

**10. ročník, úloha IV. 3 ... měření tlaku vzduchu v zimě (5 bodů; průměr ?; řešilo 76 studentů)**

Fyzikální expedice potřebuje změřit tlak vzduchu ve svém táboře, aby si mohla být jistá, že jí nehrozí vysokohorská nemoc (už i tak jim hrozí umrznutí, protože je přesně  $-30^{\circ}\text{C}$ ). Shodou okolností mají s sebou rtuťový barometr s hliníkovou stupnicí a naměřili tlak vzduchu 750 torr. Jaký byl ve skutečnosti tlak vzduchu, jestliže jsou barometr i měřidlo cejchovány pro teplotu  $0^{\circ}\text{C}$ ?

Nejprve si ujasněme princip rtuťového barometru. Je to trubice tvaru U, na jednom konci uzavřená. Uvnitř je rtuť, mezi rtuťí a uzavřeným koncem U-trubice je vakuum. Z rovnosti sil dostáváme vztah

$$p_a S = h \rho g S,$$

kde  $\rho$  je hustota rtuťi,  $S$  průřez trubice,  $h$  rozdíl výšek hladin v obou trubicích. Je vidět, že rozdíl výšek hladin (a tedy i naměřený tlak) závisí pouze na hustotě. Z toho též plyne, že tepelná deformace skleněné trubice nemá na měření vliv. K trubici je připevněno měřítko, na kterém odečítáme jen rozdíl výšek hladin.

Podle definice odpovídá tlak 1 torr výšce 1 mm rtuťového sloupce v manometru při normálních podmínkách. Zajímá nás  $h_0$ , které by udávalo výšku sloupce rtuťi při daném tlaku, pokud by teplota barometru byla  $0^{\circ}\text{C}$ .

Protože měřítko se zimou smrsklo, ukazuje více, než je ve skutečnosti výška hladiny. Tedy

$$h_{\text{skut}} = h_{\text{nam}}(1 + \alpha \Delta T) < h_{\text{nam}},$$

kde  $h_{\text{nam}}$  je výška rtuťového sloupce odečtená polárníky z barometru a  $\alpha = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$  je teplotní délková roztažnost hliníku,  $\Delta T = -30 \text{K}$ . Navíc je třeba započítat teplotní změnu hustoty rtuťi.

$$\rho_{-30} = \frac{\rho_0}{1 + \beta \Delta T} > \rho_0,$$

kde  $\beta = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{K}^{-1}$  je teplotní objemová roztažnost rtuťi. Pro atmosférický tlak platí vztah  $p_a = h_0 \rho_0 g = h_{\text{skut}} \rho_{-30} g$ , z nějž chceme získat  $h_0$ . První vyjádření tlaku je při teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  a druhé je při  $-30^{\circ}\text{C}$ . Výška rtuťového sloupce  $h_0$  udávající správný tlak tedy je

$$h_0 = h_{\text{skut}} \frac{\rho_{-30}}{\rho_0} = h_{\text{nam}} \frac{1 + \alpha \Delta T}{1 + \beta \Delta T},$$

po dosazení  $h \doteq 753,5 \text{mm}$ , čili atmosférický tlak je ve skutečnosti přibližně 754 torrů. Vysokohorská nemoc tedy rozhodně nehrozí, tento tlak se vyskytuje běžně i v normálních podmínkách.

Protože  $\alpha \Delta T, \beta \Delta T \ll 1$ , můžeme zanedbat jejich vyšší mocniny a psát

$$h_0 \approx h_{\text{nam}}(1 + \alpha \Delta T)(1 - \beta \Delta T) \approx h_{\text{nam}}(1 + \alpha \Delta T - \beta \Delta T).$$

*Poznámka.* Je dobré si uvědomit, že výška hladiny se počítá ze vzorce  $h = p/\rho g$  a ne přímo z toho, že se nějak zvětší objem rtuťi (obecně by totiž nemusela vycházet lineární závislost jako zde).

**David Stanovský**

---

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky UK MFF, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.