

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 1

Zpracoval: Lukáš Lejdar

Naměřeno: 12. března 2023

Obor: F

Skupina: Út 16:00

Testováno:

Úloha č. 7:

Měření Poissonovy konstanty vzduchu

$$T = 21,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 98.4970 \text{ kPa}$$

$$\varphi = 47.4 \text{ \%}$$

1. Úkoly

- Pomocí U trubice ocejchujte diferenciální tlakové čidlo měřící proud

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1)$$

$$I = I_0 + c\Delta p \quad (2)$$

- Měření poissonovy konstanty Clément-Desormesovou metodou. Natlakujte velkou nádobu, změřte U-trubicí a průmyslovým tlakovým čidlem tlak před (p_1) a po expanzi (p_2) a spočítejte Poissonovu konstantu z obou čidel.
- Pro několik různých frekvencí určete vlnovou délku stojatého vlnění v Kundtově trubici. Pro každou frekvenci najděte všechny polohy maxim v trubici, vynesťte je do grafu a stanovte vlnovou délku. Určete rychlost zvuku ve vzduchu a stanovte Poissonovu konstantu vzduchu včetně nejistoty měření.

1.1. Pomůcky

- Aparatura pro měření Clément Desormovou metodou
- Kundutova trubice
- frekvenční generátor
- svinovací metr

2. Postup měření

2.1. Clément Desormova metoda

Poissonova konstanta vystupuje v adiabatickém ději jako,

$$pV^{\kappa} = konst. \quad (3)$$

Měření poissonovy konstanty přímo z tohoto vztahu by tedy vyžadovalo počkat na ustálení soustavy. To je ale velmi těžko realizovatelné, když adiabatický děj probíhá v tepelné izolaci.

Clément-Desormova je způsob, jak se tomuto problému vyhou. Děj se bude nejprve skládat z adiabatické expanze $(p_1, T_1) \Rightarrow (p_2, T_2)$. Otevřeme ventil natlakované nádoby a po vyrovnání tlaků, ale minimální výměně tepla ho zase rychle uzavřeme.

$$p_1^{\frac{1}{\kappa}-1} T_1 = p_2^{\frac{1}{\kappa}-1} T_2 \quad (4)$$

Vzduch v nádobě je teď ochlazený adiabatickou expanzí a následuje izochorický ohřev okolím.

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \quad (5)$$

,kde $T_3 = T_1$ je teplota okolí, p_2 tlak v laboratoři a p_3 tlak po ustanovení rovnováhy. Vyjádřením κ a dosazením (1) pro tlak měřený U trubicí dostáváme,

$$\kappa = \frac{\ln \frac{p_1}{p_0}}{\ln \frac{p_1}{p_3}} = \frac{\ln \frac{p_0 + \rho g h_1}{p_0}}{\ln \frac{p_0 + \rho g h_1}{p_0 + \rho g h_3}}. \quad (6)$$

Taylorovým rozvojem,

$$\kappa = \frac{h_1}{h_1 - h_3} + \frac{1}{2} \frac{h_1 h_3 \rho g}{p_0 (h_1 - h_3)} \dots \quad (7)$$

Je-li změna tlaku ve srovnání s atmosférickým tlakem dostatečně malá, pak

$$\kappa \approx \frac{h_1}{h_1 - h_3} \quad (8)$$

Přesto že je tento vztah aproximativní, jeho výhodou je, že veličny, které zde vystupují pocházejí z jediného měřicího přístroje a absolutní chyby se můžou částečně pokrýt.

2.2. Kundutova trubice

Pro rychlost zvuku v ideálním plynu platí vztah

$$c = \sqrt{\kappa \frac{p}{\rho}} \quad (9)$$

, kde p je tlak, ρ hustota vzduchu a κ poissonova konstanta. Ze stavové rovnice pro ideální plyn ale taky

$$p = \frac{\rho R T}{M_{mol}} \quad (10)$$

Dosazení a vyjádřením c dostáváme

$$\lambda f = \sqrt{\kappa \frac{R T}{M_{mol}}} \quad (11)$$

, kde λ je vlnová délka a f frekvence zvuku. Na generátoru sinusového signálu v Kundutově trubicí nastavíme vhodnou frekvenci a zaznamenáváme polohy maximálních amplitud vlnění. Rozdíl každých dvou maxim je polovina vlnové délky.

