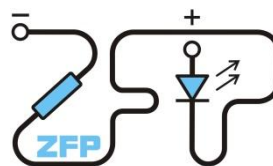


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum I



Úloha č. X

Název úlohy: Rychlost šíření zvuku

Jméno: Ondřej Skácel

Obor: FOF

Datum měření: 16.3.2015

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 uhličitém pomocí uzavřeného rezonátoru. Výsledky měření zpracujte metodou lineární regrese a graficky znázorněte.
- 3) Vypočítejte Poissonovu konstantu κ oxidu uhličitého z naměřené rychlosti zvuku.

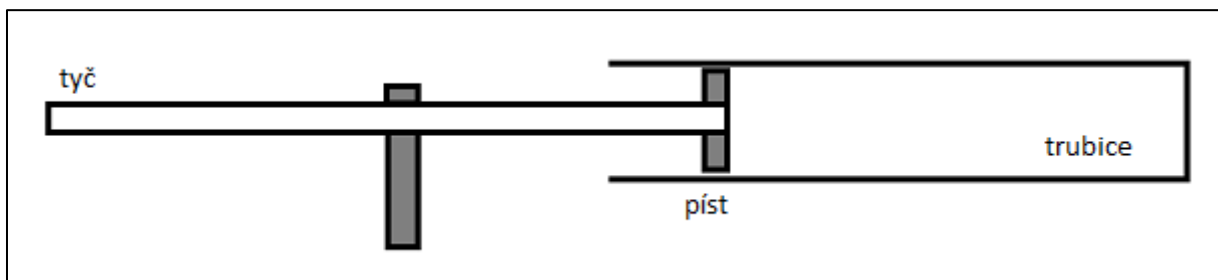
Teoretická část

Pro rychlost šíření zvuku c platí vztah

$$c = \lambda f \quad (1)$$

kde λ je vlnová délka a f je frekvence vlnění.

Rychlost šíření zvuku v tyči c_t lze měřit za pomoci Kundtovy trubice[1].



Obr. 1 – Schématický náčrt Kundtovy trubice.

Měření spočívá v tom, že podélně rozechvíváme v polovině délky upevněnou tyč, která vydává zvuk o vlnové délce

$$\lambda_t = 2l_t \quad (2)$$

kde l_t je délka tyče. Při správném nastavení vzdálenosti pístu od konce trubice d vznikne v trubici stojaté vlnění, které pak v kmitnách rozmete prášek nasypáný v trubici. Vzdálenost dvou sousedních míst, v nichž není prášek rozmetán (uzlů stojatého vlnění) je rovna polovině vlnové délky zvukové vlny ve vzduchu λ_v . Pro rychlost šíření zvuku v tyči pak platí

$$c_t = c_v \frac{\lambda_t}{\lambda_v} \quad (3)$$

kde c_v je rychlost zvuku ve vzduchu daná přibližně vzorcem

$$c_v = (344,36 + 0,63(t - 20))m \cdot s^{-1} \quad (4)$$

kde t je teplota vzduchu ve stupních Celsia. Z rychlosti šíření zvuku v tyči pak lze určit modul pružnosti v tahu E podle vztahu

$$E = c_t^2 \rho \quad (5)$$

kde ρ je hustota tyče.

Rychlost zvuku v plynu se měří pomocí uzavřeného rezonátoru s nastavitelnou délkou [1], který má na jedné straně zdroj zvuku nastavitelné frekvence a na druhé mikrofon snímající zvuk s výstupem na ampérmetr. Při rezonanci je elektrický signál maximální. Měření lze provádět dvěma způsoby:

- a) s konstantní frekvencí zvuku a proměnnou délkou rezonátoru
Měněním délky rezonátoru dosáhneme rezonance. Rozdíl délek rezonátoru Δl při nejbližších dvou rezonancích je pak roven polovině vlnové délky zvuku. Pro rychlost zvuku pak platí

$$c = 2\Delta l f \quad (6)$$

kde f je frekvence zvuku.

- b) s konstantní délkou rezonátoru a proměnnou frekvencí zvuku
Měníme frekvenci zvuku tak, abychom dosáhli rezonance. Pro rychlost zvuku platí vztah

$$c = \frac{2lf_k}{k} \quad (7)$$

kde l je délka rezonátoru a f_k je k -tá rezonanční frekvence.

Ze změřené rychlosti zvuku pak lze určit Poissonovu konstantu κ daného plynu podle vztahu

$$\kappa = \frac{c^2 \mu}{RT} \quad (8)$$

kde μ je molekulová hmotnost plynu, R molární plynová konstanta a T teplota ve stupních Kelvina.

