

Studium izotermického děje

pracovní návod s metodickým
komentářem pro učitele
připravil J. Sigl

fyzika

09

úloha číslo

Cíle

Ukázat, že při konstantní teplotě je tlak plynu nepřímo úměrný objemu plynu (Boyleův-Mariottův zákon).

Podrobnější rozbor cílů

Cílem je ukázat, že při izotermickém ději je grafem závislosti tlaku plynu na jeho objemu nepřímá úměrnost. Tedy, že součin objemu plynu a jeho tlaku je konstantní. Dalším cílem je diskuse významu konstanty k v rovnici získané aproximací dat funkcí nepřímá úměrnost.

Zadání úlohy

Změřte závislost tlaku p vzduchu v injekční stříkačce na objemu V tohoto vzduchu. Závislost graficky znázorníte, proložíte ji funkcí nepřímá úměrnost a z její rovnice určete hodnotu konstanty k nepřímé úměrnosti. Diskutujte hodnoty součinu tlaku a objemu a fyzikální význam konstanty k .

Pomůcky

počítač s DataStudiem, USB Link, senzor absolutního tlaku Pasco, injekční stříkačka (minimálně do 24 ml), plastová hadička

Zařazení do výuky

Tato laboratorní úloha spadá podle RVP do učiva *Termodynamika – termodynamická teplota; vnitřní energie a její změna, teplo; první a druhý termodynamický zákon; měrná tepelná kapacita; různé způsoby přenosu vnitřní energie v rozličných systémech* a plní se jí očekávané výstupy *Aplikuje s porozuměním termodynamické zákony při řešení konkrétních fyzikálních úloh, využívá stavovou rovnici ideálního plynu stálé hmotnosti při předvídání stavových změn plynu, měří vybrané fyzikální veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření.*

Časová náročnost

Vysvětlení úlohy a její změřením lze stihnout během jedné vyučovací hodiny.

Návaznost experimentů

Navázat lze na laboratorní úlohu týkající se měření měrné tepelné kapacity.

Teoretický úvod

Stav ideálního plynu a jeho změny lze popsat stavovou rovnicí

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

kde p je tlak plynu, V objem plynu, n látkové množství plynu, R molární plynová konstanta (její hodnota je $8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$) a T termodynamická teplota. Mění-li se stav plynu stálé hmotnosti, platí

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}, \quad (2)$$

a tedy

$$\frac{pV}{T} = \text{konst.} \quad (3)$$

Dochází-li k pomalému stlačování (rozpínání) plynu stálé hmotnosti, nemění se jeho teplota a vztah (3) lze přepsat do tvaru

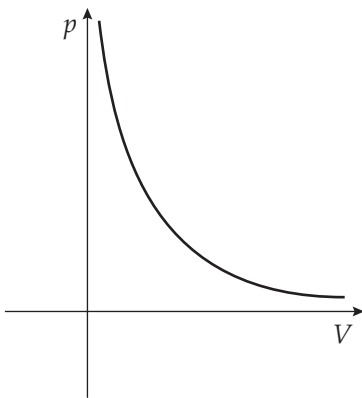
$$pV = \text{konst.} \quad (4)$$

Tedy součin tlaku a objemu ideálního plynu stálé hmotnosti je konstantní (Boyleův-Mariottův zákon). Pokud z tohoto vztahu vyjádříme tlak p , dostáváme rovnici nepřímé úměrnosti

$$p = \frac{\text{konst.}}{V} = \frac{k}{V}, \quad (5)$$

kde k je konstanta nepřímé úměrnosti.

Grafem této funkce je hyperbola (viz obr. 1).



Obr. 1: Graf závislosti tlaku ideálního plynu stálé hmotnosti na jeho objemu

Motivace

Proč nafouknutý fotbalový míč promáčkeme jen trochu? Proč, když je měkký, zmáčkeme ho víc a menší silou? Proč při příliš velkém zatížení praskne?

Postup práce

Sestavíme měřicí aparaturu (viz obr. 2).



Obr. 2: Foto uspořádání experimentu Studium izotermického děje

Nastavení HW a SW

Senzor absolutního tlaku připojíme k rozhraní USB Link a rozhraní připojíme pomocí USB kabelu k počítači.

