

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:

Pracovní úkoly

1. Určete rychlost šíření podélných zvukových vln v mosazné tyči metodou Kundtovy trubice. Z naměřené rychlosti zvuku stanovte modul pružnosti v tahu E materiálu tyče.
2. Změřte rychlost zvuku ve vzduchu a v oxidu uhličitým pomocí uzavřeného rezonátoru. Výsledky měření zpracujte metodou lineární regrese a graficky znázorněte.
3. Vypočítejte Poissonovu konstantu κ oxidu uhličitého z naměřené rychlosti zvuku.

Teoretická část

Kundtova trubice

Budeme měřit rychlost zvuku v kovové tyči pomocí Kundtovy trubice. Kundtova trubice je z jedné strany uzavřená skleněná trubice, z druhé strany do ní vložíme tyč ze zkoumaného materiálu, kterou na konci opatříme korkovým pístem. Do trubice rovnoměrně rozprostříme korkový prášek a tyč podélně rozkmitáme. Pokud v trubici vzniklo stojaté vlnění, prášek vytvoří obrazec naznačený v obrázku ???. Pokud stojaté vlnění nevzniklo, změníme vzdálenost mezi koncem trubice a korkovým pístem a opakujeme, dokud nevznikne. Vzdálenost mezi dvěma nejbližšími místy, kde písek nebyl rozmetán, je rovna polovině vlnové délky zvuku.

Kovovou tyč o délce l_T upevníme v jejím prostředku, pak bude vydávat zvuk o vlnové délce λ_1 rovné dvojnásobku svojí délky, platí tedy

$$\lambda_1 = 2 \cdot l_T. \quad (1)$$

Při přechodu z jednoho prostředí do druhého si zvuk zachovává svojí frekvenci

$$f_1 = \frac{c_1}{\lambda_1} = \frac{c_2}{\lambda_2} = f_2. \quad (2)$$

kde f je frekvence, c je rychlost zvuku a dolní indexy 1 a 2 označují prostředí (tyč, vzduch resp.). Ze známé rychlosti zvuku ve vzduchu a změřených λ_1 , λ_2 můžeme snadno určit rychlost šíření ve zkoumané tyči.

Pro tenkou tyč platí [1]

$$c_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (3)$$

kde E je modul pružnosti v tahu a ρ je hustota tyče. Při známé rychlosti zvuku v tyči a její hustoty můžeme vypočítat modul pružnosti

$$E = c_1^2 \cdot \rho. \quad (4)$$

Uzavřený rezonátor

Uzavřený rezonátor je uzavřená dutá kovová trubice s nastavitelnou délkou. Na jednom jejím konci je připevněn reproduktor napojený na elektronický tónový generátor, na druhém konci je mikrofon napojený na mikroampérmetr. Rezonance nastává vždy, když je délka rezonátoru celočíselný násobek poloviny vlnové délky zvuku:

$$l = k \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

po úpravě

$$f = \frac{c}{2l} \cdot k. \quad (6)$$

Pokud rezonance nastane, zaznamenáme na mikroampérmetru jako lokální maximum. Rezonátor je opatřen uzavíratelnými přívody, kterými do něj můžeme napustit měřený plyn.

Rychlost zvuku v plynu budeme měřit dvěma způsoby:

- S konstantní délkou oscilátoru budeme měnit frekvenci zdroje. Naměřenou závislost (6) nafitujeme přímkou $f(k) = a \cdot k$. Z konstanty a určíme rychlost zvuku jako

$$c = 2 \cdot a \cdot l \quad (7)$$

- Při konstantní frekvenci zdroje budeme měnit délku rezonátoru. Po úpravě (6) máme

$$l = \frac{c}{2f} \cdot k. \quad (8)$$

Tuto naměřenou závislost nafitujeme přímkou $l(k) = b \cdot k$. Porovnáním s (8) dostaneme

$$c = 2 \cdot f \cdot b. \quad (9)$$

Rychlost zvuku ve vzduchu budeme měřit oběma způsoby. Rychlost v oxidu uhličitém budeme měřit pouze při konstantní délce rezonátoru.

V plynu je rychlost zvuku určena Laplaceovým vzorcem [1]

$$c_2 = \sqrt{\kappa \frac{p}{\rho}}, \quad (10)$$

kde κ je Poissonova konstanta, p je tlak plynu a ρ jeho hustota. Dosazením ze stavové rovnice a následnou úpravou dostaneme

$$\kappa = \frac{c^2 \mu}{RT}, \quad (11)$$

kde $R = 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ je molární plynová konstanta, T je teplota v kelvinech a μ je molární hmotnost plynu.

