

Stavové chování plynů

Cíl úlohy: Ověření platnosti stavové rovnice za různých podmínek.

Úkol měření

Pro konstantní množství plynu (vzduchu) vyšetřete:

- 1) Chování objemu a tlaku za konstantní teploty Boyle-Mariottův zákon.
- 2) Chování objemu a teploty za konstantního tlaku Guy-Lussacův zákon.
- 3) Chování tlaku a teploty za konstantního objemu Charles-Amontónův zákon.
- 4) Zhodnoťte dosažené výsledky a uveďte hlavní příčiny nepřesností měření.

Princip úlohy

Souprava umožňuje měření stavových veličin plynů a jejich vztahů. Stav plynu je určen teplotou, tlakem a objemem. Tyto veličiny nazýváme stavové veličiny a jejich vztah je popsán tzv. stavovou rovnicí. Ze získaných vztahů je možno dopočítat také univerzální plynovou konstantu, koeficient plynové roztažnosti aj.

Teoretický základ řešené úlohy

Stavové chování plynu je funkcí stavových proměnných Teploty T , tlaku p a objemu V , látkového množství n , které jsou určeny stavem ostatních. Závislost objemu na teplotě, tlaku a látkovém množství je dána totálním diferenciálem:

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_{p,n} dT + \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_{T,n} dp + \left(\frac{\partial V}{\partial n}\right)_{T,p} dn \quad (1)$$

Pro dané množství látky ($n = \text{konst.}$, $dn = 0$; v uzavřeném objemu (skleněné stříkačce)) a izobarické změně ($p = \text{konst.}$, $dp = 0$) je možno psát:

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_{p,n} dT \quad (2)$$

Výraz $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_{p,n}$ odpovídá tangente funkce $V = f(T)$ a charakterizuje závislost teploty a tlaku.

Koeficient teplotní roztažnosti je definován pro V nebo V_0 za $T_0 = 273,15 \text{ K}$:

$$\gamma_0 = \frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_{p,n} \quad (3)$$

Pro ideální plyn je poté možno psát:

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T} = \text{konst.} \quad (4)$$

Tyto vztahy byly definovány Gay-Lussacem.

Obdobně lze dojít ke vztahům definovaných a Charlesem a Amontonem:

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p}{T} = \text{konst.} \quad (5)$$

Pro případy konstantního látkového množství a izotermického děje je možno psát:

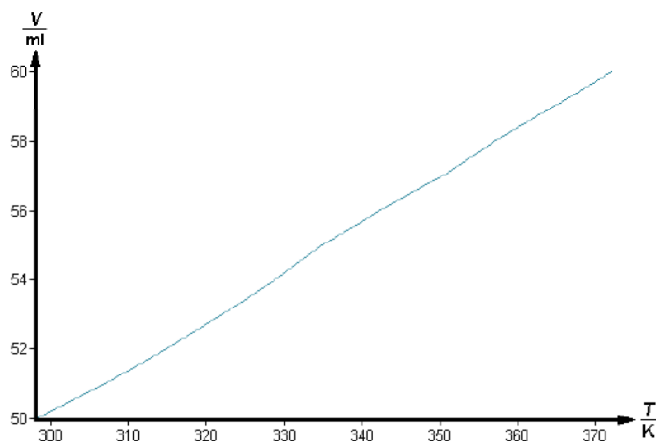
$$p_0 \cdot V_0 = p \cdot V = \text{konst.}, \quad (6)$$

což bylo prvně doloženo experimentálně Boylem a Mariottem.

