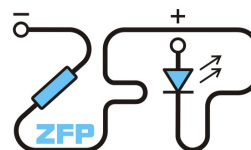


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum ...



Úloha č.

Název úlohy:

Jméno: Obor: FOF FAF FMUZV

Datum měření:

Datum odevzdání:

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:

1 Pracovné úlohy

1. Určiť rýchlosť šírenia pozdĺžnych zvukových vln v mosadznej tyči metódou Kundtovej trubice. Z nameranej rýchlosti zvuku stanoviť modul pružnosti v ťahu E materiálu tyče.
2. Zmerať rýchlosť zvuku vo vzduchu a v oxide uhličitom pomocou uzavretého rezonátora. Výsledky merania spracovať metódou lineárnej regresie a graficky znázorniť.
3. Vypočítať Poissonovu konštantu κ oxidu uhličitého z nameranej rýchlosti zvuku.

2 Teoretická časť

2.1 Fyzikálna teória

Rýchlosť zvuku experimentálne určíme principiálne zo vzorca

$$c = \lambda\nu, \quad (1)$$

kde ν značí (známu) frekvenciu a λ vlnovú dĺžku. Táto je v oboch použitých metódach meranou veličinou.

Metóda Kundtovej trubice využíva fakt, že vlnenie si pri prechode medzi prostrediami zachováva frekvenciu ν , a teda podľa (1) sú pomery rýchlostí šírenia a vlnových dĺžok pri prechode medzi prostrediami konštantné. Ak veličiny pri mosadznej tyči označíme λ_1, c_1 a vo vzduchu λ_2, c_2 , vyplýva pre rýchlosť zvuku v tyči vzťah

$$c_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} c_2 = \frac{2l}{\lambda_2} c_2 \quad (2)$$

l je v tomto prípade dĺžka tyče [1]. Vzťah pre výpočet E je podľa [2]:

$$E = c_1^2 \rho \quad (3)$$

Pri metóde uzavretého rezonátora sa vlnová dĺžka meria buď variáciou jeho dĺžky pri konštantnej frekvencii zvuku (merané s trubicami naplnenými vzduchom), alebo zmenami frekvencie pri konštantnej dĺžke rezonátora (trubice naplnené postupne vzduchom a oxidom uhličitým). Z vzťahu medzi dĺžkou rezonátora l a rezonančných frekvencií ν_k platí pre rýchlosť zvuku vzťah[1]:

$$c = \frac{2l\nu_k}{k} \quad (4)$$

Pri konštantnej frekvencii ν zdroja platí pre rozdiel dvoch dĺžok rezonátora, pri ktorých dochádza k rezonancii

$$c = 2\Delta l\nu \quad (5)$$

Poissonovu konštantu plynu vypočítame [1] podľa vzorca

$$\kappa = \frac{c^2 \mu}{RT}, \quad (6)$$

kde μ je molekulová hmotnosť plynu, R je molárna plynová konštanta a T teplota v Kelvinoch.

2.2 Štatistické spracovanie dát

Všetky výsledky priamych meraní sú udávané so strednou kvadratickou chybou ($P = 68.27\%$). Prenos neistoty a relatívna chyba nepriameho merania boli pri štatistických spracovaniach počítané pomocou vzorcov [2]:

$$u_y = \sqrt{\sum_{j=1}^N \left(\frac{\partial}{\partial x_j} y(x_1, \dots, x_N) \right)^2 (u_{x_j})^2} \quad (7)$$

$$\eta_x = \frac{u_x}{\bar{x}}, \quad (8)$$

3 Výsledky merania

3.1 Meranie rýchlosti zvuku a modulu pružnosti v ťahu E pomocou Kundtovej trubice

Najprv bola premeraná mosadzná tyč a jej dĺžka bola s ohľadom na chybu pásového metra stanovená na $l = (150.20 \pm 0.05)\text{cm}$, z čoho priamo plynie $\lambda_1 = 2l = (300.4 \pm 0.1)\text{cm}$.

Merania dĺžky Kundtovej trubice pri rezonancii spolu s počtom pozorovaných polvln sú uvedené v Tab. 1. Z nameraných hodnôt určíme dĺžku vlny vo vzduchu $\lambda_2 = (30.5 \pm 0.4)\text{cm}$.

