

# Úloha č.7 - Meranie Poissonovej konštanty vzduchu

Vladimír Domček  
394013  
Skupina č.8

Astrofyzika  
2. semester  
12.4.2012

## Laboratórne podmienky:

Teplota: 23 °C  
Tlak: 98,25 kPa  
Vlhkosť: 47%

## 1 Zadanie

## 2 Teória

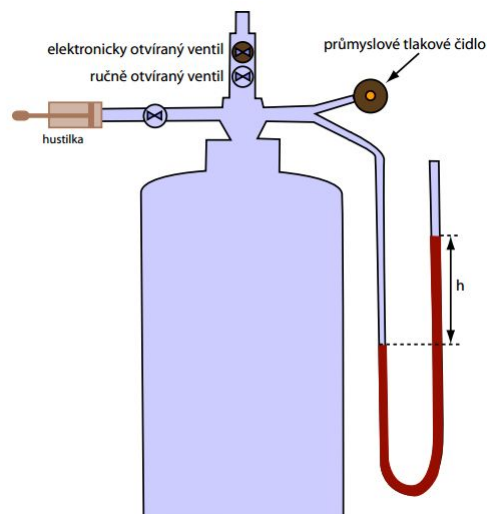
Poissonova konštanta  $\kappa$  je podiel mernej tepelnej kapacity pri stálom tlaku  $c_p$  a mernej tepelnej kapacity pri stálom objeme  $c_v$ .

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad (1)$$

Veličina má význam v termodynamike stlačiteľných tekutín kde sa objavuje najmä v rovniciach súvisiacich s adiabatickým dejom. Vystupuje napríklad vo vzťahu pre rýchlosť zvuku v plynach.

## 3 Postup

### 3.1 Clément-Desormesova metóda



Obr.1 Aparatúra pre meranie Poissonovej konštanty Clément-Desormesovou metódou

Aparatúra sa skladá z veľkej nádoby, z malého napúšťacieho ventilu pripojeného hadičkou na pumpičku a veľkého vypúšťacieho ventilu. Z nádoby vedie ešte jeden vývod, na dva tlakomery, ktoré merajú pre-tlak vzhľadom na okolitú atmosféru. Jeden je U trubica a druhý je priemyselné diferenciálne tlakové čidlo.

Pred začiatkom merania skontrolujeme, akú hodnotu udáva diferenciálne tlakové čidlo pre atmosférický tlak. Po otvorení napúšťacieho ventilu ručnou pumpou zvýšime tlak na niekoľko hPa, čo zodpovedá niekoľkým cm až dm na U trubici. Realizuje sa tak dej izotermickej kompresie. Po ustálení rovnováhy odčítame výšku prevíšenia a prúd ktorý nam ukazuje čidlo. Adiabatickú expanziu uskutočníme krátkym ale úplným otvorením hlavného ventilu. Po adiabatickej expanzii musí nasledovať izochorický ohrev. Po ustanovení termodynamickkej rovnováhy opäť odčítame hodnoty tlaku. Pre poissonovu konštantu platí:

$$\kappa = \frac{\ln\left(\frac{p_0 + kh_1}{p_0}\right)}{\ln\left(\frac{p_0 + kh_1}{p_0 + hk_2}\right)} \quad (2)$$

kde  $p_0$  je tlak okolia a  $k$  je konštanta prepočtu výšky vodného stĺpca na tlak,  $k = 9,08638 \text{ Pa}\cdot\text{mm}^{-1}$ . Tento vzťah sa dá prepísať taylorovým rozvojom do tvaru:

$$\kappa = \frac{\ln\left(\frac{p_0 + kh_1}{p_0}\right)}{\ln\left(\frac{p_0 + kh_1}{p_0 + hk_2}\right)} \doteq \frac{h_1}{h_1 - h_2} + \frac{1}{2} \frac{h_1 h_2 k}{p_0 (h_1 - h_2)} \quad (3)$$

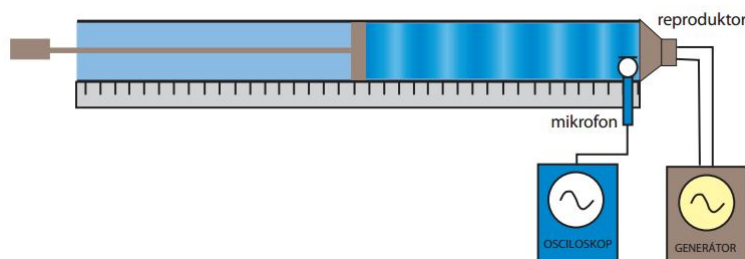
kde prvý člen nám udáva hodnotu a druhý neistotu k nemu.