3. Výsledky měření

3.1. Kalibrace diferenciálního čidla

I_0	$(4.09 \pm 0.05) \text{ [mA]}$
c	(0.031 ± 0.001)

Tabulka 1: Výsledky kalibrace z grafu 1

3.2. Clément Desormovou metodou

metoda	κ
pomocí U trubice	(1.31 ± 0.04)
pomocí kalibrace	(1.32 ± 0.04)

Tabulka 2: Hodnoty spočítané z grafu 2 a 3 Použitím vztahu (8)

3.3. Kundutovou trubicí

Pro výpočet je potřeba tlak v laboratoři $p = 98497.0 \text{ Pa}$ a hustota vzduchu, kterou zjistíme z online kalkulačky z odkazu [3]

$f \text{ [kHz]}$	κ
1.56	(1.4 ± 0.2)
1.89	(1.4 ± 0.3)
3.41	(1.40 ± 0.03)
5.04	(1.39 ± 0.03)

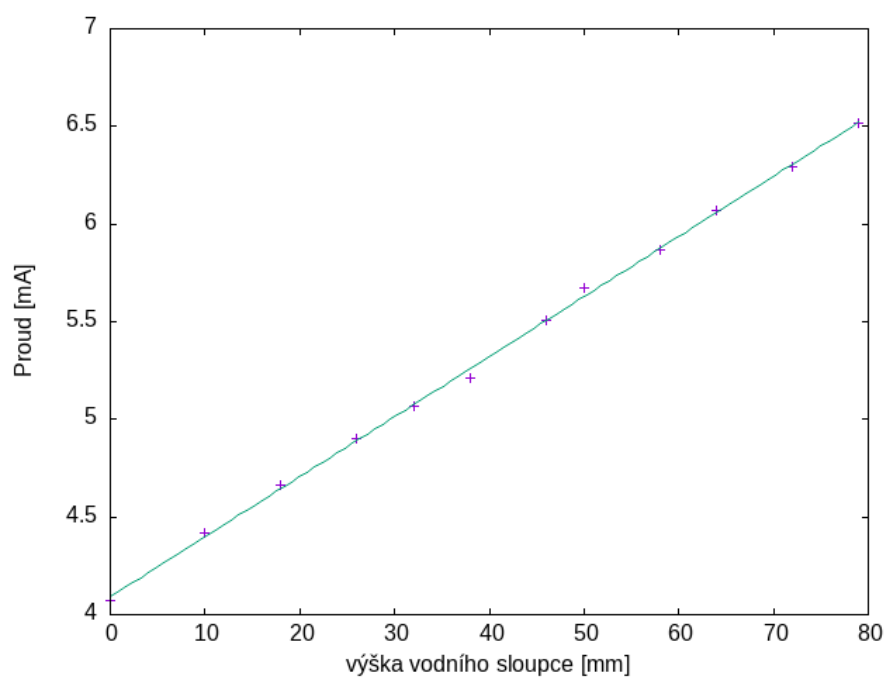
Tabulka 3: Hodnoty spočítané z grafu 4

4. Závěr

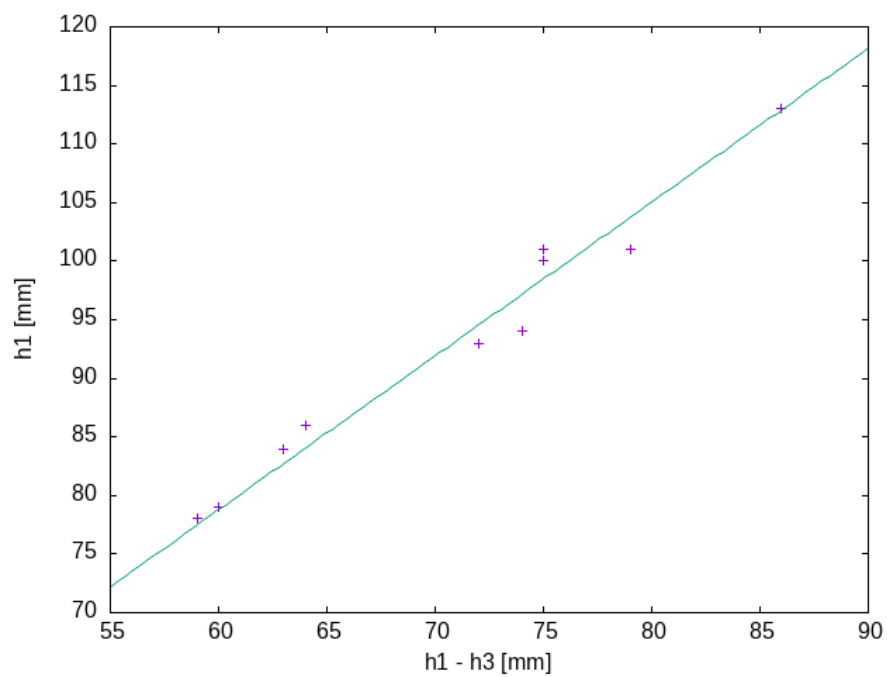
Měření Clément Desormovou metodou nedopadlo nejlépe. Myslím, že jsem pokaždé zavřel ventil na nádobě moc brzo a tlaky se nestihli vyrovnat. Proto je naměřená hodnota značně menší než skutečná. Měření Kundutovou trubicí je na druhou stranu docela přesné. Je i vidět, že pro větší hodnoty frekvence klesá vlnová délka což značně zjednodušuje hledání maxima a vede k přesnějšímu měření.

