

RYCHLÉ EXPERIMENTY S VERNIEREM – STAVOVÁ ROVNICE IDEÁLNÍHO PLYNU

Jakub Jermář

Abstrakt

Počítačem podporované experimenty umožňují zefektivnit a výrazně zrychlit experimentování při výuce. Tento fakt autor demonstruje na 3 experimentech se systémem Vernier, jejichž cílem je experimentální objevení či alespoň ověření stavové rovnice ideálního plynu.

QUICK EXPERIMENTS WITH VERNIER – IDEAL GAS LAW

Abstract

Computer-aided experiments can be quick and easy. Autor proves that on ideal gas law experimental „discovery“ using Vernier datalogging system.

Stavová rovnice ideálního plynu – rychle a efektivně

Stavovou rovnici ideálního plynu můžeme získat jako výsledek kombinace tří jednodušších závislostí – závislosti tlaku na objemu („pV závislost“, tzv. Boyleův–Mariottův zákon), závislosti tlaku na teplotě („pT závislost“, tzv. Charlesův zákon) a závislosti tlaku na látkovém množství. Při vhodném uspořádání experimentu lze všechny tyto závislosti naměřit zhruba během 20 až 30 minut, objevení stavové rovnice ideálního plynu proto lze bezpečně stihnout během jediné vyučovací hodiny.



Obr. 1 – použité pomůcky (zleva: rozhraní Go!Link, tlakové čidlo a teploměr Go!Temp)

Boyleův–Mariottův zákon

Pro proměření závislosti tlaku na objemu použijeme tlakové čidlo Vernier GPS-BTA [1], které připojíme k počítači pomocí rozhraní Vernier Go!Link [2]. Na počítači spustíme program Logger Lite (ten získáme zdarma s rozhraním Go!Link) a k tlakovému čidlu připojíme injekční stříkačku (injekční stříkačka se správným závitem je součástí balení tlakového senzoru) s pístem nastaveným na objem 10 ml.

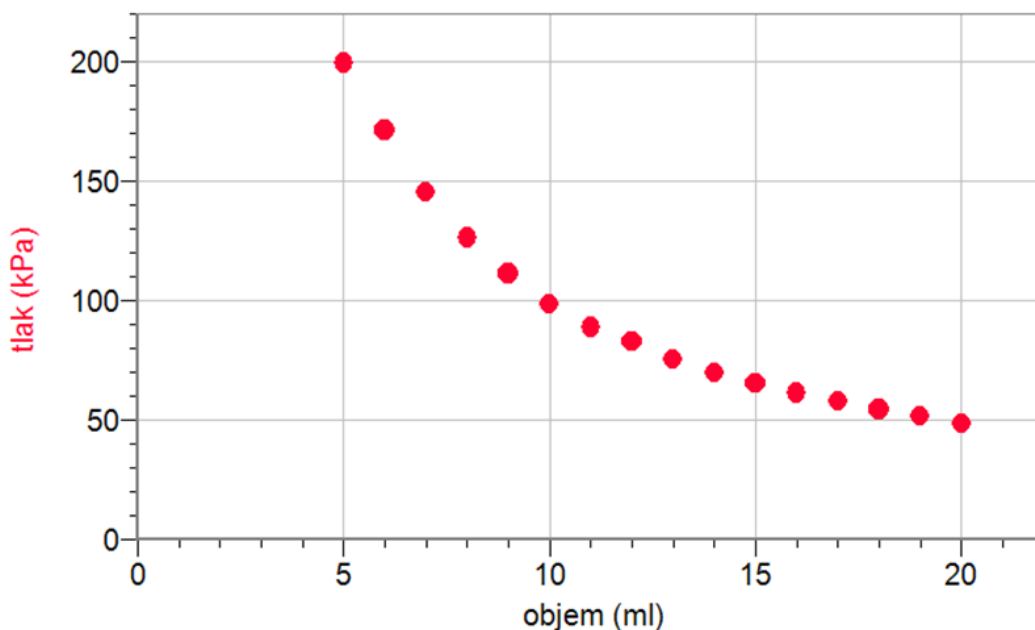
V programu Logger Lite nastavíme *Experiment* → *Sběr dat* → *Mód: události se vstupy*. Vkládané hodnoty nazveme „Objem“, značka „V“ a jednotka „ml“. Kliknutím pravého tlačítka na graf vyvoláme nabídku s parametry grafu a změníme ji tak, aby

nebyly jednotlivé body spojovány (odznačíme „Spojovat body“, v anglické verzi jde o položku „Connect Points“).

