

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM I

Úloha číslo: X

Název: **Rychlost šíření zvuku**

Vypracoval: **Ondřej Hlaváč** stud. skup.: F12 dne: 27. 3. 2001

Odevzdal dne: 10. 4. 2001 vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: dne: výsledek klasifikace: 2

Připomínky: Chyby měření.

Pracovní úkol

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

Teorie

Rychlost šíření zvukové vlny je závislá na látkových konstantách a tvaru prostředí, kterým se vlna šíří. Změříme-li vlnovou délku vlny λ a frekvenci f v daném prostředí, lze ze vztahu

$$v = \lambda \cdot f \quad (1)$$

vypočítat rychlost v zvukové vlny v daném prostředí. Frekvence je definována jako převrácená hodnota periody T . Nejlépe lze vlnovou délku měřit na stojatém vlnění, kde je vzdálenost sousedních uzlů rovna polovině vlnové délky a vzdálenost kmitny a uzlu čtvrtina vln. délky. Při přechodu vlny mezi různými prostředími se nemění frekvence vlnění. Platí vztah

$$\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2} \quad (2)$$

kde v_1 je rychlost šíření a λ_1 je vln. délka vlny v 1. prostředí, v_2 je rychlost šíření λ_2 je vln. délka vlny v 2. prostředí. Pro výpočet rychlosti vlnění v_2 v druhém prostředí plyne z (2) vztah

$$v_2 = \frac{v_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1} \quad (3)$$

Pro rychlost v šíření zvukové vlny tenkou tyčí platí vztah (/1/ str. 70)

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (4)$$

kde E je modul pružnosti v tahu a ρ je hustota tyče. Pro výpočet modulu pružnosti plyne z (4)

$$E = \rho \cdot v^2 \quad (5)$$

V plynech se zvukové vlny šíří rychlostí v určenou Laplaceovým vzorcem /2/

$$v = \sqrt{\kappa \frac{p}{\rho}} \quad (6)$$

kde κ je Poissonova konstanta, p tlak plynu a ρ hustota plynu. Budeme-li dále předpokládat, že plyn je ideální a dosadíme-li ze stavové rovnice pro ideální plyn do (6) dostaneme

$$v = \sqrt{\kappa \frac{RT}{\mu}} \quad (7)$$

kde R je molární plynová konstanta, T teplota ve st. Kelvina a μ molární hmotnost plynu. Ze (7) plyne

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

Metody měření

Rychlost zvuku měříme metodou Kundtovy trubice viz. /2/. Zvukové stojaté vlny se budí pomocí tyče ze zkoumaného materiálu. Tyč je na konci opatřena korkovým pístem. Je nutné, aby se píst nedotýkal skleněné trubice. Nastavíme podmínky pro vznik rezonance (nejzřetelnější obrazec) a podélně tyč rozkmitáme. Tyč budí vlny o vlnové délce $2l$, kde l je délka tyče. Uzly a kmitny zviditelňujeme pomocí korkové drtě. Zaměříme délku rezonátoru. Ze vztahu (3) vypočteme rychlost zvuku v mosazi v_2 . Za rychlost zvuku ve vzduchu v_1 dosadíme ze vztahu /2/

$$v_1 = [344,36 + 0,63 \cdot (t - 20)] \text{ ms}^{-1} \quad (9)$$

kde t je teplota vzduchu ve $^{\circ}\text{C}$. Tento vzorec platí pro vzduch s relativní vlhkostí 50% v okolí 20°C .

Ze vztahu (5) poté vypočteme modul pružnosti E .

Další metoda měření rychlosti zvuku v plynech je metoda uzavřeného rezonátoru /2/. Délku zvukové vlny v rezonátoru lze určovat dvojím způsobem.

Ponecháváme frekvenci zdroje zvuku konstantní a vzájemným posunováním trubic rezonátoru nastavujeme délku rezonátoru odpovídající rezonanci. Rozdíl délek rezonátoru při nejbližších dvou rezonancích je roven polovině vlnové délky.

