Určení Poissonovy konstanty vzduchu

Jakub Kákona, kaklik@mlab.cz

30.11.2009

Abstrakt

1 Pracovní úkoly

1. Změřte kompresí plynu objem baňky systému s kmitajícím pístkem.
2. Změřte Poissonovu konstantu metodou adiabatické expanze a současně metodou kmitajícího pístku.
3. Oba výsledky porovnejte. Výsledek metody kmitajícího pístku považujte za tabulkovou hodnotu Poissonovy konstanty.
4. Jednolitrovou láhev zvažte prázdnou.
5. Jednolitrovou láhev zvažte plnou vody.
6. Z obou výsledků určete objem lahve.
7. Objem prázdné jednotlitrové lahve určete kompresí plynu.
8. Stejným postupem změřte objem hadičky spojující byretu s měřeným prostorem. Tuto hodnotu odečtěte od výsledku podle bodu 4.

2 Úvod

Poissonova konstanta κ je poměr měrného tepla C_P při stálém tlaku ke měrnému teplu C_V při stálém objemu

$$\kappa = \frac{C_P}{C_V}.$$

κ má ve všech soustavách stejnou číselnou hodnotu. Pro všechny plyny je poměr specifických tepel κ větší než 1 a závisí na počtu atomů v molekule plynu. Hodnotu κ můžeme určit ze změny tlaku při adiabatickém ději, který je popsán Poissonovou rovnicí

$$pV^{\kappa} = konst.$$

kde p, V jsou tlak a objem plynu.

Pro měření Poissonovy konstanty vzduchu jsme mimo jiné použili Clémentovu-Désormesovu metodu. Jejíž princip spočívá ve stlačení vzduchu ve velké báni, aby měl proti vnějšímu barometrickému tlaku b přetlak h. Ten odečteme jako výškový rozdíl hladin otevřeného manometru, který je k báni připojen. Tlak vzduchu v báni je pak

$$p_1 = b + h.$$

Příslušný objem vzduchu před adiabatickou expanzí je V_1, po adiabatické expanzi V_2. Teplotu plynu, která by měla být shodná s teplotou okolí báně rozumíme T_1. Vnitřek báně je od vnějšího vzduchu oddělen membránovým závěrem. Otevřeme-li jej dostatečně ale na velmi krátkou dobu, vyrovnají se tlaky uvnitř a vně na hodnotu barometrického tlaku b.

$$p_2 = b.$$

Proběhne tedy adiabatická expanze vzduchu v báni z počátečních podmínek V_1, T_1, p_1 do stavu určeného veličinami V_2, $T_2 \quad < T_1$, p_2 (kde V_2 je objem báně). Po dosti dlouhé době se teplota vzduchu v báni vyrovná na vnější teplotu T_1 a tlak přitom stoupne o přírůstek h', který změříme. Tato změna je izochorická. Celkový tlak je

$$p_3 = b + h^I.$$

Pro první (adiabatickou) změnu stavu vzduchu dostaneme z Poissonovy rovnice za předpokladu, že vzduch můžeme považovat za ideální plyn,

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\kappa.$$

Změna ze stavu V_1, T_1, p_1 do stavu $V_3 = V_2$, $T_3 = T_1$, p_3 je izotermická a platí pro ni Boyle-Mariotteův zákon

$$\frac{p_1}{p_3} = \frac{V_2}{V_1}.$$

Sloučíme-li předchozí rovnice dostaneme

$$\kappa = \frac{log(b+h) - logb}{log(b+h) - log(b+h')}$$

Po odlogaritmování pak dostaneme výsledný vztah

$$\kappa = \frac{h}{h-h'}$$

Který ovšem neuvažuje chybu způsobenou nenulovou dobou otevření ventilu. Z toho důvodu je přesnější vytvořit aparaturu pracující na analogickém principu a ale s definovanou dobou otevření ventilu. Velice efektivním řešením tohoto problému je využít vlastností harmonických kmitů a uzávěr (píst) uvést do dynamické rovnováhy s protékajícím vzduchem. Pro takto zkonstruovanou aparaturu založenou na kmitajícím pístu lze odvodit vztah pro Poissonovu konstantu jako