Namiesto U trubice môžeme použiť aj iné lineárne tlakomery, absolútne cejchovanie nie je podmienkou, dôležitá je iba poloha nuly. Pri malom rozdiel tlakov môžeme zjednodušený vzťah, prvý člen taylorového rozvoja použiť aj pre diferenciálne čidlo. Miesto  $h_i$  dosadzujeme:

$$h = \frac{\Delta p}{k} = \frac{1}{kc} (I - I_0) \quad (4)$$

V tomto prípade nie je potrebné čidlo cejchovať, pretože konštanta úmernosti  $\frac{1}{kc}$  v zjednodušenom vzťahu vypadne.  $I_0$  je v tomto prípade hodnota nameraná pri atmosférickom tlaku.

### 3.2 Kundtova trubica



Pre rýchlosť zvuku v ideálnom plyne platí vzťah:

$$c = \sqrt{\kappa \frac{p}{\rho}} \quad (5)$$

kde  $p$  je tlak a  $\rho$  je hustota, v našom prípade vzduchu.

Rýchlosť zvuku ďalej môžeme určiť pomocou Kundtovej trubice. Na generátore nastavíme výstupnú frekvenciu  $f$ . Posúvaním piestu v trubici zisťujeme polohu maxim pomocou osciloskopu, pričom vieme, že vzdialenosť dvoch maxim nám udáva polovicu vlnovej dĺžky  $\frac{\lambda}{2}$  zadanej frekvencie  $f$ . So znalosťou  $\frac{\lambda}{2}$  dosadíme hodnoty do vzťahu (6) a vypočítame rýchlosť zvuku.

$$c = 2 \frac{\lambda}{2} f \quad (6)$$

Následne z rovnice (5) vyjadríme  $\kappa$  a dopočítame výsledne hodnoty:

$$\kappa = \frac{c^2 \rho}{p} \quad (7)$$

## 4 Vyhodnotenie

### 4.1 Clément-Desormesova metóda

$h_1$ [mm]	$I_1$ [mA]	$h_2$ [mm]	$I_2$ [mA]	$\kappa_h$	$\kappa_I$
67	6,07	16	4,62	$1,314 \pm 0,001$	1,35
70	6,14	17	4,65	$1,321 \pm 0,001$	1,36
79	6,39	20	4,75	$1,322 \pm 0,001$	1,37
80	6,39	19	4,73	$1,339 \pm 0,001$	1,39
88	6,37	19	4,72	$1,311 \pm 0,001$	1,37
86	6,58	21	4,79	$1,323 \pm 0,001$	1,38
94	6,74	23	4,84	$1,324 \pm 0,001$	1,38
96	6,83	25	4,88	$1,352 \pm 0,002$	1,39
110	7,19	28	4,98	$1,341 \pm 0,002$	1,39
115	7,11	31	4,94	$1,369 \pm 0,002$	1,38

Tab.1 Hodnoty výšky h, prúdu I a výsledných  $\kappa$

$$I_0 = 4,11 \text{ mA}$$
$$\bar{\kappa}_h = 1,332 \pm 0,001$$
$$\bar{\kappa}_I = 1,378$$

### 4.2 Kundtova trubica

$f = 804 \text{ Hz}$	$f = 1045 \text{ Hz}$	$f = 1548 \text{ Hz}$	$f = 2012 \text{ Hz}$
111,1	97,7	105,2	108,8
89,6	80,8	93,8	100
68,3	64,3	82,9	91,5
46,6	47,5	71,5	83
25,4	31	60,4	74,3
		49,4	65,5
		38	56,7
			48,2
			39,8

Tab.2 Vzďalienosť maxim

$f$ [Hz]	$\frac{\lambda}{2}$ [m]	$c$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$\kappa$
804	0,214	344,11	1,39
1045	0,169	353,21	1,46
1548	0,112	346,75	1,41
2012	0,087	350,09	1,44

Tab.3 Výsledne hodnoty

$$\rho = 1,153 \text{ kg.m}^{-3}$$
$$p = 98\,250 \text{ Pa}$$
$$\bar{\kappa} = 1,43$$

## 5 Záver

V prvej časti úlohy sme merali poissonovu konštantu Clément-Desormesovou metódou. Meranie sme robili pomocou dvoch tlakomerov.  $\kappa$  meraná na tlakomeri s U trubicom nám vyšla  $\bar{\kappa}_h = 1,332 \pm 0,001$ , zatiaľ čo pomocou diferenciálneho čidla  $\bar{\kappa}_I = 1,378$ . Môžeme vidieť, že hodnoty merané diferenciálnym čidlom sa nám viac približujú k teoretickej hodnote  $\kappa = 1,4$ . Vysvetľujeme si to tým, že na U trubici mohli vzniknúť väčšie chyby pri odčítaní ako na tlakovom čidle. Obe hodnoty sú však nižšie než je teoretická hodnota  $\kappa$  a to môže byť spôsobené tým, ako dlho sa necháva otvorený výpustný ventil.

V druhej časti úlohy sme merali poissonovu konštantu pomocou Kundtovej trubice. Hodnota nám vyšla mierne vyššia, a to  $\bar{\kappa} = 1,43$ . Pri tomto meraní bol najväčší problém správne odčítať vzdialenosť maxim, pretože zvinovací meter sa nachádzal pod trubicom a nie vždy k nej správne priliehal.