

## EXPERIMENTÁLNE ŠTÚDIUM ADIABATICKÉHO DEJA

Peter Čerňanský<sup>1</sup>, František Schauer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra fyziky, Pedagogická fakulta, Trnavská univerzita  
Priemyselná 4, P. O. Box 9, 918 43 Trnava, SR  
e-mail: [pcernan@truni.sk](mailto:pcernan@truni.sk)

<sup>2</sup>Katedra fyziky, Pedagogická fakulta, Trnavská univerzita  
Priemyselná 4, P. O. Box 9, 918 43 Trnava, SR  
e-mail: [fschauer@truni.sk](mailto:fschauer@truni.sk)

**Abstract.** Čerňanský, P., Schauer, F.: *A direct measurement of adiabatic constant of air, Paed. Univ. Tyrnaviensis, Ser. C.* Physical experiment played a crucial role in the development of physical knowledge. The same holds for physics instruction. The recent trends, emphasizing more competencies than knowledge, prefer rather constructivist approach. This brings a renaissance of interest for experiment in physics. The paper deals with an application of constructivist method based on experimental experience of the learner. It presents a specific problem of experimental study of the ideal gas behavior. Namely, the study of adiabatic process and the adiabatic constant determination are provided. The technology can be modified to remote experiment technology.

**Keywords:** ideal gas, adiabatic process, adiabatic constant, Poisson law, constructivist approach, remote experiment

### 1 Úvod

V školských laboratóriách sa s adiabatickým dejom stretávame skoro výlučne len pri úlohe merania adiabatickej konštanty  $\kappa$  (niekedy nazývanej aj Poissonova konštanta). Používa sa pritom výhradne Clémentova–Désormesova metóda [1]. Z metodického hľadiska by bolo prirodzenejším priame meranie, vychádzajúce zo štúdia adiabatického deja, t. j. experimentálneho stanovenia Poissonovho zákona pre adiabatický dej v ideálnom plyne:

$$pV^\kappa = \text{const.} \quad (1)$$

ktoré sa však stretáva s ťažkosťami brániacimi jeho použitiu. Tieto ťažkosti súvisia s tým, že adiabatický proces sa väčšinou realizuje ako proces veľmi rýchle prebiehajúci, počas ktorého možno považovať množstvo tepla, ktoré si plyn vymení s okolím za zanedbateľné. Je to možné vďaka tomu, že proces výmeny tepla prebieha relatívne pomaly. Konkrétne ťažkosti s meraním  $\kappa$  priamo z Poissonovho zákona sú spôsobené tým, že potrebujeme zariadenie, ktoré by bolo schopné veľmi rýchle merať hodnoty tlaku a objemu plynu tak, aby sme za krátku dobu, počas napr. adiabatickej kompresie, získali dostatočné množstvo nameraných dát poskytujúcich relevantnú informáciu o adiabatickej konštante.

V súčasnosti používané zariadenia v školských laboratóriách (v našom prípade ISES) už takéto možnosti poskytujú. Poskytujú možnosť priameho štúdia zmien stavových veličín pri adiabatickom deji. Cieľom tohto príspevku je prezentovať realizáciu experimentálneho zariadenia na Pedagogickej fakulte Trnavskej univerzity určeného na štúdium dejov v ideálnom plyne a možnosti jeho využitia pri výučbe termodynamiky ideálneho plynu. Vychádzajúc z experimentálneho vyšetrovania adiabatického deja sa experimentálne nájde

zákonitosť závislosti tlaku plynu od jeho objemu známa ako Poissonov zákon. Určí sa tiež adiabatická konštanta vzduchu metódou vychádzajúcou z Poissonovho zákona. Súčasne je cieľom aj prediskutovanie úskalí tejto metódy.

