

8. Tlak, objem a teplota plynu při izotermické a adiabatické kompresi

1. Klíčová slova

Děje v plynech, stavové veličiny, teplo, teplota, tlak, objem, stavová rovnice, děj izotermický, děj adiabatický, stupně volnosti.

2. Princip

Izotermickou kompresi realizujeme pomalým stlačováním vzduchu pístem ve válci tak, aby se teplo stačilo odvádět na stěny válce a teplota vzduchu měřená termočlánkem zůstávala konstantní. Adiabatickou kompresi realizujeme naopak co nejrychlejším stlačováním vzduchu ve válci tak, aby během stlačování uniklo na stěny co nejméně tepla. V obou případech zaznamenáváme stavové veličiny tlak, objem a teplotu a po vynesení do p - V diagramu jejich průběh vyhodnotíme z hlediska zákonů termodynamiky.

3. Přístroje a pomůcky

Souprava ISES s tlakoměrem, ohmmetrem a voltmetrem, válec s plynem, termočlánek, teploměr, potenciometr, počítač.

4. Úkol

A. Změřte závislost tlaku na objemu $p = p(V)$ pro izotermický děj ve vzduchu a porovnejte ji s teoretickou závislostí.

B. Změřte závislost tlaku na objemu $p = p(V)$ pro adiabatický děj ve vzduchu a porovnejte ji s teoretickou závislostí. Určete Poissonovu konstantu vzduchu.

C. Z naměřených časových změn teploty odhadněte časovou konstantu termočlánu a časovou konstantu pro ustálení tepelné rovnováhy válce s plynem a diskutujte jejich vliv na přesnost měření.

5. Teorie

Obecná stavová rovnice plynů

$$f(p, T, V) = 0 \quad (8.1)$$

vyjadřuje vztah mezi tlakem p , absolutní teplotou T a objemem plynu V . Stavová rovnice pro případ ideálního plynu pak je

$$pV = \eta RT, \quad (8.2)$$

kde η je látkové množství v molech a $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ je univerzální plynová konstanta.

Jestliže ideální plyn mění svůj tlak a objem tak, že teplota plynu se nezmění (jev probíhá velmi pomalu, takže teplota plynu se vyrovnává s teplotou okolí), nastává izotermický děj a stavová rovnice se zjednoduší na tzv. Boyleův-Mariottův zákon

$$pV = \text{konst.} \quad (8.3)$$

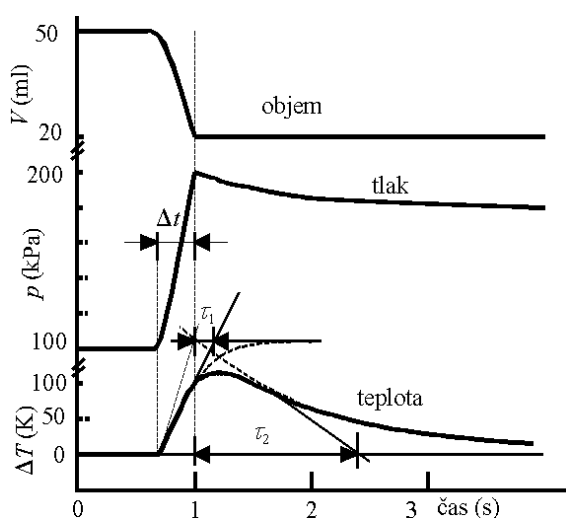
Jestliže ideální plyn mění svůj tlak a objem tak, že výměna tepla s okolím není možná (jev probíhá velmi rychle), jedná se o adiabatický děj a platí

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

kde κ je Poissonova konstanta. Pro ideální plyny je

$$\kappa = \frac{i+2}{i}, \quad (8.4)$$

kde i je počet stupňů volnosti molekuly plynu. Pro jednoatomové molekuly $i = 3$, pro



Obr.8. 1 Závislost objemu, tlaku a změny teploty na čase pro adiabatický děj

dvouatomové molekuly $i = 5$ a pro víceatomové molekuly $i = 6$. Pro reálné plyny se κ této hodnotě blíží a je tabelována.

Metoda měření

Izotermický i adiabatický děj uskutečňujeme v uzavřeném válci. Polohu pístu a tím i objem plynu snímáme pomocí potenciometru a modulu ohmmetr - ISES, tlak plynu pak měříme modulem manometr - ISES a teplotu pomocí termočlánku a modulu voltmetr - ISES.

