

Ověřování stavové rovnice ideálního plynu

Teorie

Ideální plyn je fyzikálně zjednodušený model plynu, který má ideální vlastnosti. Částice ideálního plynu splňují následující podmínky, a to, že rozměry částic jsou zanedbatelné vzhledem ke vzdálenostem mezi nimi, kromě srážek na sebe částice jinak nepůsobí, celková kinetická energie částic se při vzájemných srážkách nemění, tzn., srážky částic jsou dokonalé pružné. Důsledkem těchto podmínek jsou dokonalá stlačitelnost a žádné vnitřní tření (dokonalá tekutost). Reálné plyny se při dostatečně vysoké teplotě a nízkém tlaku ideálnímu plynu svými vlastnostmi přibližují.

Plyn, který je v rovnovážném stavu lze charakterizovat stavovými veličinami: termodynamickou teplotou T tlakem p objemem V a počtem molekul N (popř. látkovým množstvím n nebo hmotností plynu m). Rovnice, která vyjadřuje vztah mezi těmito veličinami, se nazývá stavová rovnice. Pro ideální plyn má následující tvar

$$pV = NkT,$$

kde p je tlak plynu, V je objem plynu, N je celkový počet částic plynu, T je termodynamická teplota a k je Boltzmannova konstanta ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$). Pokusy ukazují, že tuto rovnici lze přibližně použít také pro skutečné plyny, a to tím přesněji, čím nižší je jejich tlak a čím vyšší je jejich teplota.

Pokud budeme uvažovat stavové změny (tzn. změny tlaku, objemu a teploty) ideálního plynu o konstantní hmotnosti, popíšeme dva různé stavy téhož plynu rovnicemi

$$p_1V_1 = NkT_1, \quad p_2V_2 = NkT_2,$$

z obou rovnic plyne

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}.$$

Můžeme tedy tvrdit, že výraz $\frac{pV}{T}$ je konstantní.

Děj, při němž je teplota stálá, se nazývá **izotermický děj**. Při tomto ději s plynem o stálé hmotnosti se mění objem V a tlak plynu p . Graf vyjadřující tlak plynu stálé hmotnosti jako funkci jeho objemu při izotermickém ději se nazývá izoterma (viz obrázek X).

$$p_1V_1 = p_2V_2, \quad \text{resp.} \quad pV = \text{konst.} \quad (\text{zákon Boyleův-Mariottův})$$

Děj, při němž je objem plynu stálý, se nazývá **izochorický děj**. Zahříváme-li plyn určité hmotnosti tak, že jeho objem zůstává stálý, zvětšuje se jeho tlak. Graf znázorňující v diagramu $p - V$ izochorický děj se nazývá izochora (obrázek X). Při izochorickém ději je objem plynu stálý, a proto izochora je úsečka rovnoběžná s osou p .

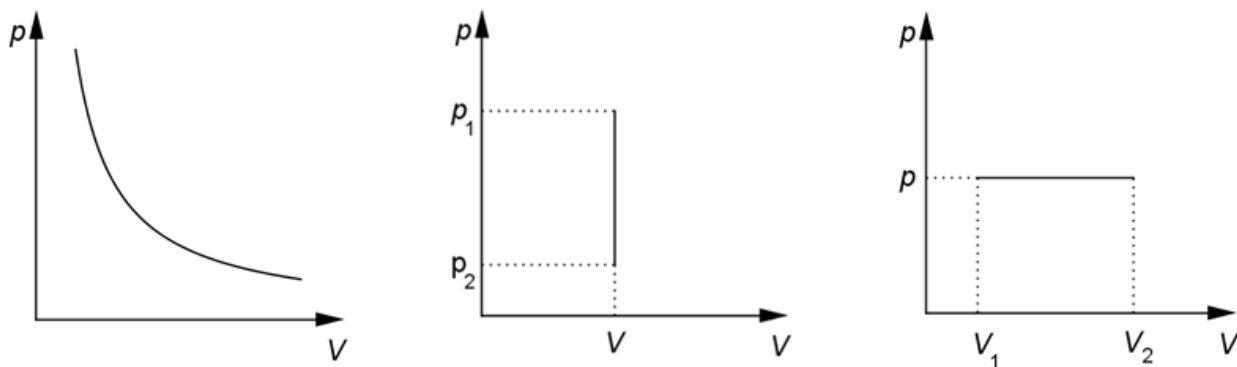
Platí vztahy

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}, \quad \text{resp.} \quad \frac{p}{T} = \text{konst.} \quad (\text{zákon Charlesův})$$

Děj, při němž je tlak plynu stálý, se nazývá **izobarický děj**. Zahříváme-li plyn určité hmotnosti tak, že jeho tlak udržujeme stálý, zvětšuje se objem plynu. Graf vyjadřující tlak plynu stálé hmotnosti jako funkci jeho objemu při izobarickém ději se nazývá izobara (obrázek X).

