

## 10. Pomer špecifických tepiel plynu

Určte Clémentovou - Desormesovou metódou pomer špecifických tepiel pri stálom objeme a tlaku pri izbovej teplote pre vzduch.

### TEORETICKÝ ÚVOD

Experimentálnym štúdiom chovania plynov bolo zistené, že ich termodynamické vlastnosti sú pre väčšinu plynov veľmi podobné. Preto bol zavedený reprezentatívny modelový plyn, tzv. ideálny plyn, ktorý má tieto vlastnosti:

1. súčin tlaku a objemu ideálneho plynu závisí len od teploty,
2. vnútorná energia ideálneho plynu závisí tiež len od jeho teploty.

Prvú vlastnosť možno vyjadriť stavovou rovnicou

$$pV = nRT \quad (10.1)$$

kde  $T$  je absolútna teplota,  $n$  látkové množstvo v móloch a  $R$  je tzv. plynová konštanta.

Z druhej vlastnosti vyplýva tzv. Mayerov vzťah pre molárne tepelné kapacity pri stálom tlaku  $C_p$  a stálom objeme  $C_v$

$$C_p - C_v = R \quad (10.2)$$

Rovnica (10.1) opisuje, ako spolu súvisia tlak a objem pri stálnej teplote - izotermický dej, tlak a teplota pri stálom objeme - izochorický dej, objem a teplota pri stálom tlaku - izobarický dej.

Chovanie ideálneho plynu pri adiabatickom procese možno predpovedať s uvažovaním 1. termodynamického zákona a vzťahov (10.1) a (10.2). Súvis medzi objemom a tlakom má v tomto prípade tvar tzv. Poissonovej rovnice

$$pV^{\gamma} = \text{const.} \quad (10.3)$$

kde  $\gamma$  sa nazýva Poissonova konštanta a je definovaná vzťahom

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{C_p}{C_v} \quad (10.4)$$

kde  $c_p$  a  $c_v$  sú príslušné špecifické teplá. Z kinetickej teórie plynov vieme, že molárna tepelná kapacita ideálneho plynu pri stálom objeme je

$$C_v = i \frac{R}{2} \quad (10.5)$$

kde  $i$  je počet stupňov voľnosti molekuly, t.j. počet nezávislých údajov (súradníc) potrebných na určenie polohy molekuly v priestore. Pre jednoatómovú molekulu  $i = 3$ , pre dvojatómovú  $i = 5$  a pre viacatómové molekuly  $i = 6$ .

Dosadením vzťahov (10.2) a (10.5) do vzťahu (10.4) dostávame pre pomer špecifických tepiel vzťah

$$\gamma = \frac{i + 2}{i}$$

z ktorého možno vyjadriť počet stupňov voľnosti

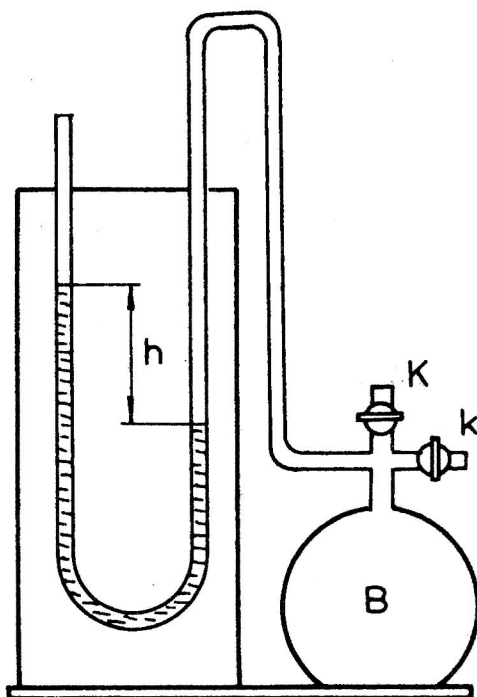
$$i = \frac{2}{\gamma - 1} \quad (10.6)$$

Posledný vzťah nám umožňuje z hodnoty Poissonovej konštanty usúdiť na štruktúru molekúl plynu.

## METÓDA MERANIA

Hodnotu konštanty  $\kappa$  nemožno určiť priamo vydelením hodnoty  $c_p$  hodnotou  $c_v$ , pretože prakticky nemožno odmerať kalorimetricky s dostatočnou presnosťou hodnotu  $c_v$ . Na meranie sa preto používajú rôzne nepriame metódy. V jednej z nich sa na to používajú adiabatické deje, ktoré prebiehajú v plyne pri šírení zvuku. Tým sa prevádza meranie  $\kappa$  na meranie rýchlosti zvuku v plynách. Pri iných metódach sa meria  $\kappa$  pozorovaním adiabatických zmien, ktoré v plyne umelo vyvolávame.

Jednoduchú metódu založenú na adiabetickej expanzii plynu navrhli Clément a Desormes (1819). Ich zariadenie sa skladá z väčšieho skleneného balóna B, ku ktorému je pripojený manometer M naplnený zafarbenou vodou (obr. 10.1).



Obr. 10.1 Clémentovo - Desormesovo zariadenie

Kohútikom k možno do balóna privádzať skúmaný plyn, kohútom K so širokým otvorom možno vnútro balóna spojiť s vonkajším vzduchom. Cez kohútik k nahustíme do balóna B meraný plyn, takže manometer M ukáže rozdiel výšok hladín  $h_1$ , a teda pretlak nad tlakom barometrickým  $b$ . Začiatočný tlak plynu v balóne je

$$p_1 = b + p'_1 \quad (10.7)$$

kde  $p'_1 = sgh_1$  je hydrostatický tlak vodného stĺpca s výškou  $h_1$  pri hustote vody  $s$ .