$$\kappa = \frac{4mV}{T^2pr^4}$$

3 Postup měření

3.1 Měření dutých objemů

Dostali jsme za úkol změřit objem jisté zhruba jednolitrové lahve. Lahev jsme proto připojili j plynové byretě a definovanou kompresí několika desítek cm^3 vzduchu jsme změřili její objem. Který i s přívodní hadičkou od byrety činil 1141,78 cm^3. K odečtení objemu hadičky byla využita stejná metoda s tím rozdílem, že jsme odpojili flašku a hadičku zašpuntovali.. Naměřili jsme tak objem hadičky 71,16 cm^3 po vzájemném odečtení těchto dvou objemů je výsledný objem lahve 1,07363 litru.

Druhou metodou kterou jsme vyzkoušeli bylo zvážení prázdné lahve (0,56 kg) a po jejím naplnění vodou o téže teplotě (25 ^circC) její opětovné zvážení (1,58 kg) protože známe hustotu vody při této teplotě 995,72 kg/m^3. Můžeme spočítat objem lahve 1,02438 litru.

3.2 Měření Poissonovy konstanty plynu

Během měření Poissonovy konstanty Clement-Desormesovo metodou jsme se snažili o maximální zkrácení času otevření ventilu, po krátkém tréninku bylo jasné, že nemá smysl dobu otevření snižovat pod mez zhruba 70ms neboť se nestačí dostatečně vyrovnat tlak v aparatuře s atmosférickým tlakem.

Uvedené výsledky jsou proto nad touto hranicí. Průměr z naměřených hodnot je $1,40 \pm 0,02$

Tabulka 1: Naměřené hodnoty Poissonovy konstanty Clement-Desormesovo metodou

h1 [mm]	t[ms]	h2 [mm]	t[ms]	κ
31,5	88	9,10	88	1,41
31,2	85	9,00	85	1,41
31,4	103	9,20	103	1,41
31,2	130	8,70	130	1,39
31,4	138	8,50	138	1,37

V celém průběhu měření jsme paralelně měřili Poissonovu konstantu i pomocí kmitajícího pístu. A tabulka 2 udává naměřená i vypočtená data, jako objem baňky jsme zvolili asistentem doporučený objem $0,001067 m^3$ jelikož ho nebylo možné změřit žádným z v návodu [1] popsaných postupů. Průměrnou změřenou hodnotou je $1,29 \pm 0,03$. Ostatní konstanty potřebné pro výpočet jsou převzaté z návodu k úloze.

4 Diskuse

Z výsledků naměřených v chronologickém pořadí lze vypozorovat mírnou stabilní variaci v průběhu měření. Tento jev by mohl být způsoben buď změnou vlastností aparatury, nebo skutečně změnou složení vzduchu. Nejpravděpodobnější asi bude kombinace obou těchto jevů. Kdy při měření metodou kmitajícího pístu může docházet k mírným změnám v průtoku vzduchu a navíc i doby po které čítač počítá kmity válečku nemusí být úplně

Tabulka 2: Pocty period pistu v petiminutovem mericim intervalu a vypoctena hodnota Poissovnovy konstanty

period	κ
859	1,27
862	1,28
865	1,29
863	1,29
864	1,29
865	1,29
866	1,29
867	1,30
858	1,27
862	1,28
866	1,29
870	1,31
872	1,31

časově ekvidistantní. Zřejmé také je, že v místnosti, která není příliš větraná se pohybuje značné množství lidí kteří souhrnně obohacují vzduch o víceatomové molekuly..

5 Závěr

Závěrem lze říci že hodnota Poissonovy konstanty vzduchu za běžných podmínek leží někde okolo hodnoty 1,35. Což je v souladu s předpokladem, že vzduch obsahuje převážně dvou nebo více atomové plyny.

Reference

[1] Měření dutých objemů vážením a kompresí plynu http://praktika.fjfi.cvut.cz/objemy/