Reference

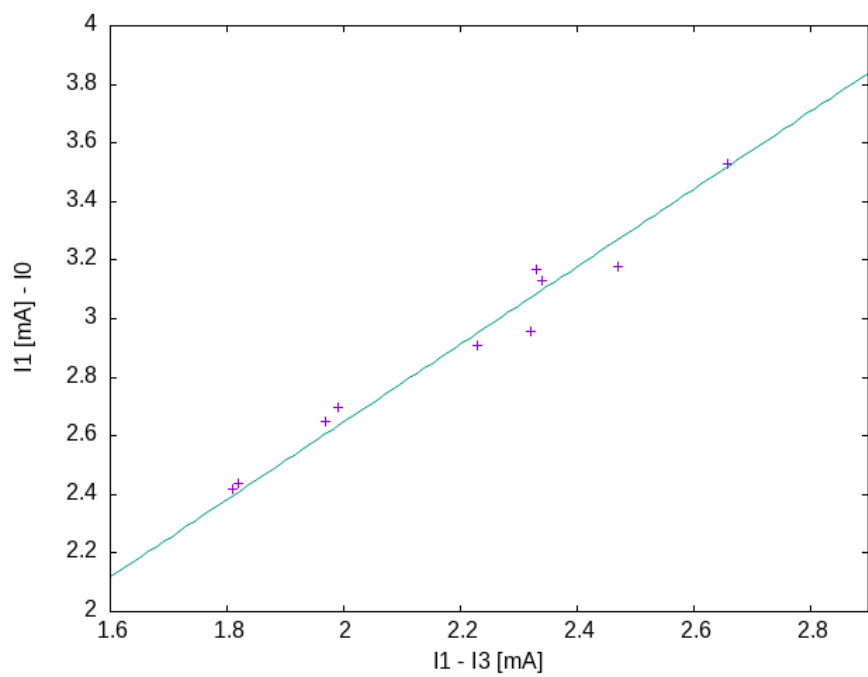
- [1] Bochníček a kol. *Fyzikální praktikum 1, návody k ulohám*. Brno 2024.
Dostupné z https://monoceros.physics.muni.cz/kof/vyuka/fp1_skripta.pdf.
- [2] Hustota pevných látek. Dostupné z <http://www.converter.cz/tabulky/hustota-pevne.htmf>.
- [3] kalkulačka hustoty vzduchu <https://www.omnicalculator.com/physics/air-density>.



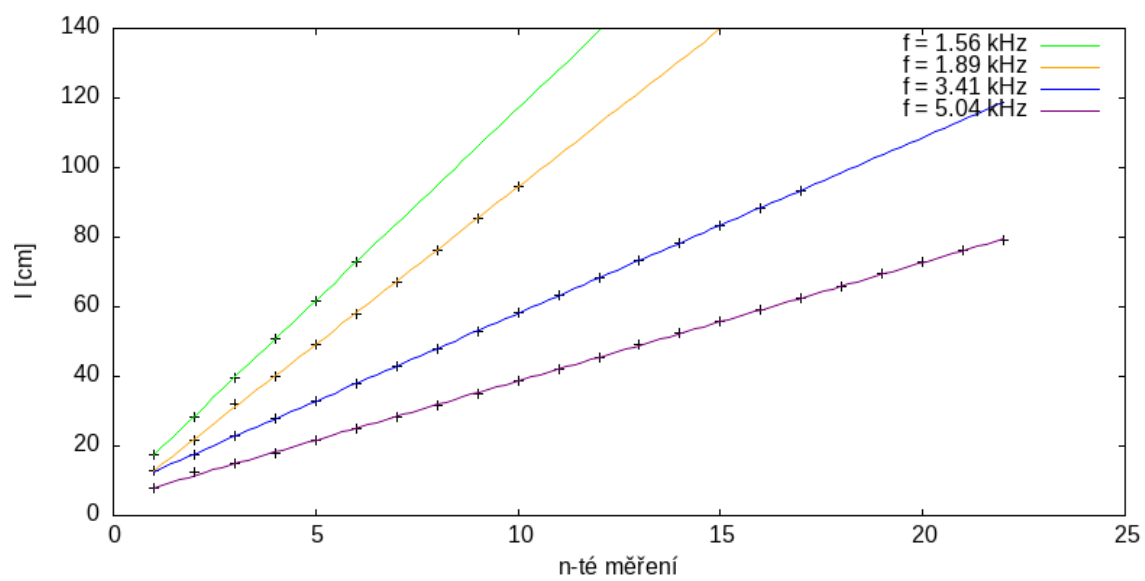
Graf 1: závislost proudu protékajícího čidlem na výšce vodního sloupce od počáteční hodnoty



Graf 2: závislost rozdílu naměřených hodnot $h_1 - h_3$, na h_1



Graf 3: závislost rozdílu naměřených hodnot $I_1 - I_3$, na $I_1 - I_0$



Graf 4: závislost n-tého maxima amplitudy vlnění na vzdálenosti