Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM I – Mechanika a molekulová fyzika

Úloha č. X

Název: Rychlost šíření zvuku

Pracoval: Jiří Vackář stud. skup. 11 dne 7. 4. 2008

Odevzdal dne: 18. 4. 2008

Hodnocení:

Připomínky:

Kapitola referátu	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0 – 3	
Výsledky měření	0 – 9	
Diskuse výsledků	0 – 5	
Závěr	0 – 2	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: dne

1 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 uhličitém pomocí uzavřeného resonátoru. Výsledky měření zpracujte metodou linární regrese a graficky znázorněte.
3. Vypočítejte Poissonovu konstantu κ oxidu uhličitého z naměřené rychlosti zvuku.

2 Teoretická část

Pro kmitočet ν, vlnovou délku λ a rychlost šíření postupné vlny obecně platí

$$\lambda\nu = c \tag{1}$$

2.1 Kundtova trubice, modul pružnosti v tahu

Akustická vlna vybuzená podelným třením mosazné tyče nakalafunovanou textilií má při upevnění tyče vpolovině délky tyče l_1 vlnovou délku λ_1. Pokud má tyč volné oba konce, platí

$$\lambda_1 = 2l_1 \tag{2}$$

Z tyče se zvuková vlna šíří přes píst do Kundtovy trubice naplňené vzduchem. Pro šíření akustické vlny mezi prostředími platí, že si zachovává svou frekvenci. Označme c_1 rychlost zvuku v tyči a c_2 rychlost zvuku ve vzduchu a λ_2 délku zvukové vlny ve vzduchu, potom z rovnice 1 plyne

$$\frac{c_1}{\lambda_1} = \frac{c_2}{\lambda_2} \tag{3}$$

Rychlost zvuku ve vzduchu při relativní vlhkosti 50% je určena vzorcem

$$c_2 = [344,36 + 0,63(t - 20\,\mathrm{deg\,C})]\,\mathrm{ms}{-1} \tag{4}$$

pro suchý vzduch pak

$$c_2' = (331,82 + 0,61t)\mathrm{ms}{-1} \tag{5}$$

V případě, že Kundtova trubice má délku (vzdálenost mezi lehkým kokrovým pístem upevněným kolmo na konci tyče a dnem trubice) do které se vejde celý počet půlvln, dojde k rezonanci stojaté zvukové vlny. Lze pozorovat rozptýlení korkové drti v trubici na místě kmiten rychlosti kmitajících částic vzduchu. Změřením rezonanční délky trubice snadno určíme vlnovou délku λ_2 zvuku ve vzduchu a z ní pomocí vztahu 3 rychlost šíření zvuku v mosazi.

Pro modul pružnosti tenké tyče platí [1]

$$E = c_1^2\rho \tag{6}$$

2.2 Uzavřený rezonátor, Poissonova konstanta

Rychlost šíření zvukové vlny v rezonátoru určíme dvojím způsobem. Nejprve ponecháváme frekvenci zdroje zvuku konstantní a měníme délku rezonátoru. Při rezonanci, kterou zaznamenáme pomocí mikrofonu jako maximální zesílení zvuku zdroje, změříme délku rezonátoru. Rozdíl délek rezonátoru při nejbližších dvou rezonancích je roven polovině délky zvukové vlny λ. Vztah pro výpočet rychlosti zvuku dostáváme po dosazení do rovnice 1

$$c = 2(l_1 - l_2)\nu \tag{7}$$

Při druhém způsobu měření ponecháváme délku l rezonátoru stálou a měníme frekvenci ν zdroje zvuku. Rezonance nastává při frekvencích νk, jímž odpovídající $k$násobek délka půlvlny $\nu k/2$ odpovídá délce rezonátoru l. Rychlost zvuku v plynu, jímž je rezonátor naplněn, pak je

$$c = \frac{2l\nu_k}{k}, k = 1, 2, 3... \tag{8}$$

Poissonovu konstantu κ kysličníku uhličitého určíme ze změřené rychlosti zvuku. Z výrazu pro rychlost zvuku v plynech, a stavové rovnice ideálního plynu Poissonovu konstantu vyjádříme jako [1]

$$\kappa = \frac{c^2\mu}{RT} \tag{9}$$

kde μ je molekulová hmotnost plynu, R molární plynová konstanta a T je teplota v Kelvinech.

