

## Děje s plynem – ověření Charlesova a Boyleova-Mariotteova zákona

J.Erhart, V.Gáliková, 9.10.2017

Plynné látky jsou tím nejvíce zředěným skupenstvím, se kterým se běžně setkáváme v okolním prostředí a jehož část (kyslík) potřebujeme nezbytně k životu. Reálné plyny jsou za běžných podmínek makroskopicky charakterizovány hustotami řádu  $1 \text{ kgm}^{-3}$  oproti kapalinám s hustotami řádu  $100 - 1000 \text{ kgm}^{-3}$ . V mikroskopické představě pak jde o molekuly plynu, které spolu navzájem interagují, srážejí se a vyměňují si energie a hybnosti. V případě inertních plynů (He, Ne, Ar, Kr, Xe a Ra) nebo silně zředěných plynů však můžeme vzájemnou interakci molekul plynu a jejich objem zanedbat, což vede na nejjednodušší možný tvar stavové rovnice

$$pV = nRT \quad (1)$$

kde je plyn popsán pouze stavovými veličinami - tlak  $p$  [Pa], objem  $V$  [ $\text{m}^3$ ], látkové množství  $n$  [mol] a teplota  $T$  [K]. Konstantou úměrnosti je univerzální plynová konstanta  $R = 8.31 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ . Rovnice (1) neobsahuje žádnou materiálovou charakteristiku plynu a je tedy univerzálně platná pro všechny látky v plynném skupenství vyhovující přiblížení ideálního plynu.

Ideální plyn o určitém látkovém množství je popsán třemi stavovými veličinami, které se všechny mohou v obecném případě současně měnit. Existuje však několik jednodušších dějů s plynem, kdy zůstává jedna z těchto stavových veličin konstantní

- **Izotermický děj** kdy je konstantní teplota a stavová rovnice se redukuje na nepřímou úměrnost mezi tlakem a objemem popsanou Boyleovým-Mariottovým zákonem

$$p = (nRT) \frac{1}{V} \quad (2)$$

- **Izobarický děj** kdy je konstantní tlak a stavová rovnice se redukuje na přímou úměrnost mezi objemem a teplotou popsanou Gay-Lussacovým zákonem

$$V = \left(\frac{nR}{p}\right) T \quad (3)$$

- **Izochorický děj** kdy je konstantní objem a stavová rovnice se redukuje na přímou úměrnost mezi tlakem a teplotou popsanou Charlesovým zákonem

$$p = \left(\frac{nR}{V}\right) T \quad (4)$$

V uvedených zákonech (2)-(4) je vždy výraz v závorce pro dané množství plynu konstantní. Význačné postavení mezi speciálními ději s plynem, avšak již se všemi stavovými veličinami proměnnými, má také

- **Adiabatický děj** kdy si plyn nevyměňuje s okolím teplo (přiblížení dokonale izolovaného systému, nebo velmi rychlých dějů) a je popsán mimo stavové rovnice ještě další rovnicí

$$pV^\kappa = \text{konst.} \quad (5)$$

kde koeficient  $\kappa = C_p/C_V$  je bezrozměrné Poissonovo číslo určené podílem molárních tepelných kapacit plynu při stálém tlaku a objemu.

- **Polytropický děj**, který lépe aproximuje reálné děje než adiabatický děj a je popsán mimo stavové rovnice ještě další rovnicí podobnou rovnicí (5)

$$pV^\gamma = \text{konst.}, \gamma \neq \kappa \quad (6)$$

kde  $\gamma$  je bezrozměrný polytropický koeficient.

### Pracovní úkol:

1. Ověřte Boyleův-Mariottův zákon pro izotermický děj pro různá množství vzduchu
2. Ověřte Charlesův zákon pro izochorický děj pro vzduch

### Potřeby:

Přípravek pro měření izotermického děje (válec s pístem a manometrem), přípravek na měření izochorického děje (nádobka stálého objemu s manometrem), vařič, teploměr

### Pokyny pro měření a jeho zpracování:

1. Pro ověření Boyleova-Mariotteova zákona použijte uzavřený válec s pístem a manometrem- viz přípravek podle obrázku. Otevřete černý ventil vlevo, píst posuňte otáčením kličkou do zvolené polohy, ventil uzavřete. Otáčením kličkou stlačujte plyn v nádobě tak, aby změna tlaku byla vždy 0,1 baru. Pohybuje pístem v celém objemu válce v rámci rozsahu manometru. Zapisujte hodnoty tlaku a délku sloupce (přepočítejte na objem). Opakujte 3x pro různá počáteční množství plynu, která realizujete různým počátečním objemem vzduchu vyplňující válec za atmosférického tlaku. Sestrojte graf závislosti  $p = f(V)$  a  $p = f(1/V)$ .

2. Naměřená data tlaku a objemu vyneste pro izotermický děj podle rovnice (2) v grafu  $p = f(1/V)$  a proložte lineární regresi, stanovte chyby měření. Koeficient úměrnosti porovnejte s koeficientem zjištěným z počátečního objemu vzduchu pod pístem při dané teplotě a hustotě vzduchu. Ověřte Boyleův-Mariottův zákon.



3. Pro ověření Charlesova zákona použijte přípravek s kovovou nádobkou stálých rozměrů a manometrem podle obrázku. Přípravek ohřívejte pomalu, na míchadle nastavujte teplotu vždy po 5 °C, nechte ohřát, ustálit a pak запиšte hodnotu teploty a tlaku. Přípravek zahřívejte na vařiči tak, abyste nepřesáhli rozsah manometru. Sestrojte graf závislosti  $p = f(T)$ .

4. Naměřená data tlaku a teploty vyneste pro izochorický děj podle rovnice (4) v grafu  $p = f(T)$  a proložte lineární regresi, stanovte chyby měření. Ověřte Charlesův zákon.

### Kontrolní otázky:

1. Nakreslete grafy závislostí  $p - V$  pro izotermický děj pro různá množství plynu a různé teploty.
2. Nakreslete grafy závislostí  $p - T$  pro izochorický děj pro různé objemy plynu.
3. Jaký je přepočítaný počet jednotek tlaku bar a Pa?