Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

Praktikum 1

Úloha č. 10

Název: Rychlost šíření zvuku

Pracoval: Jan Kotek stud.sk.: 17 dne: 2.3.2012

Odevzdal dne: .....

	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 resonátoru. Výsledky měření zpracujte metodou lineární regrese a graficky znázorněte.

3. Vypočítejte Poissonovu konstantu κ oxidu uhličitého z naměřené rychlosti zvuku.

Teoretická část

Pro určení rychlosti šíření zvukového vlnění v prostředí c využijeme vztah:

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

kde f je frekvence zvuku a λ jeho vlnová délka.

Měření rychlosti šíření zvuku pomocí Kundtovy trubice

Při měření rychlosti zvuku pomocí metody Kundtovy trubice jsou pomocí (korkového) prášku v průhledné trubici zviditelněny kmitny a uzly podélného stojatého vlnění. Trubice je z jedné strany uzavřena. Z druhé strany je umístěn zdroj podélného vlnění. Pokud je délka trubice vhodně nastavena, pak vznikne stojaté vlnění. Pro jeho vlnovou délku λ_v platí, že je dvojnásobkem vzdálenosti d mezi dvěma kmitnami:

$$\lambda_v = 2d \qquad (2)$$

Při našem měření je vlnění buzeno měděnou tyčí o délce l upevněnou v jejím středu. Vlnová délka vlnění λ_t v tyči je dvojnásobkem její délky:

$$\lambda_t = 2l \qquad (3)$$

Protože frekvence f se při šíření zvuku různými prostředími zachovává, platí při platnosti vztahu (1)

$$\frac{c_t}{\lambda_t} = \frac{c_v}{\lambda_v} \qquad (4)$$

kde c_t je rychlost zvuku v tyči a c_v a λ_v rychlost zvuku a jeho vlnová délka ve vzduchu.
Rychlost c_v určíme podle vztahu pro vzduch o teplotě t blízké 20°C a vlhkosti vzduchu 50%:

$$c_v = [344{,}36 + 0{,}63(t - 20°C)]ms^{-1} \qquad (5.1)$$

a podle vztahu pro suchý vzduch:

$$c_v = 331{,}36 + 0{,}61t \qquad (5.2)$$

Pro rychlost zvuku v tyči c_t tak platí:

$$c_t = c_v * \left(\frac{l}{d}\right) \qquad (6)$$

Pro modul pružnosti E materiálu o hustotě ρ, z nějž je tyč vyrobena, platí:

$$E = \rho c^2 \qquad (7)$$

Měření rychlosti šíření zvuku v plynu pomocí uzavřeného rezonátoru

Vlnovou délku λ určíme pomocí rezonátoru naplněného plynem, v našem případě vzduchem a oxidem uhličitým, u kterého lze měnit vstupní frekvenci f a pokud je v trubici vzduch i délku rezonátoru. Intenzita zvuku v rezonátoru je snímána pomocí mikrofonu a ampérmetru. Pokud dojde k rezonanci tak intenzita značně naroste. Pokud je frekvence f ponechána konstantní, lze rychlost zvuku c určit postupnou změnou délky rezonátoru podle vztahu:

$$c = 2f(\Delta l) \qquad (8)$$

kde Δl je rozdíl dvou nejbližších délek rezonátoru, při nichž dochází k rezonanci.

Pokud je délka l rezonátoru ponechána konstantní, nastává rezonance za předpokladu, že frekvence je celočíselným násobkem základní frekvence f_0

$$f_0 = \frac{c}{2l} \qquad (9)$$

Vztah (9) snadno upravíme

$$c = \frac{2lf_k}{k} \qquad (10)$$

kde f_k je frekvence odpovídající k-násobku f_0.

Poissonova konstanta κ je určena vztahem:

$$\kappa = \frac{\mu f^2}{RT} \qquad (11)$$

kde μ je molekulová hmotnost plynu, R molární plynová konstanta, T je termodynamická teplota.

Podmínky měření

charakteristika vzduchu v místnosti: Teplota: 24,7°C
Relativní vlhkost vzduchu: 35,1%
tlak: 998,1 hPa

Pomůcky

Kundtova trubice, uzavřený rezonátor, mosazná tyč, generátor zvuku, mikroampérmetr, mikrofon, oxid uhličitý, pásové měřidlo, korkový prášek, plsť.

Výsledky měření

Kundtova trubice

Délka tyče byla změřena l=(150,8±0,3)cm, čemuž podle vztahu (3) odpovídá vlnová délka λ_t=(301,6±0,6)cm

Při délce rezonanční trubice l_1=(75±1)cm vzniklo pět vlnek, při délce l_2=(62±1) vznikly čtyři vlnky. Absolutní chyby byly odhadnuty, souvisí zejména s tím, že délka trubice neodpovídala přesně délce, při níž nastává rezonance, pouze se jí blížila. Pro malý počet údajů statisticky nezpracovávám.