3 Průběh a výsledky měření

3.1 Podmínky pokusu

Teplota místnosti	22,9 °C
Atmosférický tlak	970,8 kPa
Relativní vlhkost vzduchu	32,9 %

3.2 Nejistoty měření

Při měření metodou Kundtovy trubice odhaduji nepřesnost určení vzdáleností kmiten na ±10 mm. Nejistota délka jedné půlvlny je odpovídajícím zlomkem.

Při měření metodou uzavřeného rezonátoru byly měřeny vzdálenosti pomocí milimetrové stunice s nejistotou ±0,5 mm, k měření frekvence, při které dochází k rezonaci, byl použit mikroampérmetr Metra a RTF ZÄHLER G-2001.500 s přesností ±1 Hz. Protože však RC generátorem Tesla BM 492 nebylo možné frekvenci jemně regulovat, odhaduji celkovou nepřesnost na ±5 Hz.

3.3 Kundtova trubice

Délka tyče	(1509±1) mm
Délka Kundtovy trubice při pěti půlvlnách	(768±10) mm
Délka Kundtovy trubice při čtyřech půlvlnách	(615±10) mm
Hustota mosazi dle [2]	8300–8600 kgm^{-3}

Spočítal jsem dle vztahů 4 a 5, jaká by byla rychlost zvuku v suchém vzduchu a při relativní vlhkosti 50%, při vlhkosti vzduchu 32,9% jsem ji metodou lineární regrese určil jako 346,05 ms^{-1}.

Rychlost zvuku v mosazi jsem vypočítal dle vzorce 3 $c_1 = (3400 \pm 10)\,\mathrm{ms}^{-1}$.

Modul pružnosti mosazi jsem dle vztahu 6 vypočítal $E = (98 \pm 2)\,GPa$

3.4 Uzavřený rezonátor

3.4.1 Resonanční frekvence ve vzduchu při konstantní délce rezonátoru

f [Hz] (délka 80 cm)	212	433	646	860	1069	1287	1504	1717	1926	2143	2363	2575	2787
f [Hz] (délka 70 cm)	242	491	735	984	1229	1719	1959	2206	2456	2696			

Metodou lineární regrese byly změřeny rychlosti zvuku

$$c_{80cm} = 343,2 \pm 0,1\,\mathrm{ms}^{-1}$$

$$c_{70cm} = 343,4 \pm 0,1\,\mathrm{ms}^{-1}$$

Srovnáním výsledků a metodou přenosu chyb se dostáváme k výsledku

$$c_{vzduch} = 343,3 \pm 2\,\mathrm{ms}^{-1}$$

3.4.2 Resonanční délka rezonátotu při konstantní frekvenci

l [mm] (frekvence 2395 Hz)	86,0	78,9	71,8

Naměřená rychlost zvuku je

$$c_{2395Hz} = 340,1 \pm 5\,\mathrm{ms}^{-1}$$

3.4.3 Resonanční frekvence v oxidu uhličitém při konstantní délce rezonátoru

f [Hz] (délka 80 cm)	172	358	535	713	890	1247	1423	1600	1779	1958	2134	2310	2488

Výsledná rychlost zvuku v oxidu uhličitém je

$$c_{CO_2} = 284,6 \pm 3\,\mathrm{ms}^{-1}$$

3.5 Poissonova konstanta

Z rychlosti zvuku zjištěné výše vypočteme podle vztahu 9 Poissonovu konstantu pro oxid uhličitý.

