Syté páry a demonstrace jejich vlastností

VOJTĚCH STACH, VÍTĚZSLAV STRAŇÁK
Pedagogická fakulta v Českých Budějovicích

S pojmem pára se žáci podrobněji setkávají na základní škole [1]. Tyto získané poznatky jsou dále rozšiřovány na středních školách a to především při výuce termiky, kam je zařazena i kapitola zabývající se změnami skupenství [2]. I přesto jsou však v mnoha případech představy žáků o párách a jejich vlastnostech zkreslené. V našem příspěvku se chceme zabývat základními vlastnostmi sytých par, které jsou při změnách skupenství specifickým případem a mají velmi odlišné vlastnosti ve srovnání s plyny, pro které platí Daltonův zákon [4], [5].

Je-li kapalina v uzavřeném prostoru, dochází k jejímu vypařování. Po určité době nastane stav, kdy se prostor nad kapalinou párami nasytí - mezi kapalinou a jejími párami nastane rovnováha. Páry, které jsou v rovnováze se svou kapalinou, se nazývají syté páry. Z kinetického hlediska lze stav sytých par popsat následujícím způsobem. Při vypařování do volného prostoru unikají z kapaliny molekuly s nejvyšší energií. V prostoru nad kapalinou se molekuly páry srážejí mezi sebou, resp. s molekulami vzduchu, a vracejí se zpět do kapaliny. V případě, že uniká z kapaliny více molekul než se do ní vrací, hovoříme o vypařování. Postupně však roste počet molekul nad kapalinou a současně roste i počet molekul vracejících se zpět do kapaliny. Jakmile nastane dynamická rovnováha, z kapaliny uniká stejný počet molekul, jako se do ní zpět vrací. V každé objemové jednotce je nad kapalinou (při určité teplotě) maximální počet molekul - prostor je párami nasycen. Molekuly páry jsou v chaotickém pohybu podobně jako molekuly plynu. Jejich nárazy na stěny nádoby způsobují vznik tlaku páry. Páry jsou neviditelné, rozpínavé a stlačitelné stejně jako plyny. Přesto se však podstatně liší od plynů, protože pro ně neplatí ani zákon Gay-Lussacův ani zákon Boyle-Mariottův. V tomto příspěvku se chceme blíže zabývat závislostí tlaku sytých par na objemu nádoby a na teplotě a demonstrací parciálního tlaku sytých par.

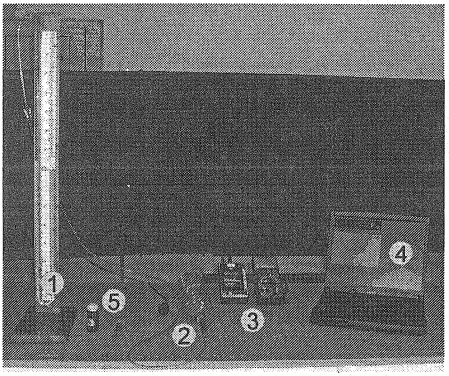
Pro tyto účely jsme zhotovili jednoduché a finančně nenáročné pomůcky. Jako nádoby využíváme PET láhve různých objemů. Nejprve upravíme uzávěr láhve a to tak, že do něj vyvrtáme díru (o průměru přibližně 10 mm) a do vzniklého otvoru přilepíme plastovou nebo kovovou trubičku. Je výhodou, že většina PET lahví je opatřena zátkou stejného typu a tak lze jeden upravený uzávěr použít pro různé láhve s různými objemy. Na kovovou trubičku v uzávěru poté navlékneme asi 10 cm gumové hadice. Je důležité, aby hadice byla z gumy, protože otvory způsobené vpichem injekční jehly se poté, co ji vytáhneme, „zatáhnou". Skrze redukční spojku, nebo přímo, pak spojíme gumovou hadici s klasickou „akvarijní" hadičkou, kterou připojíme k manometru, viz. obr. Je důležité, aby všechny spoje byly dokonale vzduchotěsné. V opačném případě můžeme použít silikonové tmely, lepidlo, apod. V našem případě nám jako manometr posloužila klasická U-trubice s ocejchovanou stupnicí. Zároveň jsme však využili digitálního manometru připojeného k osobnímu počítači. Ten, s vhodným softwarovým vybavením, přímo vykresluje grafické závislosti. Stejně dobře však lze využít i vybavení ISES, které manometr obsahuje. Posledními pomůckami pak jsou injekční stříkačky s co nejtenčími jehlami a vhodné kapaliny (destilovaná voda, líh, benzin, perchloretylen, atd.).