Pro izobarický děj platí následující vztahy

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \quad \text{resp.} \quad \frac{V}{T} = \text{konst.} \quad (\text{zákon Gay-Lussacův})$$



Obrázek 0.1: $p - V$ diagramy po řadě izotermického, izochorického, izobarického děje

Úkol

1. Ověřte stavovou rovnici ideálního plynu pro konstantní teplotu.
2. Ověřte stavovou rovnici ideálního plynu pro konstantní objem a pro konstantní tlak.

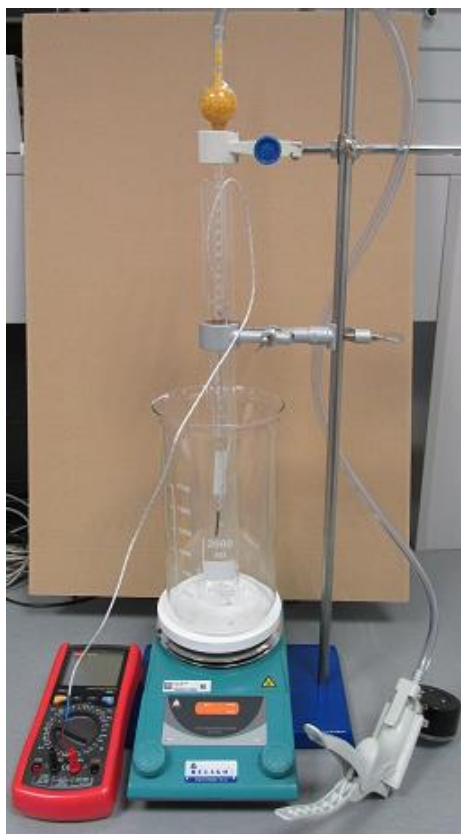
Bezpečnostní pokyny:

Plynový teploměr obsahuje rtuť, zacházejte s ním proto obezřetně a vyhněte se jeho poškození. Při zacházení s horkou vodou používejte ochranné pomůcky a dbejte bezpečnosti. S vodou manipulujte nad umyvadlem.

Chraňte multimetr před kontaktem s vodou.

Pomůcky:

sestava na měření vlastností ideálního plynu (stojan, svorky, plynový teploměr spojený hadičkou s ruční vakuovou pumpou, velká zkumavka, skleněná kádinka o objemu 2000 ml), multimetr UNI-T s upraveným teplotním čidlem, rychlovarná konvice, varná kádinka o objemu 600 ml, nejmenší magnetické míchátko, magnetická míchačka, led



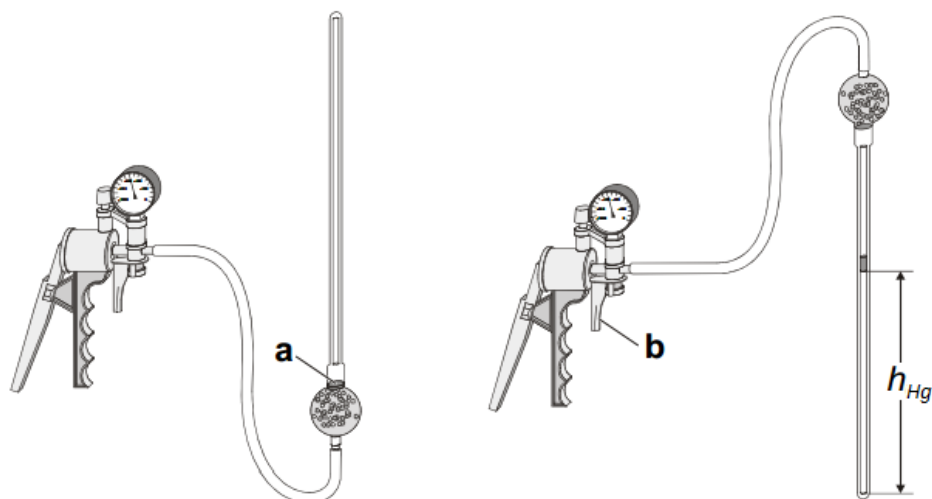
Obrázek 1: Sestava na měření vlastností ideálního plynu