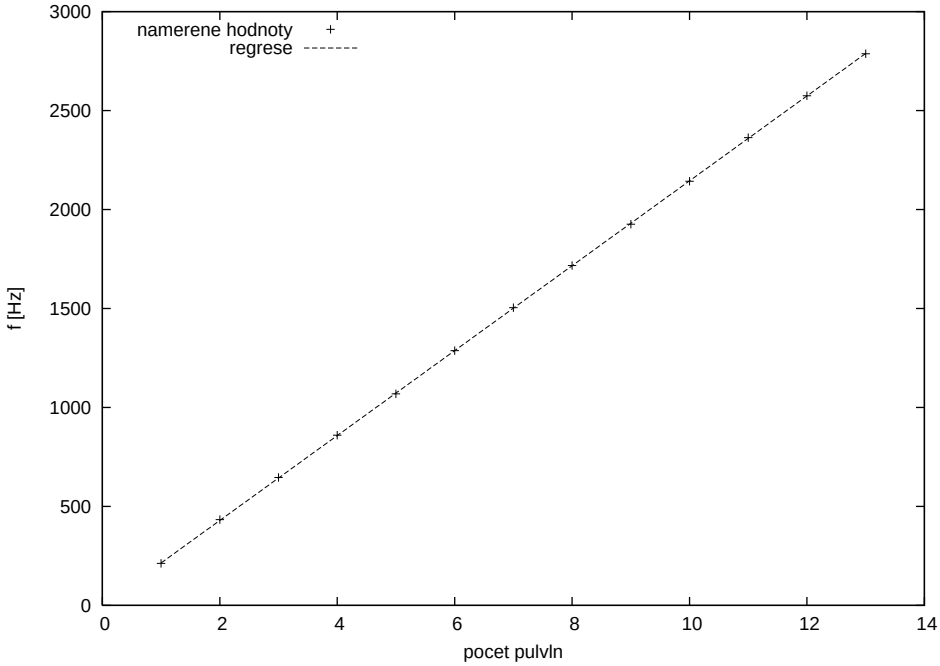
Atomová hmotnost kyslíku je $_O = 16,0\mathrm{gmol}^{-1}$

Atomová hmotnost uhlíku $_C = 12,0\mathrm{gmol}^{-1}$

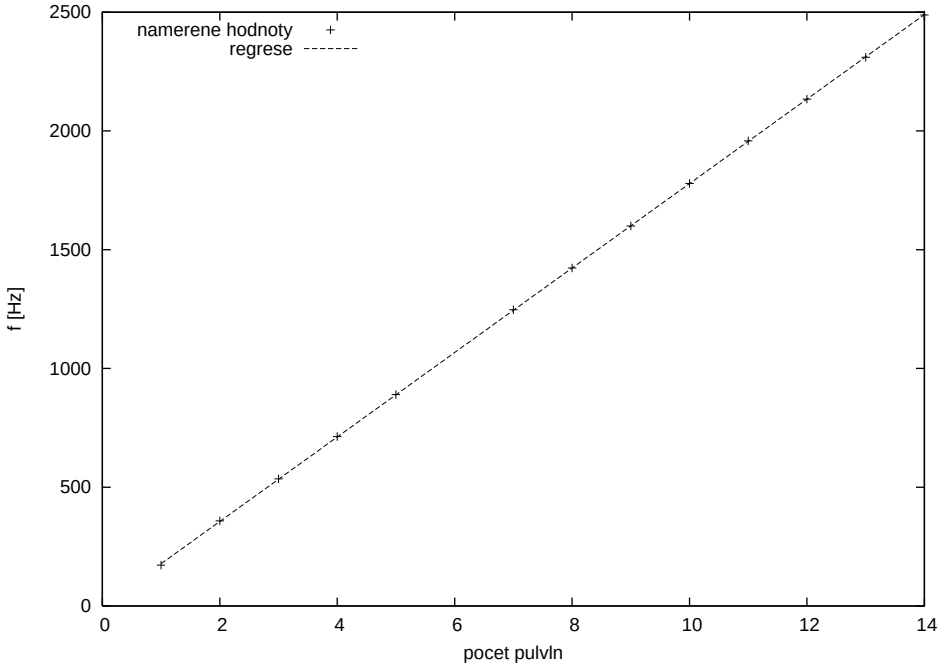
Molární plynová konstanta je $R = 8,314\mathrm{JK}^{-1}\mathrm{mol}^{-1}$