První demonstrační experiment je zaměřen na závislost tlaku sytých par na objemu prostoru nad kapalinou. Do láhve o objemu 1,5 l vstříkneme injekční stříkačkou, skrze gumovou hadici, 1 cm^3 kapaliny, např. lihu. Po určité době je nádoba nasycena párami s určitým tlakem. Celý postup opakujme s tím rozdílem, že jako nádobu použijeme láhev o objemu 0,5 l. V případě, že teplota byla při obou pokusech stejná, nabude tlak sytých par stejné hodnoty jako v předchozím případě. Celý experiment lze opakovat s různými kapalinami, různými objemy lahví, různým objemem vstříknuté kapaliny a dokazuje neplatnost Boyle-Mariottova zákona pro páry.

Druhý demonstrační experiment ukazuje závislost tlaku sytých par na teplotě. Uspořádáni je

podobné předchozímu případu, navíc však potřebujeme nádobu s kapalinou (vodou). Nádoba by měla být opatřena teploměrem a měla by umožňovat plynulé zvyšování teploty. Do láhve injekční stříkačkou vpravíme určitý objem (2-5 cm^3) kapaliny, např. lihu. Po chvíli jsme schopni určit tlak sytých par v láhvi. Nyní celou láhev ponoříme do nádoby s kapalinou o vyšší teplotě a můžeme pozorovat nárůst tlaku sytých par. Tlak sytých par je velmi silně závislý na teplotě a tento pokus je třeba optimalizovat. Ke znatelnému zvýšení tlaku sytých par mnohdy stačí ohřev láhve při jejím držení v ruce. Navíc je třeba při vyšších teplotách počítat s velkými hodnotami tlaků. Proto je tento experiment vhodný spíše jako demonstrační. Pokud bychom jej provedli korektním způsobem, dokazoval by neplatnost Gay-Lussacova zákona.

Třetí experiment dokazuje vlastnost parciálního tlaku par. Je-li v nádobě více kapalin a jejich sytých par (které spolu chemicky nereagují), páry každé kapaliny se chovají tak, jako by celý prostor nádoby vyplňovaly samy. Pro tento experiment potřebujeme několik lahví, např. pro tři různé kapaliny čtyři lahve. Nejprve postupně do jednotlivých lahví vstříkneme injekční stříkačkou jednotlivé kapaliny (např. líh, perchloretylen, voda) a určíme jejich tlaky sytých par. Mnohem efektnější je, když sledujeme jednotlivé průběhy na monitoru počítače. Poté do jedné láhve postupně vstřikujeme všechny uvedené kapaliny (líh, perchloretylen, voda). Na monitoru je možné sledovat průběh tlaku směsi kapalin a výrazné zvýšení tlaku sytých par po přidání nové kapaliny. Při tomto pokusu je třeba používat vždy suché láhve a suché injekční stříkačky. V opačném případě by docházelo k vytvoření slabých roztoků, což by negativně ovlivňovalo průběh pokusu. Všechny uvedené experimenty jsou navrhovány pro výuku fyziky na středních školách. Je vhodnější je volit jako demonstrační k probírané látce, zvláště jsou-li podporovány počítačem. Při všech těchto experimentech je nutno vzít v úvahu silnou závislost tlaku sytých par na teplotě a tuto skutečnost co možná nejvíce eliminovat.



Obr. Uspořádání experimentální sestavy

Souprava obsahuje: (1) trubicový U-manometr, (2) PET láhev s upraveným víčkem, (3) digitální manometr s napěťovým výstupem a multimetr s výstupem pro připojení k PC (může být nahrazeno soupravou ISES), (4) PC zaznamenávající časový průběh tlaku, (5) injekční stříkačka s jehlou.

Literatura:

[1] Kolářová, R. a kol.: Fyzika pro 8. roč. ZŠ. Prométheus, Praha 1994.
[2] Bartuška, K., Svoboda, E.: Molekulová fyzika a termika. Prométheus, Praha 2000.
[3] Svoboda, E.: Přehled středoškolské fyziky. Prométheus, Praha 1998.
[4] Svoboda, E., Bakule, R.: Molekulová fyzika. Academia, Praha 1992.
[5] Hlavička, A., a kol.: Fyzika pro pedagogické fakulty. SPN, Praha 1974.
[6] Horák, Z., Krupka, F.: Fyzika. SNTL, Praha 1976.