## 2 Teoretické východiská

Adiabatický dej v plyne je dej, pri ktorom je zablokovaná výmena tepla s jeho okolím. V tomto prípade okrem splnenia stavovej rovnice ideálneho plynu

$$pV = nRT, \quad (2)$$

kde  $p$ ,  $V$  a  $T$  sú tlak, objem a termodynamická teplota, stavové veličiny charakterizujúce rovnovážny stav plynu,  $n$  je látkové množstvo a  $R$  molárna plynová konštanta, existujú aj jednoduché vzťahy medzi ľubovoľnými dvojicami stavových veličín, napr. (1). Prístupovať k experimentálnemu vyšetrovaniu adiabatického deja je možné tak, že pri dostatočne rýchlej zmene, napr. objemu, meriame hodnoty ostatných stavových veličín. Vychádzať môžeme bez akýchkoľvek apriorných vedomostí. Stačí sa dať inšpirovať jednou z metód objavovania fyzikálnych vzťahov a závislostí veličín, dimenzionálnou analýzou. V zjednodušenom variante sa dá fyzikálny vzťah medzi danou veličinou a inými veličinami, ktoré prichádzajú do úvahy, hľadať v tvare súčinu mocnín tých, do úvahy prichádzajúcich veličín. Z porovnania fyzikálneho rozmeru možno získať exponenty v jednotlivých mocninách. Experimentálnou analógiou takéhoto postupu je meranie závislostí vybraných dvojíc. Takýto postup nám je schopný poskytnúť podiel príslušných exponentov. Problém sa veľmi zjednoduší, keď pracujeme s logaritmi nameraných hodnôt, pretože v tom prípade dostávame lineárnu závislosť a príslušné exponenty v nej budú vystupovať ako koeficienty.

Poissonov zákon, po jeho zlogaritmovaní, dáva:

$$\ln p = -\kappa \ln V + \text{const.}, \quad (3)$$

pričom z teórie vyplýva, že  $\kappa$  sa rovná podielu molárnej tepelnej kapacity za konštantného tlaku  $C_p$  a molárnej tepelnej kapacity za konštantného objemu plynu  $C_V$ :

$$\kappa = \frac{C_p}{C_V} \quad (4)$$

Z (3) vidíme, že teória predpovedá lineárnu závislosť logaritmu tlaku plynu pri adiabetickej zmene od logaritmu jeho objemu. Grafom tejto závislosti je teda priamka, so smernicou rovnajúcou sa:  $-\kappa$ . Preto, ak budeme schopní počas adiabatického deja dostatočne rýchle merať súčasne hodnoty objemu a tlaku plynu, je celkom prirodzeným postupom vytvorenie korešpondujúcich dvojíc dát „nameraných“ logaritmov uvedených hodnôt a vyhodnotenie ich závislosti pomocou lineárnej regresie. Lineárnou regresiou stanovená záporná hodnota smernice grafu závislosti ( $\ln p$ ) od ( $\ln V$ ) je odhadom skutočnej hodnoty  $\kappa$ . Súčasne lineárna regresia poskytne aj odhad neistoty merania adiabetickej konštanty.

## 3 Experimentálne zariadenie

Ako sme už spomenuli v úvode, podmienkou pre možnosť experimentálneho štúdia adiabatického deja a jeho prostredníctvom aj merania konštanty  $\kappa$  priamo z Poissonovho zákona, je mať k dispozícii zariadenie schopné s vysokou frekvenciou vzorkovať objem a tlak

vzduchu v pracovnej nádobe. Takéto zariadenie v svojom komplexe poskytuje ISES [3]. Celkovú zostavu aparátúry predstavuje obr. 1.



Obr. 1 Celkový pohľad na meraciu aparátúru

Použitou pracovnou nádobou (Obr. 2) môže byť napr. striekačka Janett používaná v ušnej medicíne. Dovnútra valca striekačky je privedený senzor teplotného modulu a hadičkou je vnútorný objem valca spojený s tlakovým meracím modulom. Merania zmien objemu možno realizovať cez zmenu odporu reostatu, ktorého jazdec sa posúva spolu s piestom striekačky a signál sa spracováva za pomoci ISES.



