

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM I

Úloha č.: X

Název: Rychlost šíření zvuku

Vypracovala: stud. sk. dne: 14.11.03.....

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: dne výsledek klasifikace

Připomínky:

I. Pracovní úkol

- I. Určete rychlost šíření podélných zvukových vln v mosazné tyči metodou Kundtovy trubice. Z naměřené hodnoty rychlosti zvuku stanovte modul pružnosti v tahu E materiálu tyče.
- II. Změřte rychlost zvuku ve vzduchu a v oxidu uhličitém pomocí uzavřeného rezonátoru. Vypočítejte Poissonovu konstantu κ oxidu uhličitého z naměřené rychlosti zvuku.

II. Teorie

Pro rychlost zvuku platí:

$$v = \lambda \nu \quad (1)$$

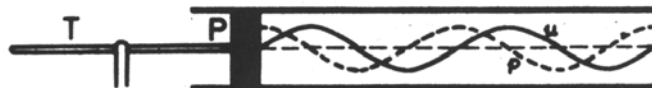
v rychlost zvuku

λ vlnová délka

ν frekvence

A. Kundtova trubice

λ budeme měřit na stojatém vlnění pomocí Kundtovy trubice (viz obr. 1).



obr. 1

Trubicí budeme posunovat (měnit její délku) vůči pístu – zdroji zvuku tak dlouho, až prášek v trubici vytvoří obrazce stojatého vlnění. Na koncích trubice jsou uzly rychlosti (kmitny tlaku). Vzdálenost mezi dvěma uzly rychlosti je $\lambda/2$. Zdroj zvuku je mosazná tyč upevněná uprostřed, kterou podélně rozkmitáme. Na jejích koncích jsou kmitny a ve středu je uzel. Délka tyče:

$$l = \frac{\lambda_1}{2} \quad (2)$$

l délka tyče

λ_1 vlnová délka vlnění zvuku v tyči

Frekvence v tyči a ve vzduchu je stejná a tedy platí:

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

$v_1, \lambda_1 \dots \dots \dots$ hodnoty pro tyč

$v_2, \lambda_2 \dots \dots \dots$ hodnoty pro vzduch

Platí tedy:

$$v_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} v_2 \quad (4)$$

Rychlost zvuku ve vzduchu v_2 určíme z teploty t a vlhkosti. Při 50% vlhkosti a v okolí 20°C podle vzorce:

$$v_2 = [344,36 + 0,63(t - 20^\circ \text{C})] \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (5)$$

Po stanovení v_1 můžeme pro materiál tyče určit modul pružnosti v tahu E . Pro tenkou tyč hustoty ρ platí:

$$v_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (6)$$

$E \dots \dots \dots$ modul pružnosti v tahu

$\rho \dots \dots \dots$ hustota materiálu tyče

Tedy:

$$E = v_1^2 \rho \quad (7)$$

Při měření metodou Kundtovy trubice lze stanovit rychlost zvuku s přesností přibližně 3%, a tedy modulu pružnosti přibližně s přesností 6%.

B. Uzavřený rezonátor

Uzavřený rezonátor jsou dvě trubice, které můžeme do sebe zasouvat a tím měnit jeho délku. Na jednom konci je zdroj zvuku (telefonní sluchátko) napojený na tónový generátor. Na druhém konci je mikrofón s výstupem na mikroampérmetr. Vlnovou délku λ měříme dvojím způsobem:

1. ZPŮSOB I. – KONSTANTNÍ FREKVENCE

Při pevné frekvenci ν měníme délku rezonátoru až nastane rezonance (největší výchylka mikroampérmetru). Rozdíl délek při nejbližších dvou rezonancích je:

$$(l_1 - l_2) = \frac{\lambda}{2} \quad (8)$$

Dosazením do (1) platí:

$$\nu = 2(l_1 - l_2)\nu \quad (9)$$

2. ZPŮSOB II. – KONSTANTNÍ DÉLKA

Délku rezonátoru l neměníme a měníme frekvenci ν zdroje. Rezonance nastane při ν_k , jimž odpovídá λ_k (pro $k=1,2,3,\dots$)

Z (1) dosadíme do (9) a pro ν platí:

$$\nu = \frac{2l\nu_k}{k} \quad (10)$$

Jelikož nemusíme vědět, pro jaké k právě měříme, použijeme odvozený vzorec:

$$\nu = 2l(\nu_{k+1} - \nu_k) \quad (11)$$

Poissonovu konstantu určíme z Laplaceova vzorce upraveného ze stavové rovnice ideálního plynu:

$$\nu = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\kappa RT}{M_r}} \quad (12)$$

κ Poissonova konstanta

p tlak plynu

ρ hustota plynu

R molární plynová konstanta ($R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$)

T termodynamická teplota

M_r molekulová hmotnost plynu

Potom:

$$\kappa = \frac{\nu^2 M_r}{RT} \quad (13)$$

III. Výsledky měření

A. Kuntova trubice

V místnosti byla vlhkost 45% a teplota 22°C.

