
Poissonova konstanta pro vzduch

Zadání

1. Podle popsaného postupu změříme alespoň 5-krát Poissonovu konstantu při různé době otevření ventilu V_2 .
2. Ke každému měření Poissonovy konstanty najdeme její nejistotu.
3. Jako výslednou hodnotu Poissonovy konstanty vezmeme středně vážený průměr naměřených hodnot a její nejistotu jako nejistotu středně váženého průměru.

Teoretický rozbor:

Poissonova konstanta κ je poměr měrných tepelných kapacit při stálém tlaku c_p a stálém objemu c_V , tedy

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

Je to veličina technicky velmi významná, která rozhoduje o chování plynu při termodynamických procesech v různých energetických zařízeních i v neizotermních prouděních.

Jedná-li se o soustavu o jedné složce, tedy tvořenou jediným plynem, vypočte se Poissonova konstanta jen z počtu stupňů volnosti i molekuly plynu pomocí vzorce

$$\kappa = \frac{i + 2}{i}. \quad (2)$$

Jde-li o složitější soustavy, povětšinou o směsi plynů tvořených molekulami s různým počtem stupňů volnosti, je obtížné konstantu stanovit výpočtem, protože zpravidla neznáme procentuální zastoupení jednotlivých složek. Pak je nutno přistoupit k jejímu experimentálnímu zjištění.

Jednou z metod k měření Poissonovy konstanty je metoda Clément–Desormesova. Vychází ze sledování změn tlaku plynu v nádobě, které nastávají po adiabatickém ději, kdy plyn opět dosáhne tepelné rovnováhy s okolím.

Adiabatický děj je popsán rovnicí

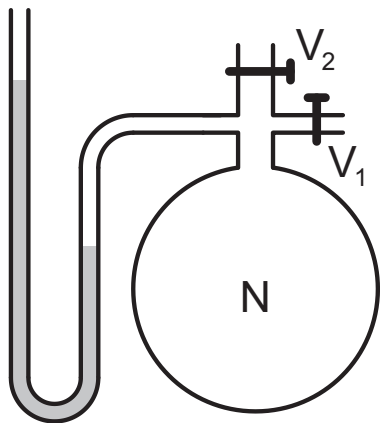
$$p_0 V_0^\kappa = p_1 V_1^\kappa, \quad (3)$$

která váže tlak p_0 a objem V_0 plynu před dějem s hodnotami týchž veličin p_1 , V_1 po ději. Současně platí stavová rovnice ideálního plynu

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_1 V_1}{T_1}, \quad (4)$$

v níž T_0 a T_1 jsou teploty před dějem a po něm. Vyloučením objemů z obou posledních rovnic docházíme ke vztahu tlaků a teplot při adiabatickém ději

$$\frac{T_1}{T_0} = \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}. \quad (5)$$



Vysvětlíme nyní Clément-Desormesovu metodu. Měřicí zařízení je znázorněno na obrázku. Při uzavřeném ventilu V_2 a otevřeném ventilu V_1 zvýšíme hustilkou tlak v nádobě N tak, aby přesahoval barometrický tlak. Pak ventil V_1 uzavřeme a soustavu necháme tepelně ustálit. Zvýšení tlaku v nádobě proběhlo adiabaticky a v důsledku toho se plyn v nádobě poněkud ohřál. Po uzavření ventilu V_1 teplo z nádoby přechází do okolí, plyn se ochlazuje a jeho tlak klesá. Že došlo k vyrovnání teploty plynu v nádobě s okolím a zastavení poklesu tlaku v nádobě se projeví ustálením hladin v připojeném vodním manometru. Za tohoto stavu stav plynu v nádobce udávají stavové parametry p_0 , V_0 a T_0 . Po dokonalém ustálení ventil V_2 krátce otevřeme a ihned zase zavřeme. Plyn z nádobky N expanduje dosáhne a při tom nějakého objemu V_1 , který je větší než objem nádobky. Tento děj je opět adiabatický. Vzhledem k rovnici (5) není objem V_1 pro nás podstatný. Důležité pouze je, že tlak plynu v nádobce klesne na hodnotu barometrického tlaku b a ochladí se na nějakou teplotu T_1 . Tento přechod si můžeme znázornit změnou stavových parametrů

$$p_0, V_0, T_0 \longrightarrow b, V_1, T_1.$$

Kvantitativně jej popisuje rovnice (5), která je při uvedených parametrech dává

$$\frac{T_1}{T_0} = \left(\frac{b}{p_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}. \quad (6)$$

Po uzavření ventilu V_2 se zmenšené množství plynu v nádobce N opět ohřeje na teplotu okolí, která je rovna původní teplotě T_0 a jeho tlak vzroste na nějakou hodnotu p_2 . Tuto stavovou změnu opět popíšeme chováním stavových parametrů

$$b, V_0, T_1 \longrightarrow p_2, V_0, T_0.$$

Popisuje ji Gay-Lussacův zákon pro izochorický děj, který má v našem případě tvar

$$\frac{b}{T_1} = \frac{p_2}{T_0}. \quad (7)$$

Dosazením odtud za podíl teplot do (6) vyjde výsledný vztah

$$\frac{b}{p_2} = \left(\frac{b}{p_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}. \quad (8)$$

Odtud již vypočteme hledanou Poissonovu konstantu, která bude

$$\kappa = \frac{\ln p_0 - \ln b}{\ln p_0 - \ln p_2}. \quad (9)$$

Nejistotu Poissonovy konstanty najdeme jako nejistotu vypočtené veličiny. Za obecnou funkci v příslušném vzorci považujeme předchozí výraz. Přímo měřené veličiny jsou b , p_0 a p_2 . Výsledný vzorec pro nejistotu pak je

$$\Delta\kappa = \frac{1}{(\ln p_0 - \ln p_2)^2} \sqrt{[(\ln b - \ln p_2) \frac{\Delta p_0}{p_0}]^2 + [(\ln p_0 - \ln p_2) \frac{\Delta b}{b}]^2 + [(\ln p_0 - \ln b) \frac{\Delta p_2}{p_2}]^2}. \quad (10)$$

Je zřejmé, že měření Poissonovy konstanty představuje posloupnost dějů, z nichž žádný nelze opakovat. Proto nejistoty jednotlivých měřených veličin musíme brát jako nejistoty typu B a odhadovat je z možnosti čtení na jednotlivých přístrojích. Ze vzorce (9) vidíme, že jej lze upravit tak, aby v něm vystupovaly pouze poměry tlaků. Z toho plyne, že jednotky tlaku můžeme volit zcela libovolně. Jako nejvhodnější se jeví použít hPa, neboť v těchto jednotkách bývá uváděn i barometrický tlak.