Výsledky měření

Měření probíhala při teplotě $t = (23,0 \pm 0,1)^\circ\text{C}$ respektive $T = (296,2 \pm 0,1)^\circ\text{K}$. Všechny chyby jsou vztaženy na pravděpodobnost 1σ .

Rychlost šíření zvuku v tyči

Při naměřených vzdálenostech d pístu od konce tyče byla v prášku tři rozmetaná místa (kmitny), tj. 4 půlvlny. Chyba měření vzdálenosti d je asi 0,5cm. Měření probíhalo s mosaznou tyčí.

Délka tyče $l_t = (151 \pm 0,5)\text{cm}$

Rychlost zvuku ve vzduchu **(4)** $c_v = (346,25 \pm 0,06)\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Hustota tyče $\rho = 8600\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Tabulka 1 – naměřené vlnové délky v Kundtově trubici

$d[\text{cm}]$	60,0	61,0	61,5	63,0	64,5
vznikly stojaté vlny?	ne	ano	ano	ano	ne
$\lambda_v[\text{cm}]$	-	30,5	30,8	31,5	-

Výsledná vlnová délka (výsledek je odhadnut jako průměr krajních hodnot při nichž vzniklo stojaté vlnění a chyba je odhadnuta)

$$\lambda_v = (31,0 \pm 0,8)\text{cm}$$

Celková chyba rychlosti zvuku v tyči je odhadnuta jako **[2]**

$$u_{c_t} = c_t \sqrt{\left(\frac{u_{l_t}}{l_t}\right)^2 + \left(\frac{u_{\lambda_v}}{\lambda_v}\right)^2} \quad (9)$$

kde u_{l_t} a u_{λ_v} jsou chyby měření délky tyče respektive vlnové délky ve vzduchu.

Chyba modulu pružnosti $u_E = 2E \frac{u_{c_t}}{c_t}$

Výsledná rychlost zvuku v mosazné tyči

$$c_t = (3373 \pm 88)\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Modul pružnosti v tahu tyče

$$E = (97,9 \pm 5,1)\text{GPa}$$

Měření uzavřeným rezonátorem se vzduchem

a) s konstantní frekvencí rezonátoru

Měření probíhalo se zvukem o frekvenci $f = 2997\text{Hz}$, jejíž chyba je zanedbatelná vzhledem k ostatním systematickým chybám.

Chyba měření délky rezonátoru $u_l = 0,05\text{ cm}$

Tabulka 2 – délky rezonátoru při nichž nastala rezonance

$l\text{ [cm]}$	74,6	80,2	85,9
$\Delta l\text{ [cm]}$	-	5,6	5,7

Systematická část chyby měření je odhadnuta jako

$$u_c = \sqrt{2}c \frac{u_l}{\Delta l} \quad (10)$$

Výsledná rychlost zvuku ve vzduchu

$$c = (338,7 \pm 4,7)\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

b) s konstantní délkou rezonátoru

Měření probíhalo při délce rezonátoru $l = 80,0\text{cm}$, jejíž chyba je zanedbatelná.

Tabulka 3 – rezonanční frekvence vzduchu v uzavřeném oscilátoru

k	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_k\text{ [Hz]}$	211	433	645	865	1072	1288	1504	1716
k	9	10	11	12	13	14	15	-
$f_k\text{ [Hz]}$	1928	2145	2362	2575	2786	3002	3220	-

Výsledky byly zpracovány lineární regresí a chyba měření byla kvůli zanedbatelnosti statistické chyby lineární regrese odhadnuta jako[2]

$$u_c = 2l \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_i \left(\frac{u_f}{k_i}\right)^2} \quad (11)$$

Výsledná rychlost zvuku ve vzduchu

$$c = (343,3 \pm 2,7)\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Měření uzavřeným rezonátorem s oxidem uhličitým

Měření probíhalo při konstantní délce rezonátoru $l = 80,0\text{cm}$, jejíž chyba je zanedbatelná. Molekulová hmotnost oxidu uhličitého $\mu = 0,044\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$. Chyba měření frekvence je stejná jako pro vzduch tj. $u_f = 5\text{Hz}$.