Spustíme měření zeleným tlačítkem start či stiskem klávesy „mezerník“ a hodnotu rovnou zaznamenáme tlačítkem „Zachovat“. V objevivším se okně vyplníme aktuální objem (10 ml). Nyní posunutím pístu ve stříkačce změním objem a tlačítkem „Zachovat“ opět zaznamenáme aktuální tlak. Toto opakujeme, dokud neproměříme rozsah od 5 do 20 ml. Pak stiskneme červené tlačítko stop.

Na grafu nyní vidíme diskrétní body připomínající klesající funkci. V tento okamžik doporučuji se studenty diskutovat, jaká by to mohla být funkce. Pravděpodobně padnou návrhy „exponenciální pokles“, „ $1/x$ “ a „ $1/x^2$ “. Snadno se přesvědčíme, že nejlépe vyhovuje funkce „ $1/x$ “, tedy přesněji „ $p=\text{konstanta}/V$ “ neboli „ $p \cdot V=\text{konstanta}$ “. Většinou graf vychází tak pěkně, že při objemu 5 ml je tlak zhruba 200 kPa, při 10 ml je tlak 100 kPa a při 20 ml 50 kPa – součin je tedy vždy konstanta přibližně rovna 1000 (ml·kPa).

Tento experiment jsme s kolegy nafilmovali jako videonávod pro učitele a je volně ke shlédnutí na internetu [3].



Graf 1 – naměřená závislost tlaku na objemu

Charlesův zákon

Pro proměření závislosti tlaku na teplotě opět použijeme tlakové čidlo Vernier GPS-BTA připojené k počítači pomocí rozhraní Go!Link, zároveň však k počítači připojíme USB teploměr Vernier Go!Temp [4]. Tentokrát k tlakovému čidlu připojíme pomocí hadičky a zátky nějakou malou skleněnou nádobku (např. zkumavku). Připravíme si také několik lázní s různě teplou vodou – ideální je co největší teplotní rozsah, doporučuji tedy pro ohřívání vody použít ryhlovarnou konvici. Postup je podobný předcházejícímu měření, místo objemu však zadáváme teploměrem měřenou teplotu lázně. Máme-li k dispozici místo pokročilejší verzi programu Logger Pro,

zvolíme při nastavování experimentu mód „*Vybrané události*“ – program pak bude párovat teplotu a tlak automaticky, tj. nebude třeba zadávat měřenou teplotu manuálně. U grafu je potřeba opět zrušit spojování naměřených bodů a nyní také správně nastavit osy – kliknutím na osy grafu nastavíme na svislé ose teplotu a na vodorovné ose tlak. Druhý, automaticky přednastavený graf nebudeme potřebovat a tak jej smažeme (klikneme na něj a stiskneme klávesu *Del*).

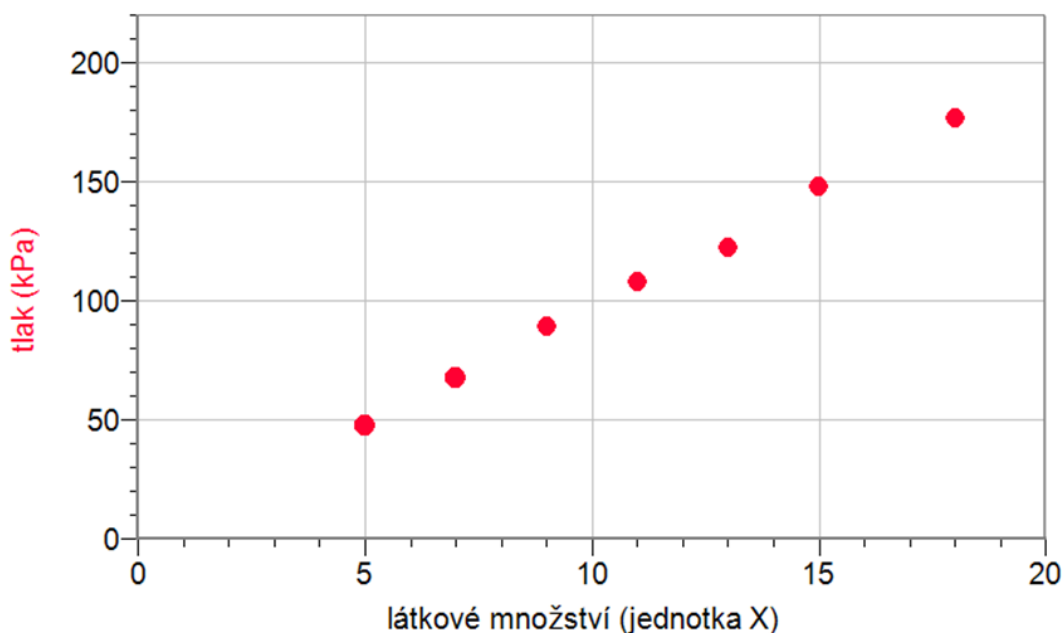
Po proměření v různě teplých lázních získáme hodnoty, jimiž lze pěkně proložit přímkou (*Analýza* → *Proložit přímkou*). Závislost je tedy zjevně lineární, tedy „ $t = p \cdot \text{konstanta}_1 + \text{konstanta}_2$ “. Pokud jsme měřili dostatečně přesně, bude hodnota konstanty₂ přibližně 273 °C. V tento okamžik se studenty prodiskutujeme, že bude lepší zavést si termodynamickou teplotu vztahem „ $T = t - 273,15$ “, neboť to povede ke zjednodušení celého vztahu na „ $p = \text{konstanta} \cdot T$ “, tedy na přímou úměrnost. Z té také vyplývá, že při absolutní nule ($T = 0 \text{ K}$) by byla hodnota tlaku ideálního plynu nulová.