Postup:

Část 1

- 1) Zkontrolujte sestavu podle obrázku 1. Ujistěte se, že máte všechny díly jak z obrázku, tak ze seznamu pomůcek.
- 2) Připravte plynový teploměr k experimentu:
 - a. Otočte teploměr rtutí nahoru (viz obrázek 2, a), dejte přitom pozor, aby se krystalky, jež se uvolnily z rozšířené části, nedostaly do vakuové pumpy. Začněte pumpovat, v teploměru tak začne vznikat podtlak a rtuť se začne uvolňovat a padat po kapkách dolů.
 - b. Opatrně sklepejte všechny kapky rtuti na bílý špunt (obrázek 2, a). Dbejte na to, abyste vytvořili podtlak alespoň 600 mbar.
 - c. Obraťte plynový teploměr vzhůru nohama (části s krystaly nahoru), pokud se uvolnily nějaké krystalky, sklepejte je do skleněné části.
 - d. Pomocí ventilu na spodní části vakuové pumpy (obrázek 2, b) snižte podtlak v teploměru až na atmosférický tlak. Kapka rtuti by se měla jednoduše posunout po

stupnici směrem dolů. Pokud se vám kapka rozdělila na více částí, opakujte postup od bodu a.



Obrázek 2: Kolekce rtuti v plynovém teploměru a uvolňování podtlaku

- 3) Určete hodnotu tlaku v místnosti. Pokud nemáte přístup k zařízení, měřicímu tlak, využijte hodnoty zjištěné dne 4. 2. 2015, $p_0 = 1012,47 \text{ hPa}$.
- 4) Zapište si hodnotu výšky h_{Hg} (výška spodní části rtuťové kapky).
- 5) Vakuovou pumpou vytvořte v plynovém teploměru podtlak, zapište si hodnotu podtlaku p_v plynovém teploměru, kterou odečtete na budíku vakuové pumpy (obrázek 3). Všimněte si, že hodnota podtlaku je na budíku uvedena v jednotkách mbar. Před výpočty proto nezapomeňte naměřené hodnoty převést na hPa. Zapište si hodnotu výšky h , do které vystoupala rtuťová kapka.



Obrázek 3: Budík vakuové pumpy

- 6) Postup z kroku 5 opakujte. Celkem udělejte 12 různých měření (tzn. krok cca po 50 mbar). Výsledky zapisujte do tabulky
- 7) Z těchto dat vytvoříte ve vašem protokolu graf závislosti objemu na tlaku při konstantní teplotě.

Část 2

- 1) V rychlovarné konvici uvařte přibližně 400 ml vody. Po uvaření otevřete víko konvice a nechte vodu asi minutu zchladnout.
- 2) Opakujte krok 2 – příprava plynového teploměru k experimentu.
- 3) V tomto experimentu používáte multimetr s teplotním čidlem, multimetr chraňte před vodou. Multimetr zapnete žlutým tlačítkem POWER (viz obr. 4), otočným knoflíkem

zvolte měření v °C. Teplotní čidlo zapojte podle obrázku 4 – černý kolík do druhé zdířky, červený kolík do třetí zdířky multimetru.