Obr. 2 Detail pracovnej nádoby



Obr. 3 Meracie moduly ISES

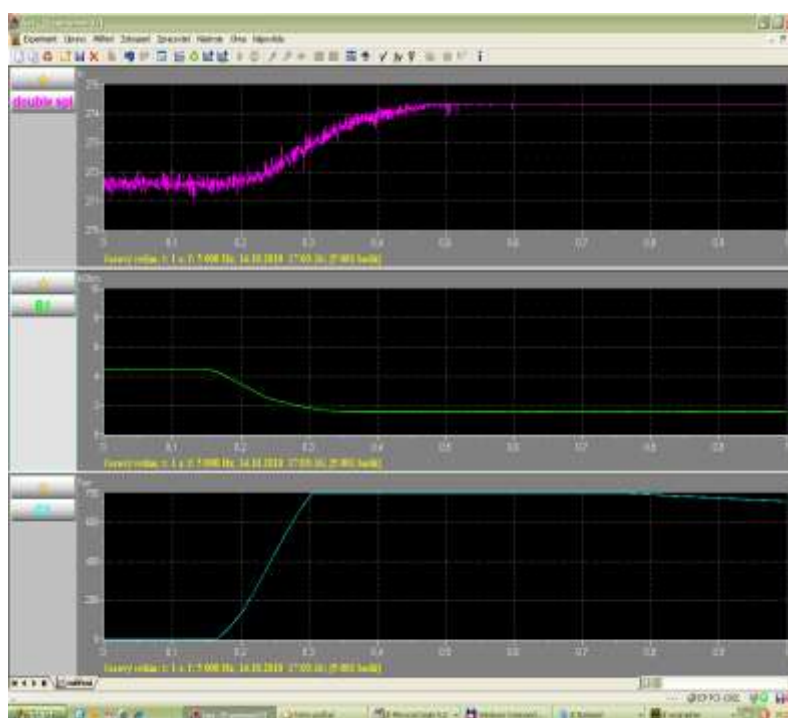
Použité experimentálne zariadenie dovoľuje ukladať dáta s vysokou frekvenciou, takže aj pomocou veľmi rýchlej adiabatickej kompresie je možné získať tisícky experimentálnych dát, ktoré štatistickým spracovaním už poskytujú zmysluplný výsledok

#### 4 Experimentálne vyšetřovanie adiabatického deja

Počas rýchleho stlačenia piestu pracovnej nádoby je únik tepla z plynu do svojho okolia zanedbateľný a tento proces možno s veľmi dobrým priblížením považovať za adiabatický. Z grafu priebehu teploty, objemu a tlaku (obr. 4) možno určiť ohraňenie priebehu adiabatického deja na oblasť prudkého nárastu tlaku (dolná časť obrázku 4). Dáta, ktoré sú určené na spracovanie budeme vyberať len z tohto časového intervalu. ISES umožňuje export

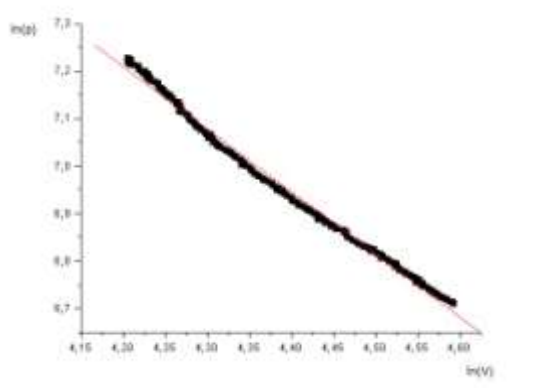
Číslo merania	p (torr)	V (cm <sup>3</sup> )
901	56,59	98,86
902	56,41	98,77
903	57,88	98,77
904	58,97	98,73
905	60,07	98,65
906	60,62	98,65
907	60,81	98,39
908	61,90	97,97
909	62,27	98,18
910	62,09	98,14
911	64,29	98,06
912	65,02	97,89
913	65,75	97,85
914	66,30	97,72
915	66,67	97,55
916	67,58	97,22
917	68,68	97,38
918	69,41	97,26
919	69,23	97,34
920	70,88	97,22