Tomu odpovídá vlnová délka λ_v=(30,5±0,5)cm vlnění ve vzduchu.

Rychlost zvuku ve vzduchu c_v získáme lineární interpolací hodnot získaných pomocí vztahů (5.1) a (5.2), nebo dosadíme hodnotu experimentálně zjištěnou pomocí uzavřeného rezonátoru. Vypočítaná hodnota: c_v=(347,1±0,1)m/s. Za pomoci vztahu (4) potom získám rychlost šíření zvuku v mosazné tyči:

c_t=(3432±57)m/s

Modul pružnosti mosazi E je potom dle vztahu (7) za předpokladu hustoty ρ=8600kg·m^3 [3]

E=(101,3±3,4) GPa

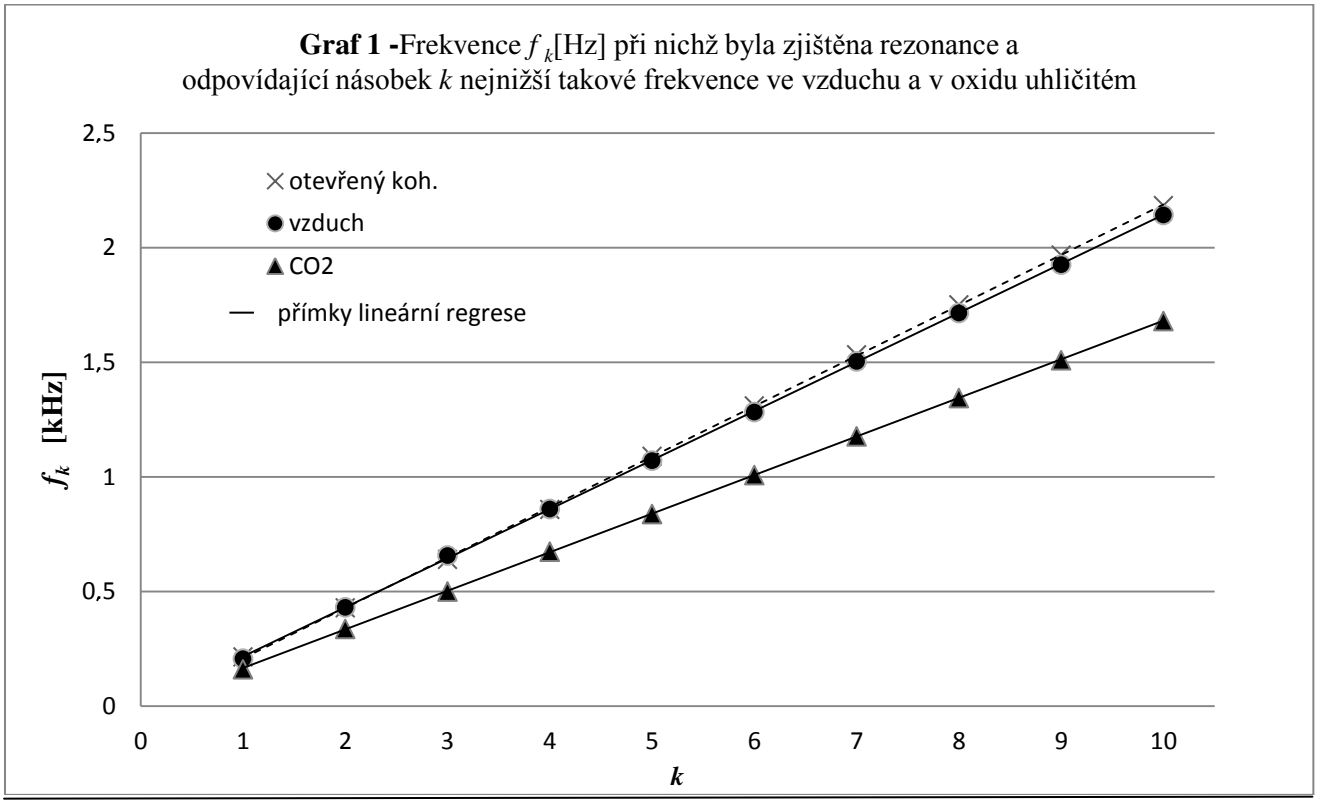
Uzavřený rezonátor za konstantní délky

Při délce rezonátoru l=(80±0,1)cm jsem určil následující hodnoty frekvence f při nichž dochází k rezonanci. Pro zajímavost uvádím, jak vypadalo měření, když jsem zapomněl zavřít kohoutky pro přívod plynu (tedy se nejednalo o uzavřený rezonátor).