Tabulka 4 – rezonanční frekvence oxidu uhličitého v uzavřeném rezonátoru

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f_k[\text{Hz}]$	161	336	496	671	834	1004	1173	1339	1505
k	10	11	12	13	14	15	16	17	-
$f_k[\text{Hz}]$	1673	1843	2008	2176	2345	2514	2681	2849	-

Výsledky byly zpracovány lineární regresí a pro chybu měření rychlosti zvuku byl použit vzorec(11). Chyba měření Poissonovy konstanty $u_\kappa = 2\kappa \frac{u_c}{c}$

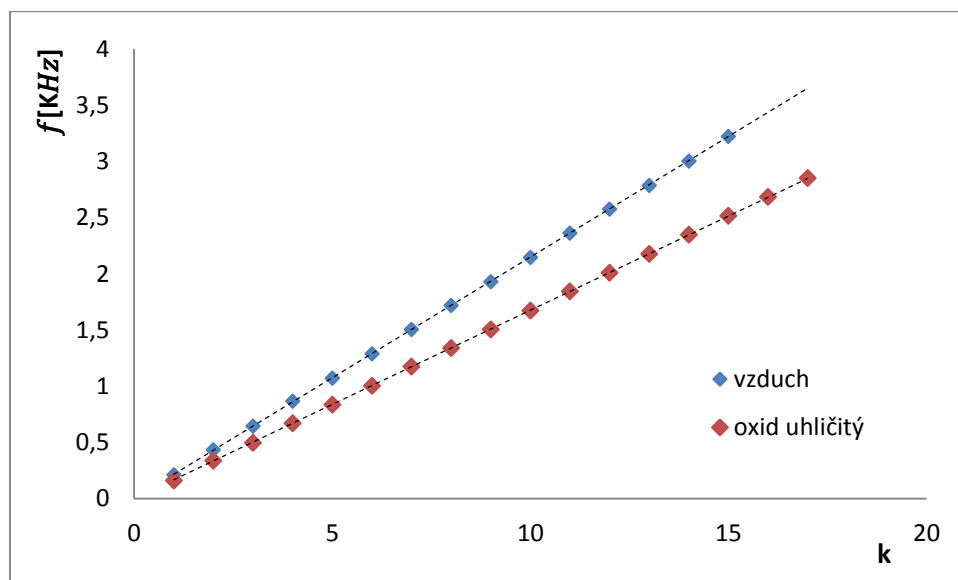
Výsledná rychlost zvuku v oxidu uhličitém

$$c = (267,9 \pm 2,5)\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Poissonova konstanta oxidu uhličitého

$$\kappa = 1,283 \pm 0,024$$

Grafy



Graf 1 – naměřené rezonanční frekvence v uzavřeném rezonátoru

Diskuze výsledků

Naměřená rychlost zvuku v mosazné tyči nesouhlasí zcela s tabulkovou hodnotou $3475 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [3], ale shoda je vzhledem k použité metodě přijatelná. Výsledný modul pružnosti v tahu se v rámci experimentální chyby shoduje s tabulkovou hodnotou $102 - 125 \text{ GPa}$ [3].

Rychlost zvuku ve vzduchu naměřená za konstantní frekvence zvuku v rezonátoru se neshoduje s hodnotou získanou podle vzorce (4), tj. $346,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Použitá metoda však není příliš přesná kvůli malému rozpětí délky rezonátoru.

Rychlost zvuku ve vzduchu naměřená za konstantní délky uzavřeného rezonátoru se při uvážení chyby měření téměř shoduje s očekávanou hodnotou $346,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Rychlost zvuku v oxidu uhličitém se shoduje s tabulkovou hodnotou $267 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [4]. Naměřená Poissonova konstanta κ_{O_2} je nižší než tabulková hodnota $1,289$ [3] pro 20°C , ale rozdíl mohl být způsoben tím, že měření bylo prováděno za vyšší teploty a κ s teplotou klesá.

Závěr

Naměřená rychlost zvuku v mosazné tyči

$$c_t = (3373 \pm 88) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Modul pružnosti mosazné tyče

$$E = (97,9 \pm 5,1) \text{ GPa}$$

Rychlost zvuku ve vzduchu měřená s konstantní frekvencí zvuku v rezonátoru

$$c = (338,7 \pm 4,7) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Rychlost zvuku ve vzduchu měřená s konstantní délkou rezonátoru

$$c = (343,3 \pm 2,7) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Rychlost zvuku v oxidu uhličitém

$$c = (267,9 \pm 2,5) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Poissonova konstanta oxidu uhličitého

$$\kappa = 1,283 \pm 0,024$$

Seznam použité literatury

[1] studijní text dostupný na

http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_110.pdf

[2] Jiří English: Úvod do praktické fyziky I, Matfyzpress, Praha 2006

[3] fyzikální tabulky dostupné na <http://www.engineeringtoolbox.com/>

[4] A. J. Zuckerwar: Handbook of the Speed of Sound in Real Gases, Academic Press, 2002