Tab. 1 Ukážka dát

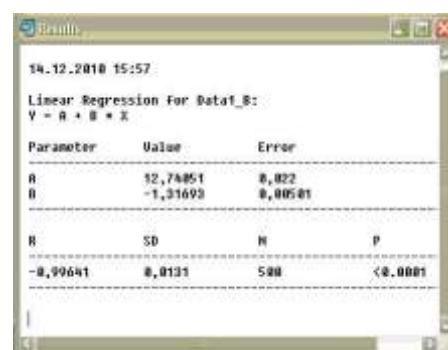


Obr. 4 Grafy priebehu teploty, objemu a tlaku plynu

dát vhodný pre Excel či v textovom formáte použiteľnom v iných vhodných programoch na štatistické spracovanie dát. Výberová ukážka zlomku dát je v tabuľke 1. Hodnoty tlaku je potrebné korigovať o aktuálny atmosférický tlak, pretože tlakomerný modul bol adjustovaný tak, že ukazoval rozdiely tlaku oproti atmosférickému. Celkový pracovný objem, vzhľadom na relatívne malý objem pracovného valca, je potrebné korigovať o hodnotu objemu plynu



Obr. 5 Graf závislosti logaritmov p a V



Obr. 6 Koefficienty lineárnej regresie

v prírodnej hadičke k meraciemu modulu tlaku. Štatistické spracovanie dát pozostávajúcich z a vynesení z logaritmov nameraných hodnôt v štandardných programoch na spracovanie experimentálnych dát (napr. Origin) nám poskytne graf (obr. 5) príslušnej závislosti aj koeficienty lineárnej regresie (obr. 6), z ktorých smernica grafu predstavuje odhad konštanty adiabatického deja –  $\kappa$ . Skúsenosť z meraní ukázala, že výsledok je pomerne citlivý na veľkosť objemu plynu v prírodnej hadičke, ktorý tvorí nezanedbateľnú časť objemu pracovného plynu. Preto bolo potrebné stanoviť tento objem s dostatočnou presnosťou.

## 5 Záver

V príspevku uvedený postup možno úspešne použiť v konštruktivistickom prístupe výučby správania sa ideálneho plynu, ktorého modelom je zriadený plyn – vzduch v pracovnej nádobe. Za pomoci experimentálneho vyšetovania tohto plynu študent dospeje k poznatku závislosti tlaku od objemu pri adiabatickom procese v ideálnom plyne, známom pod názvom Poissonov zákon. Získa tým nielen kvalitatívnu závislosť oboch veličín, ale aj kvantitatívny odhad reprezentovaný konštantou adiabatického deja. Analogický postup možno použiť aj pri štúdiu izotermického, izochorického či adiabatického deja a v istej modifikácii aj samotnej stavovej rovnice (2) ideálneho plynu. Úlohu možno vhodným spôsobom modifikovať ako vzdialený experiment na diaľku ovládaný cez internet a zaradiť ho k už existujúcim vzdialeným experimentom [3] v e-laboratóriu Pedagogickej fakulty Trnavskej univerzity.

## Literatúra

- [1] BENCO, P. a kol.: *Technická fyzika. Návod na laboratórne cvičenia*. Bratislava: STU, 2003. 241 s. ISBN 80-227-1869-6
- [2] <http://www.ises.info/index.php/sk/systemises> (19. 12. 2010)
- [3] OŽVOLDOVÁ, M. – SCHAUER, F. – ČERŇANSKÝ, P. – GERHÁTOVÁ, Ž. – TKÁČ, L. – BEŇO, M.: *1st Slovak Internet Natural Sciences Remote Laboratory (INRe-L)*. In: Proceedings of the Conference REV. Wien (Austria): International Association of Online Engineering, 2010. ISBN 978-3-89958-540-7. s. 313 – 319