Poznámka: Pro lineární regresi $y = ax$ sady nezávislých proměnných x_i a závislých y_i se standardní odchylkou σ_i počítáme koeficient a podle vzorce [2]

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{y_i x_i}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{\sigma_i^2}} \quad \sigma_a^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{\sigma_i^2}} \quad (12)$$

Podmínky a použité přístroje

Teplota v místnosti byla $(26,1 \pm 0,4)^\circ\text{C}$.

Atmosférický tlak byl $(983 \pm 2) \text{ kPa}$.

Relativní vlhkost vzduchu byla 36 %.

Zkoumaná tyč byla vyrobena z mosazi. Její délku jsme měřili svinovacím metrem s nejmenším dílkem 1 mm, který považujeme za standardní odchylku měření. Délka tyče byla $l_0 = (150,9 \pm 0,1) \text{ cm}$.

Tabelovaná hodnota hustoty mosazi [**hustota**] je $\rho = (8550 \pm 300) \text{ kg m}^{-3}$.

Kundtova trubice měla délku přibližně 74 cm.

Standardní odchylku určení rezonanční frekvence odhadujeme vždy na 3 Hz.

Délku rezonátoru jsme měřili vestavěným pravítkem, standardní odchylku odhadujeme $\sigma_l = 0,5 \text{ mm}$.

Výsledky měření

Kundtova trubice

Rychlost zvuku ve vzduchu budeme používat hodnotu změřenou metodou uzavřeného rezonátoru při konstantní délce rezonátoru: $c_2 = (345,7 \pm 0,3) \text{ m s}^{-1}$ (viz níže).

Uzavřený rezonátor

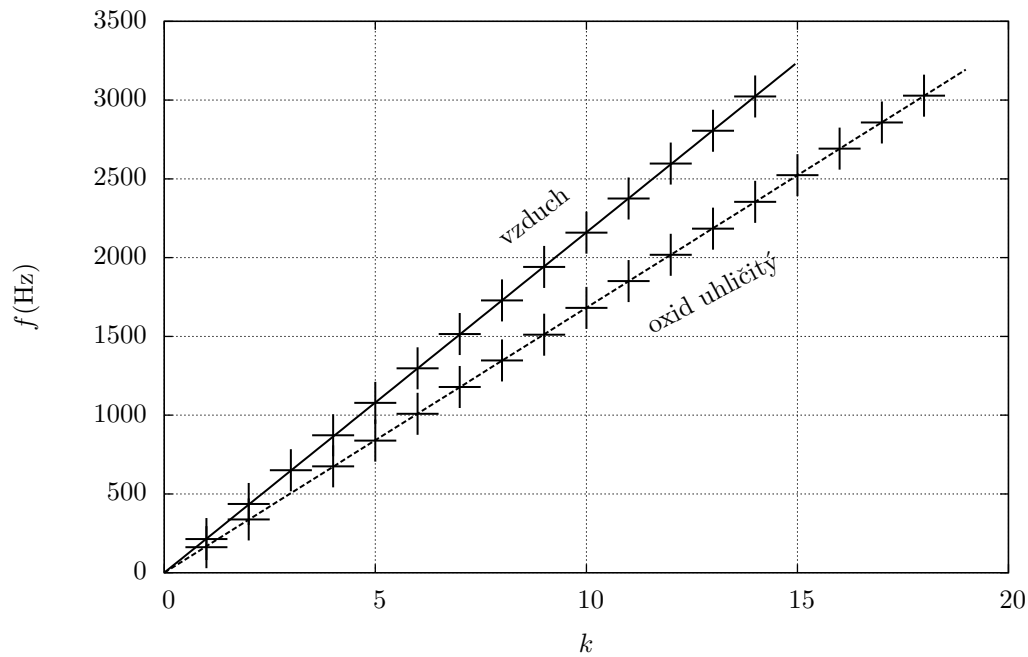
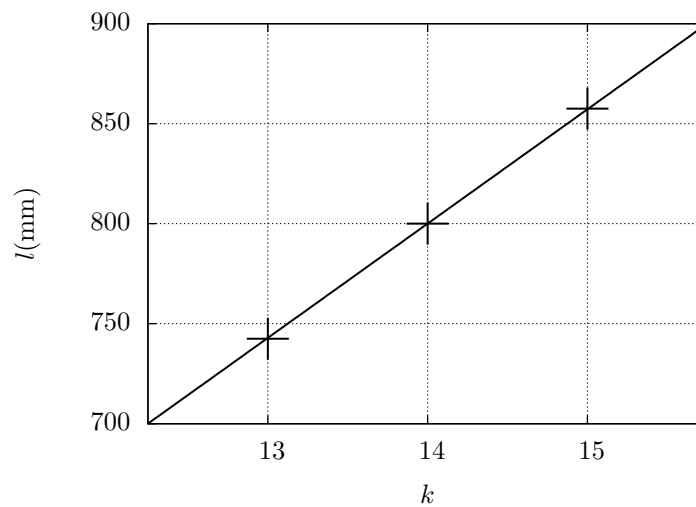
Při konstantní délce rezonátoru jsme našli základní frekvenci pro vzduch 213 Hz a pro oxid uhličitý 162 Hz. Všechny naměřené rezonanční frekvence jsou uvedeny v tabulce 1 a zaneseny do grafu 1. Frekvence, u nichž není uvedeno číslo k , nebyly celočíselnými násobky základní frekvence. Pravděpodobně se jednalo o tzv. vlčí frekvence, tyto hodnoty jsme vyřadili ze zpracování.

