

12. ročník, úloha VI. E ... atmosférický tlak (8 bodů; průměr ?; řešilo 35 studentů)

Změřte atmosférický tlak v místě vašeho bydliště a to touto metodou. Ponořte do nádoby s vodou prázdnou skleničku dnem vzhůru a z toho, jak vysoko se dostane voda ve skleničce spočítejte atmosférický tlak. Znáte hustotu vody ρ a tíhové zrychlení g . Nezapomeňte uvést místo a čas měření.

V podstatě se vyskytly tři různé metody měření.

Izotermická

Ponořování láhve jsme považovali za izotermický děj. Pro ten platí $p_A V_1 = p V_2$, kde V_1 je objem prázdné nádoby a V_2 je objem ponořené. Pro ponořenou láhev můžeme spočítat p pomocí $p = p_A + h\rho g$ kde h je rozdíl hladin vně a uvnitř nádoby. Nakonec tedy dostaneme

$$p_A = \frac{h\rho g}{\frac{V_1}{V_2} - 1}.$$

Pokud vyjádříme $V_2 = V_1 - W$, kde W je objem vody, který se dostal do sklenice, dostaneme po úpravě vztah

$$p_A = \frac{h\rho g(V_1 - W)}{W}.$$

Hlavní problém této metody spočívá v zajištění izotermičnosti děje. Je třeba velmi pomalu ponořovat a čekat na vyrovnání teploty.

Další důležitou roli hrálo i zajištění co největších rozdílů mezi hladinami, čili co největší h a W , abychom dosáhli malých relativních chyb.

Adiabatická

Pokud zajistíme adiabatičnost děje, můžeme počítat $(V_2/V_1)^\kappa = p_A/(p_A + h\rho g)$ odtud dostaneme

$$p_A = \frac{h\rho g}{\left(\left(\frac{V_1}{V_1 - W}\right)^\kappa - 1\right)}.$$

Zajistit adiabatičnost děje je ovšem ještě obtížnější než zajistit jeho izotermičnost.

Elektrolytická

Tuto metodu nám poslal Karel Kouřil. Je založena na elektrolýze vody. Do odměrného válce byl jímán pouze vodík. Jeho látkové množství se dá spočítat dle $n = It/2eA$, kde I je proud měřený ampérmetrem, t je doba elektrolýzy, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C je elementární náboj a $A = 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ je Avogadrova konstanta.

Poté pomocí rovnice ideálního plynu určíme $p = nRT/V$ kde $R = 8,31 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$. Navíc musíme počítat, že uvnitř válce jsou nasycené vodní páry o tlaku p_p . Pro atmosférický tlak tedy platí $p_A = p + p_p$.

Výsledky měření

Provedli jsme jednu sadu měření, kterou jsme se pokusili interpretovat pomocí izotermického a adiabatického modelu. Nakonec jsme výsledky, které dávají oba modely porovnali.

Použité konstanty: hustota vody $\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, tíhové zrychlení $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, objem láhve $V_1 = 765 \text{ ml}$, $\kappa = 1,4$ pro vzduch.

Pro izotermický model tedy dostaneme:

Izotermický model

| Měření | W [ml] | h [cm] | p_A [kPa] | $\Delta^2 p_A$ [kPa ²] |
|--------|----------|----------|-------------|------------------------------------|
| 1 | 10,8 | 13,9 | 95,0 | 11,4 |
| 2 | 9,5 | 14,8 | 115,2 | 282,5 |
| 3 | 9,2 | 11,7 | 94,1 | 18,6 |
| 4 | 8,7 | 12 | 102,1 | 13,7 |
| 5 | 8,5 | 11,3 | 98,4 | 0,0 |
| 6 | 10,3 | 13,1 | 93,9 | 19,7 |
| 7 | 10,1 | 13 | 95,1 | 10,8 |
| 8 | 8,6 | 10,9 | 93,8 | 20,8 |
| 9 | 10 | 13,5 | 99,7 | 1,8 |
| 10 | 9,2 | 12 | 96,5 | 3,6 |

Průměrný atmosférický tlak $\bar{p}_A = 98$ kPa.

Směrodatná odchylka jednoho měření $\sigma(p_A) = 7$ kPa, k hrubé chybě nedošlo.

Směrodatná odchylka aritmetického průměru $\sigma(\bar{p}_A) = 2$ kPa.

Relativní systematická chyba je $\delta_{\text{sys}} = 7\%$.

Tedy $p_A = (98 \pm 9)$ kPa.

Pro adiabatický model dostaneme:

Adiabatický model

| Měření | W [ml] | h [cm] | p_A [kPa] | $\Delta^2 p_A$ [kPa ²] |
|--------|----------|----------|-------------|------------------------------------|
| 1 | 10,8 | 13,9 | 67,7 | 5,9 |
| 2 | 9,5 | 14,8 | 82,1 | 143,4 |
| 3 | 9,2 | 11,7 | 67,0 | 9,4 |
| 4 | 8,7 | 12 | 72,8 | 7,0 |
| 5 | 8,5 | 11,3 | 70,2 | 0,0 |
| 6 | 10,3 | 13,1 | 66,9 | 10,1 |
| 7 | 10,1 | 13 | 67,8 | 5,5 |
| 8 | 8,6 | 10,9 | 66,9 | 10,4 |
| 9 | 10 | 13,5 | 71,1 | 0,9 |
| 10 | 9,2 | 12 | 68,7 | 1,8 |

Průměrný atmosférický tlak $\bar{p}_A = 70$ kPa.

Směrodatná odchylka jednoho měření $\sigma(p_A) = 5$ kPa, k hrubé chybě nedošlo.

Směrodatná odchylka aritmetického průměru $\sigma(\bar{p}_A) = 1$ kPa.

Relativní systematická chyba je $\delta_{\text{sys}} = 7\%$.

Tedy $p_A = (70 \pm 6)$ kPa.

Diskuze

Z výsledků vidíme, že našemu měření odpovídá izotermický model mnohem lépe než adiabatický. Teplota v láhvi se ustálila na teplotě okolí, neboť vyměňovala teplo, tedy o adiabatickém ději nemůže být ani řeč. Jelikož jsme zamezili nerovnoměrnému ohřívání láhve našima rukama a zajistili stejnou teplotu vody jako vzduchu, měření je relativně přesné.

Libor Dener