Spustíme program DataStudio a zvolíme možnost *Vytvořit experiment*. Připojené čidlo by se mělo automaticky detekovat a v okně *Data* se zobrazí název měřené veličiny (*Absolute Pressure*). Změníme název *Absolute Pressure* na *Tlak* dvojitým poklepáním levým tlačítkem myši na název *Absolute Pressure*. V nově otevřeném okně přepíšeme v *Názvu měření* a *Názvu proměnné Absolute Pressure* na *Tlak*. Nastavíme krokové měření v menu *Setup*, v záložce *Vzorkování* zatržením tlačítka *Načti hodnotu stiskem* či *příkazem*. V okně *Název* přepíšeme *Keyboard 1* na *Objem*, v okně *Jednotky* přepíšeme *bez jednotek* na *ml* a potvrdíme *OK*.

V grafu klepneme levým tlačítkem myši na veličinu *Čas* a v nově rozbalené nabídce zatrhneme *Objem*. Dvojklikem do grafu se otevře okno *Nastavení grafu*. V záložce *Zobrazení* odznačíme možnost *Spojovat data body*. Tabulku vytvoříme přetažením názvu *Tlak vs Objem* z okna *Data* do okna *Displays*, záložky *Tabulka*. Vytvoříme vzorec pro výpočet součinu tlaku p a objemu V . Levým tlačítkem myši klepneme na *Výpočet*. V nově otevřeném okně v možnosti *Definice* napíšeme vzorec $y = p \cdot V$ a potvrdíme tlačítkem *Přijmout*. V nabídce *Proměnné* rozbalíme nabídku u *Zadejte proměnnou „p“* a zatrhneme možnost *Data Measurement*. V nově otevřeném okně zvolíme jako zdroj dat *Tlak (kPa)* a potvrdíme *OK*. Stejným způsobem nadefinujeme proměnnou V , pouze jako zdroj dat zvolíme *Objem (ml)*. Okno zavřeme. Nově nadefinovanou proměnnou y doplníme do tabulky přetažením se stisknutým levým tlačítkem myši vzorce $y = p \cdot V$ z okna *Data* do okna *Displays*, záložky *Tabulka 1*.

Pro fitování nepřímou úměrností vytvoříme fitovací funkci. V grafu rozbalíme nabídku *Fitování* a zatrhneme *Fitování definované uživatelem*. V okně *Data* otevřeme dvojklikem na možnost *Fitování definované uživatelem* okno, ve kterém vytvoříme fitovací funkci. Přepíšeme proměnnou x na k/x , klepneme na zatržítka a okno zavřeme.

Vlastní měření a záznam dat

Píst stříkačky nastavíme na hodnotu 24 ml a spustíme měření tlačítkem *Start*. Stiskneme tlačítko *Vzít*, do nově otevřeného okna doplníme hodnotu 25 ml (k hodnotě na stupnici stříkačky vždy přičteme 1 ml, což je přibližně hodnota objemu vzduchu ve svorce, kterou je stříkačka připevněna k tlakoměru) a potvrdíme *OK*. Píst stlačíme na 22 ml a postup opakujeme (nezapomeneme zapsat 23 ml). Takto postupujeme po 2 ml až do hodnoty 6 ml na stříkačce, klepneme na červený čtvereček vedle tlačítka *Vzít* a měření ukončíme.

Analýza naměřených dat

Naměřená data můžeme analyzovat přímo v DataStudiu nebo je vyexportovat do tabulkového editoru (v záložce *Soubor* zvolíme možnost *Exportovat data*, v nově otevřeném okně vybereme *Tlak vs. Objem*, potvrdíme *OK* a uložíme jako soubor s příponou *.txt*). V DataStudiu uložíme graf i tabulku jako obrázek pomocí funkce *Výstřižky* (běžně funguje ve Windows 7) nebo funkce *Print Screen*. Porovnáme zobrazený graf a data v tabulce s teoretickými předpoklady. Z rovnice fitovací funkce určíme hodnotu konstanty k nepřímé úměrnosti a určíme její význam.

Technická úskalí, tipy a triky

Při měření dbáme na co možná nej přesnější nastavení pístu ve stříkačce.

Hodnocení výsledků

Žáci by měli z naměřených dat a grafu potvrdit teoretické předpoklady. Konstanta k má význam součinu nRT a její hodnota vypočítaná v tabulce by měla být stále stejná. Její kolísání je zapříčiněno nepřesným určením objemu plynu. Pokud známe termodynamickou hodnotu při měření, můžeme z hodnoty konstanty k určit také látkové množství vzduchu ve stříkačce.