Při konstantní frekvenci 3025 Hz jsme v rezonátoru naplněném vzduchem zaznamenali rezonanci při délkách rezonátoru uvedených v tabulce 2 a vyneseny do grafu 2.

Nafitované koeficienty a , b a z nich pomocí (7) a (9) vypočtené rychlosti zvuku jsou uvedeny v tabulce 3. Odchylku rychlosti zvuku počítáme podle

$$\sigma_c = c \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_l}{l}\right)^2} \quad \text{resp.} \quad \sigma_c = c \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2} \quad (13)$$

vzduch				oxid uhličitý			
k	f (Hz)	k	f (Hz)	k	f (Hz)	k	f (Hz)
1	213	8	1728	1	162	8	1347
—	324	9	1941	2	338	9	1511
2	436	10	2159	—	486	10	1681
3	650	11	2375	—	523	11	1851
4	872	12	2597	4	675	12	2018
5	1078	13	2806	5	838	13	2184
6	1297	14	3023	6	1009	14	2354
7	1515			7	1179	15	2524

Tabulka 1: Naměřené rezonanční frekvence při délce rezonátoru $l = 800$ mmGraf 1: Naměřená závislost rezonanční frekvence f na čísle k (viz rovnice (6)) při délce rezonátoru 800 mmGraf 2: Délky rezonátoru, při kterých nastala rezonance (vzduch, $f = 3025$ Hz)

k	l (mm)
13	742,5
14	800,0
15	857,5

Tabulka 2: Délky rezonátoru, při kterých nastala rezonance (vzduch, $f = 3025$ Hz)

vzduch	$a = (216,03 \pm 0,13) \text{ Hz}$	$\implies c = (345,7 \pm 0,3) \text{ m s}^{-1}$
	$b = (57,14 \pm 0,03) \text{ mm}$	$\implies c = (345,7 \pm 0,4) \text{ m s}^{-1}$
oxid uhličitý	$a = (168,17 \pm 0,10) \text{ Hz}$	$\implies c = (269,1 \pm 0,2) \text{ m s}^{-1}$

Tabulka 3: Nařítované koeficienty a vypočtené rychlosti zvuku pro metodu uzavřeného rezonátoru

Z naměřené rychlosti zvuku v oxidu uhličitém můžeme vypočítat jeho Poissonovu konstantu κ podle (11). Molekulová hmotnost oxidu uhličitého je $\mu = 0,044 \text{ kg mol}^{-1}$. Standardní odchylku počítáme jako

$$\sigma_{\kappa} = \kappa \cdot \sqrt{\left(2\frac{\sigma_c}{c}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_T}{T}\right)^2}. \quad (14)$$

Výsledná změřená Poissonova konstanta oxidu uhličitého je $\kappa = 1,280 \pm 0,003$.

Diskuze

Závěr

Všechny uvedené odchylky jsou standardní ($P = 0,68$).

Seznam použité literatury

1. *Rychlost šíření vzduchu—Studijní text pro fyzikální praktikum I MMF UK* [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupný z WWW: http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_110.pdf.
2. ENGLICH, Jiří. *Úvod do praktické fyziky I: Zpracování výsledků měření*. Praha: MATFYZPRESS, 2006. ISBN 80-86732-93-2.