Ak nakrátko otvoríme široký kohút K a hneď ho zase zavrieme, tlak plynu sa rýchlo vyrovná s vonkajším atmosferickým tlakom  $b$ . Toto rozopnutie prebieha veľmi rýchlo, takže ho môžeme pokladať za adiabatické. Tá časť plynu, ktorá zostala v balóne, má v okamihu uzavretia kohúta K tlak  $b$  a objem  $V_2$ . Na začiatku expanzie mala tlak  $p_1$  a neznámy objem  $V_1$ . Podľa Poissonovej rovnice musí platiť

$$p_1 V_1^{\gamma} = b V_2^{\gamma} \quad (10.8)$$

Keďže pri adiabatickej expanzii sa plyn ochladil, postupom času začne jeho teplota stúpať, až pri rovnováhe s okolím dosiahne teplotu okolia. Pretože pri tomto ohrievaní sa objem plynu nemení, bude rásť jeho tlak na hodnotu

$$p_2 = b + p'_2 = b + sgh_2 \quad (10.9)$$

kde  $h_2$  je rozdiel hladín vodného stĺpca v obidvoch ramenách manometra.

Pretože uvažované množstvo plynu má tú istú teplotu ako na začiatku adiabatickej expanzie, možno z Boyleovho zákona pre oba stavy písať

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (10.10)$$

a určiť neznámy objem  $V_1$ . Dosadením za  $V_1$  z rovnice (10.10) do vzťahu (10.8) dostaneme po úprave pre Poissonovu konštantu vzťah

$$\alpha = \frac{\ln \frac{p_1}{b}}{\ln \frac{p_1}{p_2}} \quad (10.11)$$

Pri praktickom meraní býva pretlak  $p_1'$  a potom aj  $p_2'$  oveľa menší ako atmosferický tlak  $b$ , čo nám umožňuje podstatne zjednodušiť vzťah (10.11).

Dosadíme do vzťahu (10.10) za tlaky  $p_1$  a  $p_2$  vzťahy (10.7) a (10.9). Dostaneme Poissonovu konštantu v tvare

$$\alpha = \frac{\ln \left(1 + \frac{p_1'}{b}\right)}{\ln \left(1 + \frac{p_1'}{b}\right) - \ln \left(1 + \frac{p_2'}{b}\right)} \quad (10.12)$$

Pretože  $\frac{p_1'}{b} \ll 1$  aj  $\frac{p_2'}{b} \ll 1$ , možno logaritmy vystupujúce vo vzťahu (10.12) rozvinúť do Taylorovho radu podľa týchto malých parametrov a uvážiť len prvý nenulový člen radu. Dostávame tak približný vzťah

$$\alpha \simeq \frac{\frac{p_1'}{b}}{\frac{p_1'}{b} - \frac{p_2'}{b}} = \frac{\text{sg}h_1}{\text{sg}h_1 - \text{sg}h_2} = \frac{h_1}{h_1 - h_2} \quad (10.13)$$

## OPIS APARATÚRY A POSTUP PRÁCE

a) Prístroje a pomôcky: zariadenie podľa obr. 10.1, barometer

**b) Postup práce:**

Na začiatku aj na konci merania odčítame na laboratórnom barometri atmosferický tlak. Ak sa počas merania vyskytla zmena, počítame s priemernou hodnotou.

Hustilkou pripojenou ku kohútiku k nahustíme do balóna B vzduch, aby manometer ukázal pretlak 25 až 30 cm vodného stĺpca a počkáme, kým sa hladiny kvapalného stĺpca v manometri ustália. Po ustálení odčítame rozdiel hladín  $h_1$  vodného stĺpca v oboch ramenách manometra. Potom nakrátko otvoríme široký kohút K a hneď ho zasa zavrieme. Po vyrovnaní teploty vzduchu v balóne s teplotou okolia, čo poznáme z ustálenia kvapalinového stĺpca v manometri M, odčítame zasa rozdiel hladín  $h_2$ . Meranie opakujeme 10-krát pri rôznych začiatočných hodnotách  $h_1$  a rôznych rýchlostiach otáčania kohúta K. Namerané hodnoty zapisujeme do tab. 10.1.

Tab. 10.1

b =

i	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	$p_1$ (Pa)	$p_2$ (Pa)	$\alpha$

Z približného vzťahu (10.13) vyplýva, že medzi veličinami  $h_1$  a  $h_2$  je lineárny vzťah

$$h_2 = \frac{\alpha - 1}{\alpha} h_1 \quad (10.14)$$

Meranie opakujeme a namerané body ( $h_1$ ,  $h_2$ ) vynesieme na milimetrový papier a preložíme nimi priamku. Zo smernice tejto priamky

určíme hodnotu  $\alpha$  . Pre jeden bod priamky určíme systematickú chybu v určení  $\alpha$  , spôsobenú použitím približného vzťahu (10.13), resp. (10.14). (Použite vzťah (10.11).)

#### Upozornenie:

Pri nahusťovaní vzduchu musíme dávať pozor, aby klesajúca hladina vodného stĺpca v manometri neklesla príliš blízko k dolnému ohybu U trubice manometra. Inak kvapalina z manometra vystrekne.

#### OTÁZKY A PROBLÉMY

1. Čomu sa rovná rozdiel špecifických tepiel pri stálom tlaku a objeme ideálneho plynu?
2. Odvoďte vzťah (10.11) pre Poissonovu konštantu!
3. Vytipujte, ktoré sú možné zdroje chýb tejto meracej metódy!
4. Odhadnite hodnotu Poissonovej konštanty vzduchu, keď vieme, že je zložený väčšinou z dvojatómových molekúl ( $N_2$ ,  $O_2$ )!