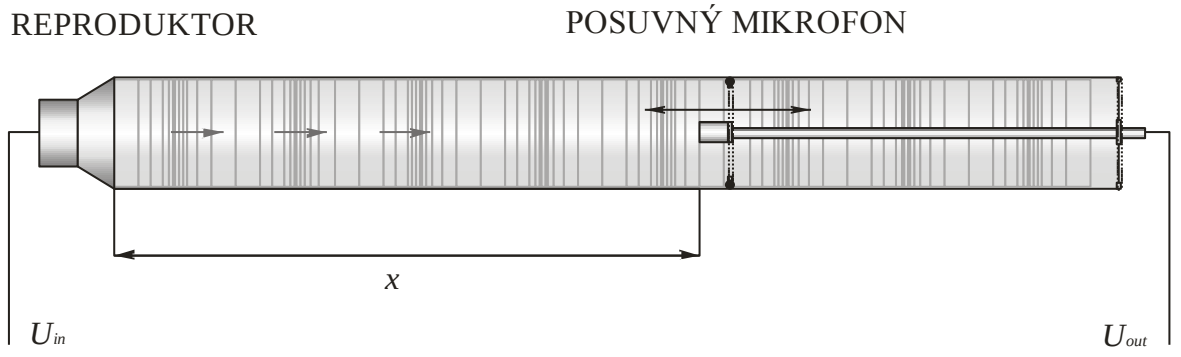
KATEDRA FYZIKY VŠB-TU OSTRAVA		
Student	NÁZEV PRÁCE	Číslo práce
Skupina/Osob. číslo	**Měření rychlosti vzduchu ve vzduchu**	Datum
Spolupracoval		Podpis studenta:

Cíle měření:
Stanovit vlnovou délku a rychlost šíření zvuku, který se šíří vzduchem za normálního tlaku. Pochopit skládání na sebe kolmých kmitů.

Měřicí prostředky:
Tónový generátor, osciloskop, jednostranně otevřená skleněná trubice (ST), vodiče, mikrofon, reproduktor, mechanický posuv, nosná tyč.

Kompendium teorie:
V dostatečně dlouhé ST (Obr. 1) je reproduktorem generováno zvukové vlnění o frekvenci f a šíří se vzduchovým sloupcem směrem k otevřenému konci ST ve formě jednosměrné rovinné vlny, na rozdíl od klasického režimu měření v Kundtově trubici, kde odrazem a superpozicí dochází ke vzniku stojatého vlnění. Ve známé vzdálenosti x od uzavřeného konce s reproduktorem je umístěn mikrofon, který poskytuje elektrický signál, jehož amplituda je úměrná velikosti akustického tlaku $p(x,t)$.

Obrázek 1

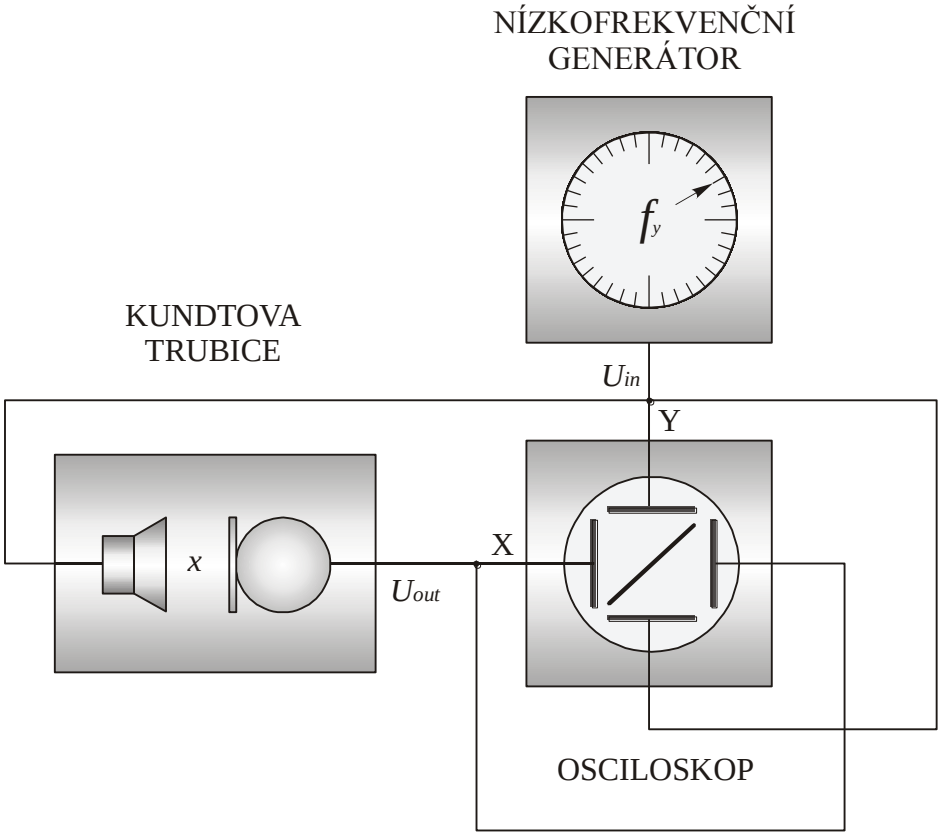


Předpokládáme-li, že signál se ve vodičích šíří rychlostí světla *c*, pak jeho průchod ve formě akustického vlnění mezi reproduktorem a mikrofonem je v důsledku mnohem pomalejšího šíření zvuku rychlostí $v_{\mathrm{zv}} \ll c$ spojen se vznikem časového zpoždění Δt:

$$\Delta t = \frac{x}{v_{\mathrm{zv}}} = \frac{x}{\lambda f}. \tag{1}$$

Přímé měření vlnové délky lze provést na základě znalosti časového zpoždění (1) pro danou frekvenci f ve vzdálenosti x od akustického zdroje (reproduktoru).