A. Izotermický děj uskutečňujeme pomalým stlačováním tak, aby se vznikající teplo stačilo odvádět do stěn válce (změna teploty měřená termočlánkem je nulová). Pomocí počítače zaznamenáváme časové

závislosti objemu a tlaku plynu, teplotu plynu sledujeme a udržujeme konstantní. Během měření zobrazujeme závislost $p(V)$ a časovou závislost změny teploty plynu ve válci $\Delta T(t)$. (Přepočítání odporu na objem, napětí termočlánku na rozdíl teplot a tlaku relativního na absolutní uskuteční program ISES, pokud se k tomu nakonfiguruje. Kontrolujeme proto, zda ve zobrazení je na vertikální ose objem, tlak a teplota v příslušných jednotkách a rozsazích.)

B. Adiabatický děj $p(V)$ uskutečňujeme co nejrychlejšími stlačováním (ve zlomku sekundy), aby se teplo vzniklé stlačováním plynu nestačilo odvést stěnami. Pomocí počítače zaznamenáváme a zobrazujeme časové závislosti $V(t)$, $p(t)$ a časovou závislost změny teploty plynu ve válci $\Delta T(t)$. Doba adiabatického děje je dobou komprese. Po jejím ukončení následuje vlivem přenosu tepla do okolí změna tlaku a teploty při konstantním objemu - děj izochorický.

C. Z časového záznamu teplotního rozdílu lze určit podmínky správnosti měření obou dějů. K tomu potřebujeme stanovit časovou konstantu termočlánku τ_1 a časovou konstantu pro ustálení tepelné rovnováhy τ_2 . Využijeme časových závislostí pro růst a pokles teploty na obr. 8.1. Lze dokázat, že růst i pokles teploty je exponenciální funkcí času, kde růst je ovlivněn časovou konstantou τ_1 a pokles časovou konstantou τ_2 .

Exponenciální extrapolací klesající části závislosti teploty na čase k času ukončení komprese získáme skutečnou maximální změnu teploty plynu. Tímto bodem vedeme přímkou rovnoběžnou s časovou osou a tečnu, která na časové ose vytne úsek τ_2 . Lineární prodloužení rostoucí části závislosti od času ukončení komprese vytne na přímce časový úsek τ_1 . Časová konstanta τ_2 je konstantou zařízení a je dána rychlostí přenosu tepla z plynu na stěny. Podmínka správného měření adiabatického děje je $\tau_2 \gg \Delta t$ a izotermického děje $\tau_2 \ll \Delta t$, kde Δt je doba trvání komprese plynu.

Časová konstanta τ_1 je konstantou termočlánku a je dána jeho tepelnou kapacitou a rychlostí přenosu tepla z plynu na termočlánek. Omezuje možnost měření rychlejších časových změn teploty. Pro správné stanovení τ_2 musí být splněna relace $\tau_2 \gg \tau_1$.

6. Pokyny pro měření

Provedeme orientační měření s konfigurací **adiabata.cfg** a v případě potřeby nastavíme měřicí zařízení tak, abychom změny tlaku měli v celém rozsahu manometru 100 - 200 kPa. Tomuto rozsahu tlaku odpovídá změna objemu přibližně na polovinu počáteční hodnoty. Vycházíme z objemu plynu při stlačení na doraz zařízení, pak nastavíme píst na objem asi dvojnásobný a

skleněným ventilkem vyrovnáme tlak uvnitř válce s okolím. Zopakujeme měření a podle potřeby trochu vzduchu upustíme nebo nasajeme.

A. Měřicí zařízení ISES nastavíme pomocí konfiguračního souboru **izoterma.cfg**. Měření provádíme podle postupu v odstavci "metody" a soubor uložíme.

B. Měřicí zařízení ISES nastavíme pomocí konfiguračního souboru **adiabata.cfg**. Měření provádíme podle postupu v odstavci "metody" a soubor uložíme.

C. K odečtům časových konstant můžeme využít metody zpracování v programu ISES.

Uložené soubory dat zpracováváme dále v Excelu

7. Pokyny pro zpracování

A. Vyneseme závislost $p = p(V)$ v logaritmicím měřítku a provedeme její lineární regresi. Směrnici k porovnáme s teoretickou hodnotou ($k = -1$).

B. Vyneseme závislost $p = p(V)$ v logaritmicím měřítku a provedeme její lineární regresi. Směrnici κ porovnáme s teoretickou hodnotou (podle rovnice (8.5)).

C. Vyneseme závislost $\Delta T = \Delta T(t)$ a pomocí konstrukce na obr. 8.1 určíme maximální změnu teploty a časové konstanty τ_1 a τ_2 . V závěru diskutujeme jejich vliv na přesnost izotermy a adiabaty.

8. Kontrolní otázky

- Co je stavová rovnice ideálního plynu?
- Za jakých podmínek komprese nastává izotermický, resp. adiabatický děj?
- Vyskytuje se při experimentu děj izochorický, případně izobarický?
- Jak souvisí Poissonova konstanta κ s počtem stupňů volnosti molekul plynu?
- Jaký vliv mají časové konstanty termočlánku a zařízení na přesnost měření izotermy a adiabaty?