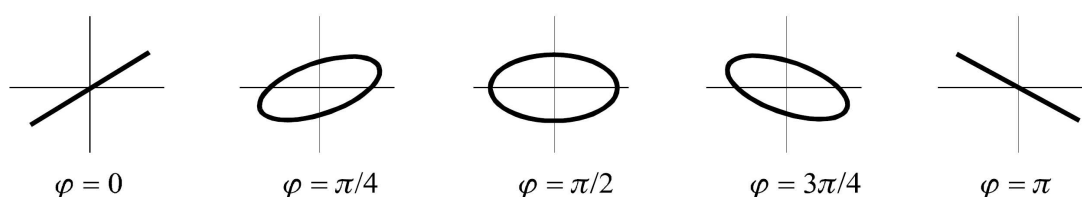
Lze ukázat i matematicky. Popíšeme-li první napětí rovnicí $x = A\sin(2\pi f.t)$ a druhé $y = B\sin(2\pi f.t + \varphi)$, pak vyloučením času t z obou rovnic dostáváme rovnici elipsy ve středové poloze:

$$\left(\frac{x}{A}\right)^2 + \left(\frac{y}{B}\right)^2 - 2\frac{xy}{AB}\cos\varphi = \sin^2\varphi.$$

Změnou vzdálenosti reproduktoru od mikrofonu měníme dobu, kterou potřebuje zvuková vlna k překonání vzdálenosti reproduktor – mikrofon, což se projeví na vzájemném fázovém posunu φ obou napětí, a tedy i tvaru elipsy. Na obrázku 2 jsou znázorněny různé případy fázového posunu. Pro naši metodu jsou důležité oba krajní případy $\varphi = 0$ (a dále $2n\pi$), kde $n = 1, 2, 3, \dots$, a $\varphi = \pi$ (a dále $(2n+1)\pi$), kdy signály jsou buď ve fázi, nebo v protifázi a elipsa přechází v úsečku. Vzdálenost poloh reproduktoru, které odpovídají těmto dvěma případům, je rovna vždy polovině vlnové délky.



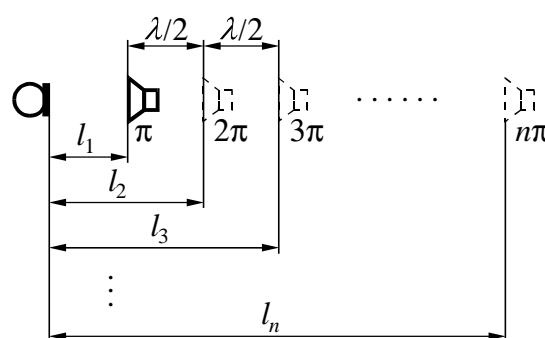
Obr. 1 Schema měření rychlosti zvuku



Obr. 2 Tvar elipsy pro různý fázový posun φ

Měření

Nastavte na tónovém generátoru požadovanou frekvenci (popis ovládání generátoru a osciloskopu je přiložen u úlohy). Přesuňte reproduktor do výchozí polohy těsně k mikrofonu. Při měření „po $\lambda/2$ “ hledejte posouváním reproduktoru takovou jeho polohu, při které se na obrazovce osciloskopu objeví úsečka (např. procházející 1. a 3. kvadrantem). Tuto polohu odečtěte na milimetrové stupnici přilepené zezadu na trubici a označte ji l_1 . Posouvejte reproduktor dále a zapisujte další sou-



Obr. 3

řadnice l_2, l_3, \dots, l_n pro polohy, kdy se objeví úsečka procházející 2. a 4. nebo 1. a 3. kvadrantem (viz obr. 3). Takto postupujte až do konce trubice.

Při měření „po celé vlnové délce λ “ je postup stejný s tím rozdílem, že zapisujete pouze polohy, kdy úsečka prochází kvadranty **jen jedním způsobem** (např. jen 1. a 3. kvadrantem).

Naměřené hodnoty zapisujte pro každou frekvenci do tabulky 1 (první polovinu naměřených hodnot do prvního sloupce, druhou polovinu do druhého). Data pak zpracujete postupnou metodou (viz kapitola „Měřicí metody“).

Tabulka 1

l_i [cm]	l_{k+i} [cm]	L_i [cm]	Δ_i [cm]	Δ_i^2 [cm]

Pracovní úkol

- 1) Změřte vlnovou délku zvukové vlny pro frekvence 800 Hz, 1000 Hz, 1400 Hz, 1800 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz a 4000 Hz. Pro frekvence do 1800 Hz včetně proveďte měření „po $\lambda/2$ “, pro frekvence nad 1800 Hz měřte „po celé λ “.
- 2) Pro každou frekvenci spočítejte vlnovou délku a dále rychlost zvuku podle vztahu (2). Výsledky uveďte do tabulky 2:

Tabulka 2

f [Hz]	λ [cm]	v [m.s ⁻¹]

- 3) Pro frekvenci 1800 Hz doplňte i 4. a 5. sloupec tabulky 1 a spočítejte absolutní a relativní směrodatnou chybu vlnové délky.
- 4) Pro frekvenci 1800 Hz odvoďte a vypočítejte též chybu rychlosti zvuku. Jako chybu frekvence generátoru vezměte hodnotu 10 Hz.
- 5) Ze získaných rychlostí zvuku spočítejte aritmetický průměr a jeho směrodatnou chybu.
- 6) Změřte teplotu v místnosti. Rychlost zvuku vypočtenou podle vztahu (1) porovnejte s výslednou rychlostí zjištěnou v bodu 5).