V druhém případě ponecháváme délku rezonátoru stálou a měníme frekvenci zdroje zvuku. Rezonance nastává při frekvencích f_k , jímž odpovídající vlnová délka λ_k vyhovuje podmínce

$$l = k \cdot \frac{\lambda_k}{2} \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (10)$$

kde l je délka rezonátoru. Po dosazení vztahu (1) do vztahu (10) dostáváme pro hledanou rychlost zvuku v vztah

$$v = \frac{2 \cdot l \cdot f_k}{k} \quad (11)$$

Neboť nevíme vždy přesně, o rezonanci kterého řádu jde, je vhodnější použít vzorce

$$v = 2l \cdot (f_{k+1} - f_k) \quad (12)$$

Při měření rychlosti zvuku ve vzduchu lze užít obou způsobů. U měření rychlosti zvuku v CO_2 lze užít postupu stálé délky rezonátoru. Při použití prvního způsobu by došlo k nežádoucí změně objemu CO_2 . Z takto zjištěné rychlosti zvuku v CO_2 vypočítáme dle vztahu (8) Poissonovu konstantu κ . Za T dosazujeme teplotu okolí, za μ tabelované hodnoty.

Pracovní postup

Viz. /2/

- suchou skleněnou trubici vysypeme korkovým práškem a zasuneme do ní uchycenou mosaznou tyč s připevněným korkovým pístem; píst se nesmí dotýkat stěn trubice; tyč musí být uchycena ve svém středu
- třením trubice plstí způsobujeme chvění tyče; pozorujeme vzniklé obrazce v trubici, popř. měníme zasunutí tyče
- změříme délku rezonátoru; vypočteme rychlost a modul pružnosti v tahu
- při konstantní délce uzavřeného rezonátoru měníme frekvenci a na mikroampermetru sledujeme stav rezonance; zjišťujeme frekvenci příslušející danému stupni rezonance; měření provádíme s rezonátorem naplněným vzduchem a CO_2
- při konstantní frekvenci měníme délku rezonátoru naplněného vzduchem; měříme vzdálenost dvou sousedních kmíten

Pracovní pomůcky

Kundtova trubice, mosazná tyč, RC generátor Tesla, mikroampermetr Metra, tlaková láhev CO_2 , pásové měřítko, balónek, korková drť, kalafuna, plst'.

Výsledky měření

Nastavení měřících přístrojů

Při měření bylo nutno měnit rozsah frekvenčního generátoru a to pro měření 1-4 Tab. 3 a 1-5 Tab. 4 v rozsahu 10^2 a pro měření 5-12 Tab. 3 a 6-12 Tab. 4 v rozsahu 10^3 Hz.

Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty viz. [1]

Tab. 1: Zobrazení půlvln		
Měření	Délka rezonátoru	Počet půlvln
1.	$(0,920 \pm 0,005)$ m	6

Tab. 2: Rezonanční frekvence – vzduch						
Stupeň rezonance	1.	2.	3.	4.	5.	6.
v [s^{-1}]	212	432	646	859	1069	1285
Stupeň rezonance	7.	8.	9.	10.	11.	12.
v [s^{-1}]	1505	1715	1927	2142	2363	2573

Tab. 3: Rezonanční frekvence – CO_2						
Stupeň rezonance	1.	2.	3.	4.	5.	6.
f [s^{-1}]	164	338	504	673	836	1005
Stupeň rezonance	7.	8.	9.	10.	11.	12.
f [s^{-1}]	1176	1341	1507	1676	1847	2013

Měření	1	2	3
$f [s^{-1}]$	1715	1927	2363
$\Delta l [m]$	0,1	0,089	0,073

Tab. 5: Konstantní veličiny			
Délka mosazné tyče	Délka uzavřeného rezonátoru	Teplota	Relativní vlhkost
$(1,505 \pm 0,001) m$	$(0,8000 \pm 0,0005) m$	$(23,9 \pm 0,5) ^\circ C$	$(44,5 \pm 0,5) \%$

Zpracování hodnot

Pomocí (9) získáme z naměřených hodnot v Tab. 5 rychlost vlnění na vzduchu:

$$v_1 = (346,817 \pm 0,063) m \cdot s^{-1}$$

Pomocí (2) získáme z naměřených hodnot v Tab. 5 a Tab. 1 rychlost vlnění v mosazné tyči:

$$\lambda_1 = (0,306 \pm 0,002) m, \lambda_2 = (3,010 \pm 0,002) m$$

$$v_2 = (3412 \pm 22) m \cdot s^{-1}$$

Ze vztahu (5) spočteme modul pružnosti E :

$$\rho = 8500 kg \cdot m^{-3}$$

$$E = (98,9 \pm 1,3) \cdot 10^9 kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$$