Obrázek 2



Při zapojení dle schématu na Obr. 2 je napětí U_{out} na výstupu zpožďovacího členu, kterým je ST a současně na kanálu X osciloskopu fázově zpožděné vzhledem k vstupnímu napětí U_{in} na kanálu Y, takže

$$
\begin{aligned}
U_{\text{in}} &= U_0 \sin\ 2\pi f t \\
U_{\text{out}} &= U_0 \sin\ 2\pi f\ \ t - \Delta t\ \ \ = U_0 \sin\left(2\pi f t - 2\pi \frac{x}{\lambda}\right)
\end{aligned}
\tag{2}
$$

Obě napětí ve vztazích (2) mají stejnou fázi, tj. stejný argument funkce sinus, při splnění podmínky pro fázové posunutí

$$
2\pi \frac{x}{\lambda} = 2\pi n \quad \Rightarrow \quad \boxed{x = n\lambda}\,, \tag{3}
$$

kde *n* je přirozené číslo. Tento stav odpovídá při kolmém skládání signálů X U_{out} $\perp$Y U_{in} Lissajousovu obrazci pro shodnou fázi při stejné frekvenci. Schematicky je jeho identifikace znázorněna v osciloskopu na Obr. 2 (doprava skloněná úsečka).

Neboť je obtížné identifikovat místo v reproduktoru, z něhož vychází zvuková vlna, je vhodné zaznamenat dvě sousední polohy mikrofonu x_i a x_{i+1}, jimž přísluší Lissajousův obrazec podle Obr. 2. Pak podle vztahu (2) jsou odpovídající fázové rozdíly

$$
\Delta\varphi_i = \frac{2\pi x_i}{\lambda} \text{ a } \Delta\varphi_{i+1} = \frac{2\pi\left(x_i + \lambda\right)}{\lambda} = \Delta\varphi_i + 2\pi \tag{4}
$$

a platí

$$
\lambda_i = x_{i+1} - x_i\,. \tag{5}
$$

Na základě takto změřené vlnové délky λ pak lze vypočítat rychlost zvuku ve vzduchu pro známou frekvenci f.

$$
\boxed{v_{\text{zv},i} = \frac{\lambda_i}{T} = \lambda_i f} \tag{6}
$$

Experimentálně se lze přesvědčit, že rychlost zvuku nezávisí na frekvenci a je pro dané prostředí konstantním fyzikálním parametrem.

Pokyny k vlastnímu měření:

1. Pro frekvence

$$f_1 = 1200\ \text{Hz},\ f_2 = 1400\ \text{Hz},\ \ f_3 = 1800\ \text{Hz},$$
$$f_4 = 2200\ \text{Hz},\ f_5 = 3000\ \text{Hz},\ f_6 = \ 6000\ \text{Hz}$$

2. proveďte postupně měření vlnových délek λ_j a rychlosti zvuku v_j ve vzduchu, kde $j = 1, \ldots, 6$.
3. Na nízkofrekvenčním generátoru nastavte jednu z výše uvedených frekvencí f_j.
4. Posuvným pohybem mikrofonu určete jeho všechny polohy (souřadnice $x_{j,i}$, kde $i = 1, \ldots, N_j$), jimž přísluší Lissajousův obrazec stejné fáze – viz obr. 2. Pak podle vztahu

$$\lambda_j = \frac{\left| x_{j,N_j} - x_{j,1} \right|}{N_j - 1} \tag{7}$$

   spočtěte vlnovou délku příslušnou frekvenci f_j.
5. Pro všechny frekvence vypočítejte příslušné rychlosti zvuku $v_{\text{zv},j}\ \ f_j$ užitím vzorce

$$v_{\text{zv},j}\left(f_j\right) = f_j \lambda_j \tag{8}$$

a pomocí Gaussova zákona šíření nejistoty určete jejich absolutní a relativní nejistoty. Z hodnot rychlosti zvuku $v_{\text{zv},j}\ \ f_j$, změřených pro jednotlivé frekvence f_j, vypočítejte rychlost zvuku ve vzduchu pomocí vztahu pro její vážený průměr

$$v_{\text{zv}} = \frac{\sum_{j=1}^{6} w_j v_{\text{zv},j}(f_j)}{\sum_{j=1}^{6} w_j},$$

kde $w_j = \dfrac{1}{u^2_{v_{\text{zv},j}}}$.

6. Změřenou rychlost zvuku v_{zv} zaokrouhlete na celé číslo v jednotkách m·s^{-1} a srovnejte ji s hodnotou uvedenou ve fyzikálních tabulkách s přihlédnutím k teplotě vzduchu v laboratoři.