Délka tyče $l = (150,5 \pm 0,1) \text{ cm}$.

Vlnová délka v tyči $\lambda_l = (301 \pm 0,2) \text{ cm}$.

Délka rezonátoru $l_r = (92,0 \pm 0,1) \text{ cm}$.

Počet půlvln v trubici $k = 6$,

z toho vlnová délka ve vzduchu $\lambda_2 = (30,67 \pm 0,03) \text{ cm}$.

Rychlost zvuku ve vzduchu $v_2 = 345,62 \text{ m.s}^{-1}$.

Rychlost zvuku v mosazné tyči $v_l = (3\,400 \pm 100) \text{ m.s}^{-1}$, což je relativní chyba 3%.

Hustota mosazi $\rho = 8\,600 \text{ kg.m}^{-3}$.

Modul pružnosti v tahu mosazi $E = (9,9 \pm 0,6) \cdot 10^{10} \text{ Pa}$, což je relativní chyba 6%.

B. Uzavřený rezonátor

1. ZPŮSOB I. – KONSTANTNÍ FREKVENCE

Frekvence rezonátoru $\nu = (2\,148 \pm 5) \text{ Hz}$ (chyba odhadem), relativní chyba je 0,2%.

Délka rezonátoru při první rezonanci $l_1 = (79,9 \pm 0,1) \text{ cm}$, relativní chyba je 0,1%.

Délka rezonátoru při druhé rezonanci $l_2 = (71,9 \pm 0,1) \text{ cm}$, relativní chyba je 0,1%.

Rozdíl délek rezonátoru $\Delta l = (8,0 \pm 0,2) \text{ cm}$, relativní chyba je 2,5%.

Rychlost zvuku ve vzduchu $v_l = (344 \pm 9) \text{ m.s}^{-1}$, relativní chyba je 2,5%

2. ZPŮSOB II. – KONSTANTNÍ DÉLKA

i. Rychlost zvuku ve vzduchu

tab. 1 – frekvence rezonance

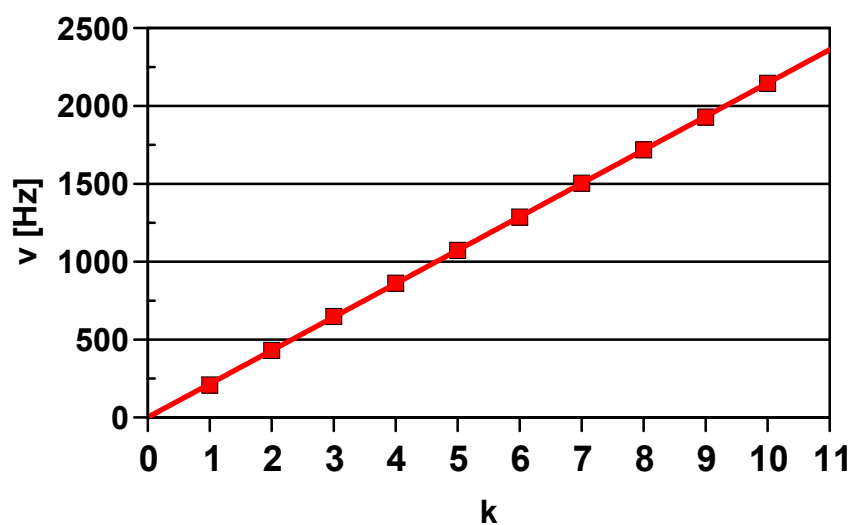
počet půlvln	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ν [Hz]	209	431	649	863	1 073	1 287	1 505	1 719	1 929	2 146

Délka rezonátoru $l = (80,0 \pm 0,1) \text{ cm}$, relativní chyba je 0,1%.

Frekvence rezonátoru určená lineární regresí $\nu = (214 \pm 5) \text{ Hz}$, relativní chyba je 2%.

Rychlost zvuku $v = (344 \pm 7) \text{ m.s}^{-1}$, relativní chyba je 2% (chybu regrese jsme zanedbali).

Závislost frekvence ve vzduchu na počtu půlvln



graf 1

ii. Rychlost zvuku v oxidu uhličitém

tab. 2 – frekvence rezonance

počet půlvln	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ν [Hz]	163	337	501	671	834	1 003	1 174	1 340	1 504	1 676

Délka rezonátoru $l = (80,0 \pm 0,1) \text{ cm}$, relativní chyba je 0,1%.