Tabulka 1 – Frekvence f [Hz] při nichž byla zjištěna rezonance a odpovídající násobek k nejnižší takové frekvence ve vzduchu a v oxidu uhličitém

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
vzduch	207	431	657	860	1071	1283	1504	1715	1926	2143
otevřené koh.	215	529	640	858	1090	1310	1533	1751	1968	2184
CO_2	161	337	500	674	838	1008*	1177	1344	1509	1680

*tato frekvence byla velmi slabá



Po zpracování metodou lineární regrese dostáváme pro otevřený koh. hodnotu koeficientu f_k/k 220. Pro vzduch 214 a pro oxid uhličitý 168. Z chyby regrese oproti naměřeným hodnotám určím, že je asi 3Hz. Z toho podle vztahu (10) určíme rychlosti zvuku:

Vzduch: c_v=(342±3)m/s
Oxid uhličitý: c_{co2}=(269±3)m/s

K určení Poissonovy konstanty κ je dle vztahu (11) potřeba znát molekulovou hmotnost CO_2 μ=0,044kg/mol. Po dosazení ostatních hodnot, které byly naměřeny, získávám:

κ=(1,29±0,03)

Uzavřený rezonátor s konstantní frekvencí

Dle rady vyučujícího jsem zvolil frekvenci f =(2193±3)Hz. Délku l rezonátoru jsem měřil s chybou asi 1mm. Na možném rozsahu jsem našel tři hodnoty l, pro něž nastala rezonance. (86,0±0,1)cm, (78,2±0,1)cm a (70,3±0,1) cm. Rozdíl vzdáleností Δl je tedy (7,8±0,2)cm resp. (7,9±0,2)cm. Dále uvažuji aritmetický průměr obou měření s chybou určení 0,3cm. Tomu podle vztahu (8) odpovídá rychlost:

c_{v2}=(344±14)m/s

Diskuze

Rychlost zvuku v mosazné tyči c_t=(3432±57)m/s odpovídá hodnotě uvedené v [3] 3400m/s. Chyba je způsobena zejména nepřesným určením délky trubice, protože úkolem bylo vlastně zjistit, kdy jsou obrazce nejzřetelnější. Přesný výrobní postup mosazi, z níž je tyč vyrobena, je nám neznámý, a tak skutečná rychlost i hustota tyče se může od tabulkových hodnot lišit. Zjištěný modul pružnosti v tahu E=(101,3±3,4) GPa také odpovídá hodnotě uvedené v [3] 96-110 GPa.
Rychlost zvuku ve vzduchu změřená pomocí uzavřeného rezonátoru při délce l=80cm c_v=(342±3)m/s se trochu liší od vypočítané hodnoty (347,1±0,1)m/s. Jde pravděpodobně o nějakou systematickou chybu měřící aparatury. Když jsem měřil s otevřenými kohoutky, tak jsem zjistil vyšší hodnotu f_k/k. Je vidět, že i relativně malá změna charakteristiky aparatury se může projevit ve výsledcích. Při určování rychlosti zvuku v oxidu uhličitém jsem naměřil rychlost c_{co2}=(269±3)m/s, což vzhledem k hodnotě 260m/s udávané pro teplotu 20°C vypadá rozumně i kvůli již zmíněné systematické chybě měřící aparatury. Zde se špatně měřila šestá nejmenší frekvence, pravděpodobně opět kvůli specifickým vlastnostem měřící aparatury.
Při měření za konstantní frekvence byla určena rychlost zvuku c_{v2}=(344±14)m/s. Větší udaná chyba je způsobena pravděpodobně podceněním přesnosti měření. Poissonova konstanta vyšla κ=(1,29±0,03), to se dobře shoduje s [3] které udávají pro teplotu 20°C hodnotu 1,29.

Závěr

Určil jsem rychlost šíření zvuku v mosazné tyči metodou Kundtovy trubice:

c_t=(3432±57)m/s

Z této hodnoty jsem stanovil modul pružnosti v tahu:

E=(101,3±3,4) GPa

Změřil jsem rychlost zvuku ve vzduchu a oxidu uhličitém metodou uzavřeného rezonátoru při konstantní délce:

c_v=(342±3)m/s

c_{co2}=(269±3)m/s

Z naměřené rychlosti jsem stanovil Poissonovu konstantu pro oxid uhličitý:

κ=(1,29±0,03)

Změřil jsem rychlost zvuku ve vzduchu metodou uzavřeného rezonátoru při konstantní frekvenci:

c_{v2}=(344±14)m/s

Literatura

[1] D.Slavínská a kol.: Fyzikální praktikum I., SPN, Praha 1989.
[2] J. Englich.: Úvod do praktické fyziky I, Matfyzpress, Praha 2006.
[3] B. Kotlík a kol.: MFCHT, Fragment, Praha 2003