Číslo merania	$\frac{l}{\text{m}}$	Počet polvln	$\frac{\lambda_2}{\text{m}}$
1	0.617	4	0.3085
2	0.615	4	0.3075
3	0.448	3	0.2987

Tab. 1: Meranie vlnovej dĺžky pomocou Kundtovej trubice

Vzhľadom na to, že teplota v miestnosti bola $t = 22^\circ\text{C}$ a vlhkosť bola 15.9%, na výpočet rýchlosti zvuku vo vzduchu bol použitý vzorec [1]: $c_2 = (331.82 + 0.61t)\text{ms}^{-1} \approx 345.2\text{ms}^{-1}$. Zo vzorca (2) dostávame rýchlosť šírenia zvukových vln v mosadznej tyči $c_1 = (3400 \pm 40)\text{ms}^{-1}$ s presnosťou $\eta_{c_1} = 1\%$.

Podľa [3] je hustota mosadze $\rho = 8600\text{kgm}^{-3}$, čo spolu s nameranou rýchlosťou zvuku dáva po dosadení do (3) dáva modul pružnosti v ťahu mosadznej tyče $E = (99 \pm 3)\text{GPa}$ s presnosťou $\eta_E = 3\%$.

3.2 Meranie rýchlosti zvuku vo vzduchu a v CO₂ pomocou uzavretého rezonátora

Pri meraniach s konštantnou dĺžkou rezonátora bola, berúc ohľad na chybu dĺžkovej stupnice prístroja, dĺžka dvojtrubice vždy $l = (80.00 \pm 0.05) \text{cm}$. Reprodukotor v rezonátore budil zvukové vlny známej frekvencie a pomocou mikrofónu boli určené maximá amplitúdy signálu zodpovedajúce rezonancii. Odhady pre základnú rezonančnú frekvenciu boli počítané zo vzorca (4) s tým, že za rýchlosti šírenia zvuku v plynch sme dosadili tabuľkové hodnoty [1] pre $t = 0^\circ\text{C}$:

- $c_{\text{vzduch}} = 331.5 \text{ms}^{-1}$
- $c_{\text{CO}_2} = 258 \text{ms}^{-1}$
- vo vzduchu: $\nu_1 \approx 207 \text{Hz}$
- v CO₂: $\nu_1 \approx 161 \text{Hz}$

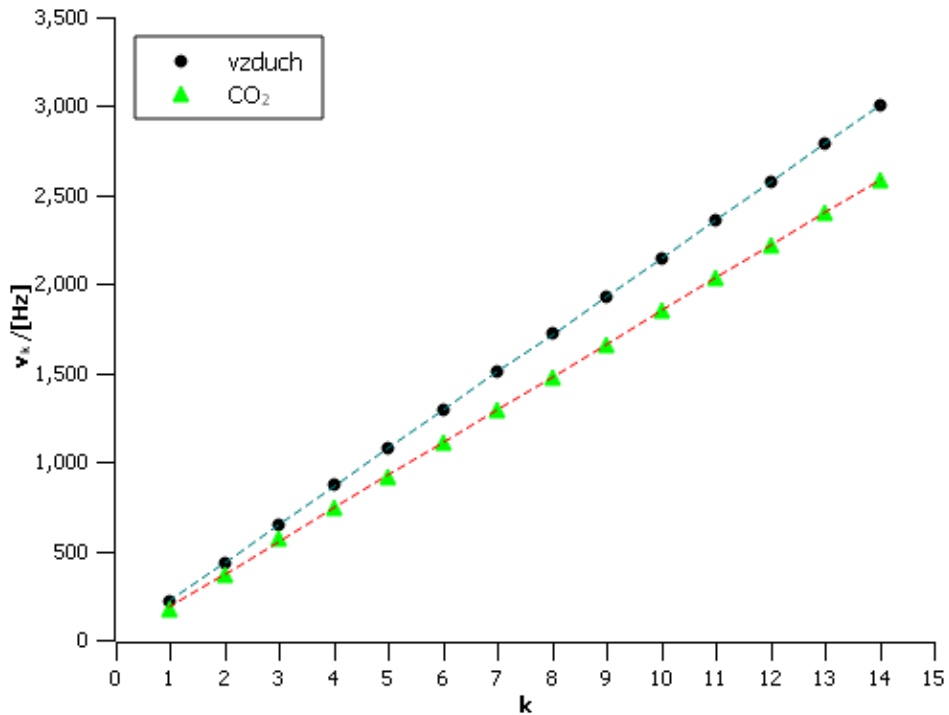
Namerané hodnoty pre vzduch a oxid uhličitý sú uvedené postupne v Tab. 2 a 3 a vynesené v grafe na Obr. 1.

k	$\frac{\nu_k}{[\text{Hz}]}$	k	$\frac{\nu_k}{[\text{Hz}]}$
1	212	8	1719
2	433	9	1930
3	645	10	2146
4	868	11	2363
5	1072	12	2578
6	1287	13	2787
7	1505	14	3005