Poissonova konstanta pro oxid uhličitý je $\kappa_{CO_2} = (1,45 \pm 0,08)\mathrm{ms}^{-1}$

ObrázekZávislost rezonanční frekvence na počtu půlvln v rezonátoru naplněného vzduchem



ObrázekZávislost rezonanční frekvence na počtu půlvln v rezonátoru naplněného oxidem uhličitým



4 Diskuse výsledků

4.1 Kundtova trubice

Zjištěná rychlost zvuku v mosazi $c_1 = (3400 \pm 10)$ se přesně shoduje s tabulkovou hodnotou, vypočítaný modul pružnosti $E = (98 \pm 2)\, GPa$ se shoduje s uváděnou hodnotou [2] 99 GPa v rámci své chyby.

Při měření touto metodou dochází zřejmě k největší chybě při určení délky Kundtovy trubice – vyloudit tón který vede k rozptylu korkové drti je totiž obtížné a není možné přesně určit při jaké délce se začínají vytvářet obrazce a při jaké přestávají. Ze dvou délek, při kterých se obrazce vytvořili, není ani možné přesně odhadnout nejistotu měření.

Vzorce 4 a 5 umožňují poměrně přesně zjistit rychlost zvuku při podmínkách pokusu, přestože ani jeden není určen přesně pro podmínky, při kterých jsem pracoval. Nejistota tohoto odhadu je zahrnuta ve výsledcích.

Přes obtížné určování resonančních délek se výsledky výborně shodují s tabulkovými hodnotami.

4.2 Uzavřený rezonátor

Rychlosti zvuku ve vzduchu se vzájemně shodují v rámci své chyby, jsou o něco nižší než rychlost zvuku vypočítaná ze vztahů 4 a 5, ale v rámci své nejistoty se s ní téměř shodují.

Rychlost zvuku v oxidu uhličitém se neshoduje s tabulkovou hodnotou [2] 260,1 ms^{-1}, vysvětluji si to tím, že v trubici nebyl čistý oxid uhličitý, ale jeho směs se vzduchem.

4.3 Poissonova konstanta

Poissonova konstanta oxidu uhličitého se výrazně liší od uváděné hodnoty 1,304. Vysvětluji si to tím, že ve vzorci vystupuje v druhé mocnině rychlost zvuku, která byla určená nepřesně.

5 Závěr

Metodou Kundtovy trubice jsem určil modul pružnosti mosazi v tahu

$$E = (98 \pm 2)\, GPa$$

Při konstantní délce rezonátoru jsem naměřil rychlost zvuku

$$c_{vzduch} = 343,3 \pm 2\,\mathrm{ms}^{-1}$$

při konstantní frekvenci

$$c_{2395Hz} = 340,1 \pm 5\,\mathrm{ms}^{-1}$$

Při konstatní délce rezonátoru jsem naměřil rychlost zvuku

$$c_{CO_2} = 284,6 \pm 3\,\mathrm{ms}^{-1}$$

Poissonovu konstantu pro oxid uhličitý jsem určil

$$\kappa_{CO_2} = (1,45 \pm 0,08)\,\mathrm{ms}^{-1}$$

Reference

[1] Studijní text fyzikálního praktika http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_110.pdf

[2] J. Brož, V. Roskovec, M. Valouch: Fyzikální a matematické tabulky, SNTL, Praha 1980