I tento experiment jsme s kolegy nafilmovali jako videonávod pro učitele a je volně ke shlédnutí na internetu [5].

Závislost tlaku na látkovém množství

Zbývá nám proměření poslední závislosti – závislosti tlaku na látkovém množství. Opět použijeme tlakové čidlo Vernier GPS-BTA připojené k počítači pomocí rozhraní Go!Link a injekční stříkačku. Opět zvolíme mód „*Události se vstupy*“, tentokrát však budeme zadávat látkové množství (v nějakých našich jednotkách): Nyní budeme měřit podobně jako při proměřování Boyleova–Mariottova zákona, před každým jednotlivým měřením ale odpojíme stříkačku, nasajeme do ní nějaké množství vzduchu ($x \text{ ml}$ vzduchu za normálního tlaku bude odpovídat látkovému množství x našich jednotek), stříkačku připojíme a nastavíme konstantní objem při měření na 10 ml. Pak proměříme tlak a zadáme příslušné látkové množství v našich jednotkách.

Takto provedený experiment by měl vést na přímou úměrnost „ $p = \text{konstanta} \cdot n$ “, kde n je látkové množství.



Graf 2 – naměřená závislost tlaku na látkovém množství plynu

Závěr

Poskládáme-li v předchozích odstavcích zjištěné závislosti dohromady, snadno nahlédneme, že platí $p \cdot V = n \cdot T \cdot \text{konstanta}$, přičemž rovnici si můžeme přepsat do obvyklejšího tvaru $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$, kde konstantu R nazveme univerzální plynovou konstantou a prozradíme studentům, že její hodnota je přibližně $8,3145 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Kromě již v úvodu zmíněné relativní časové nenáročnosti takto provedených experimentů bych rád zmínil ještě druhou výhodu počítačem podporovaných měření – použijeme-li k vizualizaci měřených hodnot a závislostí dataprojektor, může experiment snadno sledovat celá třída, kromě rychlosti je tedy velkou předností i názornost a možnost sledovat „vývoj měření“. To je oproti situaci, kdy je studentům předkládán akorát konečný výsledek, pro studenty zajímavější a aktivizující.

Literatura

1. Vernier CZ – čidlo tlaku plynu [online]. 2011 [cit. 2011-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.vernier.cz/produkty/podrobne-informace/kod/GPS-BTA>>
2. Vernier CZ – rozhraní pro připojení senzorů k počítači přes USB [online]. 2011 [cit. 2011-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.vernier.cz/produkty/podrobne-informace/kod/GO-LINK>>
3. FILIPENSKÁ, Lucie, et al. Vernier CZ – Boyleův-Mariottův zákon [online]. 2011 [cit. 2011-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.vernier.cz/video/boyleuv-mariottuv-zakon>>.
4. Vernier CZ – čidlo pro měření teploty [online]. 2011 [cit. 2011-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.vernier.cz/produkty/podrobne-informace/kod/GO-TEMP>>
5. FILIPENSKÁ, Lucie, et al. Vernier CZ – Závislost tlaku na teplotě [online]. 2011 [cit. 2011-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.vernier.cz/video/zavislost-tlaku-na-teplote>>.

Kontaktní adresa

Mgr. Jakub Jermář
KDF MFF UK v Praze
V Holešovických 2, 180 00 Praha 8
Telefon: +420 221 912 430
E-mail: jakub.jermar@mff.cuni.cz