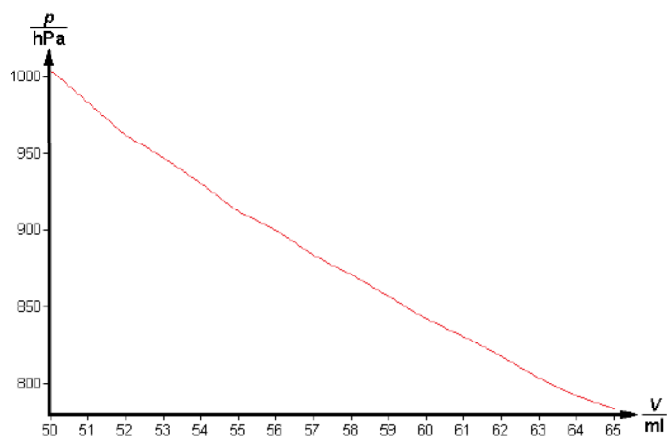
Pro ideální plyn platí

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T, \quad (7)$$

kde R je univerzální plynová konstanta.



Obrázek 1: Ukázka experimentálního výsledku měření závislosti objemu na teplotě za konstantního tlaku.



Obrázek 2: Ukázka experimentálního výsledku měření závislosti tlaku na objemu za konstantní teploty.

Popis soupravy a příprava měření

Uzavřenou nádobu (válec s pístem) v úloze reprezentuje 100ml skleněná injekční stříkačka upevněná v skleněném obalu. Injekční stříkačka je opatřena snímačem tlaku zapojeného přes systém Cobra3, propojeného pomocí silikonové trubičky a spojeného s PC pro zobrazení online na monitoru.

Pro měření teploty je možno použít digitálního, nebo analogového teploměru umístěného ve skleněném plášti. K ohřevu je použit infračervený zářič ovládaný pomocí 10stupňového přepínače výkonu nebo pomocí PID regulátoru.

Postup měření

Ověření Boyleova-Mariottova zákona obrázek 3:



Obrázek 3. Boyleův-Mariottův zákon

V našem měření nebudeme pro určení teploty využívat modulu Cobra3, ale použijeme analogový nebo digitální teploměr. Pro naše měření je důležitá co nejlepší těsnost pístu a celé aparatury, proto je třeba před měřením namazat píst malým množstvím oleje. Naplňte skleněný plášť vodou (pro snížení tepelných fluktuací). Vložte teploměr co nejbližší ke skleněné stříkačce. Nastavte objem na 50 ml a připojte stříkačku na tlakový senzor pomocí redukce a silikonové trubičky. Zajistěte spoj na obou stranách. Zkalibrujte senzor pomocí měřicího programu. V malých krocích měňte objem ve stříkačce. Zapisujte hodnoty tlaku a objemu.

Guy-Lussacův zákon:

Sestavení pokusu je obdobné s předešlým, nyní je třeba navíc vložit do skleněného válce magnetické míchadlo a připojit infračervený ohříváč viz obrázek 4. Při jakékoliv manipulaci s aparaturou dbejte zvýšené opatrnosti.



Obrázek 4. Konfigurace pro Guy-Lussacův a Charles-Amontónův zákon

Nastavte počáteční objem opět na 50 ml. Zkontrolujte volnost přepadové hadičky odvádějící nadbytečnou tekutinu při ohřevu! Odečtěte první hodnoty a poté zapněte IR ohřev. Během ohřevu promíchávejte opatrně ohřívanou vodu ve skleněném válci pomocí magnetického míchání. Hodnoty odečítejte při každé změně o 1 ml. Měření ukončete po dosažení 60 ml.

Charles-Amontónův zákon:

Sestavení aparatury odpovídá obrázku 4. Nyní je třeba připojit kvalitnější digitální teploměr. Nastavte objem stříkačky na 50 ml. Odečtěte základní hodnoty a připojte ohřev. Postupujte po krocích 5 °C až do teploty cca 55 °C. Kontrolujte, aby nedošlo ke ztrátě těsnosti! Při každém kroku, prudce vraťte měřený objem na původních 50 ml.

Reference:

[1] Ideal and Real Gases (Thermodynamics) - Laboratory Experiments Physics. PHYWE series of publications, © PHYWE SYSTEME GMBH & Co. KG, 2016.