Tab. 2: Meranie c vo vzduchu pomocou rezonátora pri konštantnej dĺžke

k	$\frac{\nu_k}{[\text{Hz}]}$	k	$\frac{\nu_k}{[\text{Hz}]}$
1	177	8	1480
2	371	9	1663
3	547	10	1848
4	741	11	2032
5	918	12	2218
6	1108	13	2399
7	1294	14	2585

Tab. 3: Meranie c v CO₂ pomocou rezonátora pri konštantnej dĺžke



Obr. 1: Graf závislosti frekvencie k -tej harmonickej na k

V grafe na Obr. 1 boli oba dátové súbory preložené lineárnym fitom $y = a \cdot x$. Vo vzduchu bolo $a_{vzduch} = (214.7 \pm 0.1)\text{s}^{-1}$, v oxide uhličitom $a_{\text{CO}_2} = (184.8 \pm 0.2)\text{s}^{-1}$, v oboch prípadoch $R^2 > 0.99$. Podľa (4) je $c = 2l \cdot a$, z čoho vyplýva, že namerané hodnoty rýchlostí šírenia zvuku sú:

- $c_{vzduch} = (343.5 \pm 0.3)\text{ms}^{-1}$
- $c_{\text{CO}_2} = (295.6 \pm 0.4)\text{ms}^{-1}$

Vo vzduchu bola rýchlosť šírenia zvukových vln navyše meraná variáciou dĺžky trubice rezonátora pri konštantnej frekvencii $\nu = 2203\text{Hz}$. Rozdiely dvoch susedných rezonancií sú uvedené v Tab. 4, odkiaľ $\Delta l = (7.78 \pm 0.07)\text{cm}$. Využitím (5) dostávame $c_{vzduch} = (343 \pm 3)\text{ms}^{-1}$.

Číslo merania	l [cm]	Číslo merania	Δl [cm]
1	7.8	4	7.8
2	7.8	5	7.6
3	7.8	6	7.9

Tab. 4: Meranie c vo vzduchu pomocou rezonátora pri konštantnej frekvencii

Pre molekulovú hmotnosť oxidu uhličitého platí [1] $\mu_{\text{CO}_2} = 2\alpha_{\text{O}} + \alpha_{\text{C}} = 44\text{gmol}^{-1}$. Z (6) potom dostávame $\kappa_{\text{CO}_2} = 1.567 \pm 0.05$.

4 Diskusia výsledkov

Merania rýchlosti zvuku vo vzduchu oboma metódami dali veľmi podobné výsledky, no metóda konštantnej dĺžky trubice poskytla výsledok o rád presnejší. Od hodnoty vypočítanej v časti 3.1 sa mierne odlišuje, čo je možné vysvetliť faktom, že použitý vzorec platí pre suchý vzduch, a teda poskytuje iba dostatočnú aproximáciu. Modul pružnosti v ťahu mosadze sa dobre približuje tabuľkovej hodnote uvedenej v [3].

Presnosť nameraných hodnôt rýchlosti šírenia zvuku a Poissonovej konštanty pre CO_2 je relatívne vysoká, no hodnoty nezodpovedajú presne tabuľkovým hodnotám (viď [3]). Dôvodom môže byť vnikanie vzduchu do trubíc rezonátora cez nedokonale tesniace ventily.

5 Záver

Cieľom praktika bolo meranie fázovej rýchlosti zvukových vln v pevných látkach a plynch, konkrétne v mosadzi, vzduchu a oxide uhličitom. Z nameraných hodnôt sa následne určili jednak modul pružnosti v ťahu mosadznej tyče E , a jednak Poissonova konštanta oxidu uhličitého. Súhrnný zoznam výsledkov merania je uvedený nižšie.

- $c_{\text{vzduch}} = (343.5 \pm 0.3)\text{ms}^{-1}$ (pri konštantnej dĺžke rezonátora)
- $c_{\text{vzduch}} = (343 \pm 3)\text{ms}^{-1}$ (pri konštantnej frekvencii)
- $c_{\text{CO}_2} = (295.6 \pm 0.4)\text{ms}^{-1}$
- $c_1 = (3400 \pm 40)\text{ms}^{-1}$ (v mosadznej tyči)
- $E = (99 \pm 3)\text{GPa}$
- $\kappa_{\text{CO}_2} = 1.567 \pm 0.05$

Zoznam použitej literatúry

- [1] http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_110.pdf. aktuálne k 1.3. 2018.
- [2] J. BROŽ a kol. *Základy fyzikálních měření I*. Praha: SPN, 1983.
- [3] J. MIKULČÁK a kol. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Praha: SPN, 1988.