Postupnou metodou z naměřených hodnot v Tab. 2 vypočteme nejpravděpodobnější hodnotu rozdílu rezonančních frekvencí v rezonátoru naplněném vzduchem:

$$\Delta f = (214,50 \pm 0,25) Hz$$

Upravením vzorce (12) pak z výše vypočtené střední hodnoty rozdílu frekvencí a z hodnot v Tab. 5 vypočteme rychlost šíření zvukových vln v uzavřeném rezonátoru:

$$v = (343,2 \pm 0,5) m \cdot s^{-1}$$

Stejným způsobem za použití hodnot z Tab. 3 postupujeme i v případě oxidu uhličitého:

$$\Delta f = (167,78 \pm 0,19) Hz$$

$$v = (268,4 \pm 0,3) m \cdot s^{-1}$$

Pro výpočet rychlosti zvuku v uzavřeném rezonátoru naplněném vzduchem můžeme použít i jiné metody ze vzorce (1) a hodnot z Tab. 4 získáme:

$$v = (343,6 \pm 0,8) m \cdot s^{-1}$$

Z vypočtené rychlosti v CO_2 , z hodnot v Tab.5 a ze vztahu (8) získáme hodnotu Poissonovy konstanty:

$$\mu = 0,044 kg \cdot mol^{-1}$$

$$R = 8,314 J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$$

$$\kappa = 1,283 \pm 0,004$$

Diskuse

Naměřená rychlost zvuku v mosazné tyči určená metodou Kundtovy trubice je $v = (3412 \pm 22) m \cdot s^{-1}$ a neliší se v rámci uvedené chyby od tabelované hodnoty a stejně tak i vypočtený modul pružnosti $E = (98,9 \pm 1,3) \cdot 10^9 kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$. Relativní chyba při určování rychlosti byla 0,22% a u modulu pružnosti 1,3%.

Naměřená rychlost zvuku na vzduchu $v = (343,2 \pm 0,5) m \cdot s^{-1}$ se v rámci své velmi nízké chyby (0,15%) neliší od tabelované hodnoty a to i při měření druhým způsobem (konstantní frekvence a proměnná délka rezonátoru) $v = (343,6 \pm 0,8) m \cdot s^{-1}$ (0,23%). Rychlost zvuku v CO_2 $v = (268,4 \pm 0,3) m \cdot s^{-1}$ se přes svoji malou chybu (0,11%) od tabelovaných hodnot již poněkud odlišuje.

Stejně tak i vypočtená Poissonova konstanta $\kappa = 1,283 \pm 0,004$ (0,3%) se mírně odlišuje od tabelované hodnoty. Tyto chyby mohly pravděpodobně vzniknout buď stlačením plynu v rezonátoru při napouštění nebo naopak smísením se zbytky vzduchu v rezonátoru.

Závěr

Určili jsme rychlost šíření podélných zvukových vln v mosazné tyči metodou Kundtovy trubice a z naměřené rychlosti zvuku jsme stanovili modul pružnosti v tahu E materiálu tyče.

Změřili jsme rychlost zvuku ve vzduchu a v oxidu uhličitém pomocí uzavřeného rezonátoru. Vypočítali jsme Poissonovu konstantu k oxidu uhličitého z naměřené rychlosti zvuku.

Literatura

- /1/ Jaromír Brož a kolektiv: Základy fyzikálních měření I. díl; SPN Praha 1967
/2/ Danka Slavínská, Ivana Stulíková, Petr Vostrý: Fyzikální praktikum I.; SPN Praha 1989
/3/ J. Brož, V. Roskovec, M. Valouch: Fyzikální a matematické tabulky

Přílohy

- [1] Zápis měření

Obsah

Pracovní úkol.....	1
Teorie.....	1
Výsledky měření.....	2
Diskuse.....	3
Závěr.....	3
Literatura.....	4
Přílohy.....	4
Obsah.....	4