Obrázek 0: Multimetr UNI-T UT76A a zapojení teplotního čidla

- 4) Zahřátou vodu nalijte do velké zkumavky. Postupujte tak, že ze stojanu vyjmete zkumavku i se svorkou, která ji drží, a vodu do zkumavky nalijete nad umyvadlem. Výška vodního sloupce by měla dosahovat maximálně do výšky 5 cm pod okraj zkumavky.
- 5) Zkumavku připevněte ke stojanu.
- 6) Do připravené druhé svorky vsuňte plynový teploměr tak, aby byl co nejvíce ponořen do zkumavky s vodou.
- 7) Počkejte přibližně minutu, než se poloha rtuťové kapky v teploměru ustálí – zahříváním byla vytlačena do výšky h_0 – запиšte si hodnotu (výška spodní části rtuťové kapky), запиšte si též hodnotu teploty t_0 .
- 8) Do zkumavky vhod'te magnetické míchátko. Sestavu přestavte přidáním 2000ml kádinky se studenou vodou z vodovodu a magnetické míchačky. Míchačku zapněte na nízké otáčky, funkci zahřívání ponechejte vypnutou.
- 9) Po minutě запиšte hodnotu teploty t ve zkumavce. Zapište výšku rtuťové kapky h_p (výška při konstantním tlaku).
- 10) Zapisujte hodnoty teploty a výšky do tabulky 2, a to každou minutu po následujících 20 minut.
- 11) Při poklesu hodnoty teploty ve zkumavce pod 40 °C přidejte do kádinky s vodou kostky ledu. Vodu s ledem dostatečně často (cca dvakrát do minuty po dobu alespoň 10 sekund) promíchávejte.
- 12) Sestavu rozeberte a veškerou vodu i s ledem vylijte do umyvadla. Led je možné použít při dalším měření.
- 13) Za znalosti vnitřního poloměru plynového teploměru $d = 2,7$ mm a předpokladu, že vnitřní prostor tohoto teploměru je dokonalý válec, spočítejte z naměřených hodnot výšek hodnoty objemu V v každém měření. Tyto hodnoty uveďte v protokolu v přehledné tabulce a použijte ve výpočtech.
- 14) Z těchto dat vytvoříte ve vašem protokolu graf závislosti teploty na objemu při konstantním tlaku (použijete hodnoty t a V).

Část 3

- 15) Opakujte body 8 až 13.
- 16) Počkejte přibližně minutu, než se poloha rtuťové kapky v teploměru ustálí – zahříváním byla vytlačena do výšky h_0 – запиšte si hodnotu (výška spodní části rtuťové kapky), запиšte si též hodnotu teploty t_0 a tlaku p_0 .
- 17) Do zkumavky vložte magnetické míchátko. Sestavu přestavte přidáním 2000ml kádinky se studenou vodou z vodovodu a magnetické míchačky. Míchačku zapněte na nízké otáčky, funkci zahřívání ponechejte vypnutou.
- 18) Po minutě запиšte hodnotu teploty t ve zkumavce. Poté pomocí ventilu vyrovnejte tlaky v teploměru (stlačíte ventil a držíte, dokud se rtuť neustálí). Následně vakuovou pumpou odčerpějte tlak tak, aby rtuťová kapka vystoupala zpět do výšky h_0 . Zapište hodnotu podtlaku v plynovém teploměru p_V (spočítáte tlak při konstantním objemu).
- 19) Zapisujte hodnoty teploty a podtlaku do tabulky 3, a to každou minutu po následujících 20 minut.
- 20) Při poklesu hodnoty teploty ve zkumavce pod 40 °C přidejte do kádinky s vodou kostky ledu. Vodu s ledem dostatečně často (cca dvakrát do minuty po dobu alespoň 10 sekund) promíchávejte.
- 21) Vyjměte opatrně plynový teploměr ze svorky, teploměr osušte a odložte. Vodu z velké zkumavky i z kádinky vylijte do umyvadla, nádoby nechte uschnout.
- 22) Za znalosti vnitřního poloměru plynového teploměru $d = 2,7$ mm a předpokladu, že vnitřní prostor tohoto teploměru je dokonalý válec, spočítejte z naměřených hodnot výšek hodnoty objemu v každém měření. Tyto hodnoty uveďte v protokolu v přehledné tabulce a použijte ve výpočtech.
- 23) Z těchto dat vytvoříte ve vašem protokolu graf závislosti teploty na tlaku při konstantním objemu (použijete hodnoty t a p_V).
- 24) Vytvořte protokol popisující průběh vašeho měření, který bude obsahovat vámi naměřená data, výpočty a tři grafy (měření pro konstantní teplotu, pro konstantní plyn a pro konstantní objem).
- 25) Na závěr shrňte výsledky svého snažení, vypočítejte a diskutujte chyby měření.

Tabulka 1: Tabulka pro zápis hodnot pro měření při konstantní teplotě

Podtlak p (mbar)	Výška h (cm)	Podtlak p (mbar)	Výška h (cm)
$p_0 = 0$	$h_{Hg} =$	350	
100		400	
150		450	
200		500	
250		550	
300		600	

Tabulka 2: Tabulka pro zápis hodnot pro měření
při konstantním tlaku

Čas od začátku měření (min)	Teplota t (°C)	Výška h_p (cm)
0	$t =$	$h_p =$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Tabulka 3: Tabulka pro zápis hodnot pro měření
při konstantním objemu

Čas od začátku měření (min)	Teplota t (°C)	Podtlak p_V (mbar)
0	$t =$	$p_V = 0$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