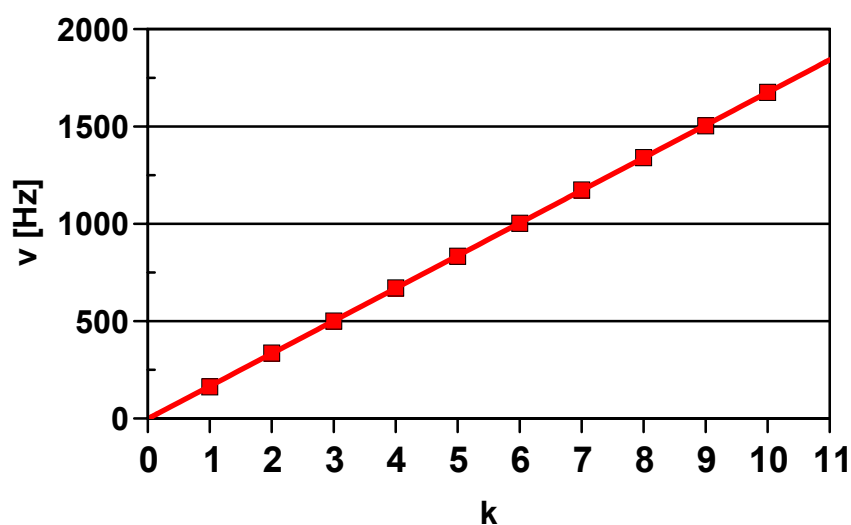
Frekvence rezonátoru určená lineární regresí $\nu = (167 \pm 5) \text{ Hz}$, relativní chyba je 3%.

Rychlost zvuku $v = (268 \pm 8) \text{ m.s}^{-1}$, relativní chyba je 3%.

Molární hmotnost oxidu uhličitého $M_r = 44.10^{-3} \text{ kg.mol}^{-1}$

Poissonova konstanta $\kappa = (1,29 \pm 0,08)$, relativní chyba je 6%.

Závislost frekvence v oxidu uhličitém na počtu půlvln



graf 2

IV. Diskuse

Při měření rychlosti zvuku pomocí Kuntovy trubice se v rámci chyb shoduje s tabelovanou hodnotou. Největší nepřesnost této metody je způsobena přeměřováním obrazce v trubici, protože uzly byly málo zřetelné. Další chybou bude rychlost zvuku ve vzduchu, pro kterou jsme použili vzorec (5), který platí pro 50% vlhkost a v našich podmínkách byla vlhkost 45%. Modul pružnosti v tahu se shoduje v rámci chyb s tabelovanou hodnotou $9,9.10^{10} \text{ Pa}$.

Při měření rychlosti zvuku pomocí uzavřeného rezonátoru se hodnoty zjištěné oběma způsoby shodují v rámci chyb s tabelovanou hodnotou $345,62 \text{ m.s}^{-1}$.

Při měření rychlosti zvuku v oxidu uhličitém pomocí uzavřeného rezonátoru se také shodujeme v rámci chyby s tabelovanou hodnotou. Naše hodnota je o něco vyšší, což je nejspíše způsobeno rozdílnou teplotou, než při které je hodnota tabelována. Mohlo také dojít ke smísení oxidu uhličitého se vzduchem. Poissonova konstanta se také v rámci chyb shoduje s tabelovanou hodnotou $\kappa = 1,293$. Chyba měření je způsobena nepřesně určenou rychlostí zvuku v oxidu uhličitém.

V. Závěr

A. Kuntova trubice

Rychlost zvuku v mosazné tyči $v_l = (3\,400 \pm 100) \text{ m.s}^{-1}$, což je relativní chyba 3%.

Modul pružnosti v tahu mosazi $E = (9,9 \pm 0,6) \cdot 10^{10} \text{ Pa}$, což je relativní chyba 6%.

B. Uzavřený rezonátor

Rychlost zvuku ve vzduchu při konstantní frekvenci $v_l = (344 \pm 9) \text{ m.s}^{-1}$, relativní chyba je 2,5%

Rychlost zvuku při konstantní délce $v = (344 \pm 7) \text{ m.s}^{-1}$, relativní chyba je 2%.

Rychlost zvuku v oxidu uhličitém $v = (268 \pm 8) \text{ m.s}^{-1}$, relativní chyba je 3%.

Poissonova konstanta pro oxid uhličitý $\kappa = (1,29 \pm 0,08)$, relativní chyba je 6%.

VI. Použitá literatura

Úvod do teorie fyzikálních měření, Boris Sprušil, Pavla Zieleniecová, SPN, Praha, 1986

Fyzikální praktikum I., D. Slavínská, I. Stulíková, P. Vostrý, SPN, Praha, 1989

Fyzikální a matematické tabulky, J. Brož a kol., SNTL, Praha, 1980