

Úloha I.1 ... pocit z haly

3 body

V nafukovací hale je vůči okolí přetlak $\Delta p = 310$ Pa. Atmosférický tlak mimo halu je $p_{\text{out}} = 950$ hPa. Pokud bychom byli hodně citliví, po odchodu z haly bychom měli pocit podobný náhlé změně nadmořské výšky. Jakému převýšení rozdíl tlaků odpovídá?

Karel přemýšlel nad nafukovacími halami.

Jelikož jde o jednoduchou úlohu, předpokládáme, že si řešitel najde vhodnou barometrickou rovnici,¹ kterou použije k řešení a okomentuje její použití. Pokud uvede zdroj, nemusí rozebírat celé odvození.

Přetlak v zadání je vůči atmosférickému tlaku velmi malý (o více než dva řády), můžeme tedy předpokládat, že ani odpovídající výškový rozdíl nebude velký. Pro malé rozdíly výšek lze s dostatečnou přesností využít izotermickou barometrickou rovnici,² která má tvar

$$p = p_0 e^{-hgM/(RT)},$$

kde p_0 je absolutní tlak ve vybrané výškové hladině, k níž se vztahujeme (v našem případě to bude tlak vně haly, který si označíme p_{out}), g je tíhové zrychlení, M je střední molární hmotnost vzduchu ($M \doteq 29,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, což je blíže dusíku než kyslíku), $R \doteq 8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ je molární plynová konstanta a h je hledaný výškový rozdíl měřený od úrovně haly. Čím výše se nacházíme, tím je tlak nižší.

Rovnici upravíme pro náš případ. Vnitřní tlak vyjádříme jako $p = p_{\text{out}} + \Delta p$:

$$\begin{aligned} \frac{p_{\text{out}} + \Delta p}{p_{\text{out}}} &= e^{-hgM/(RT)}, \\ \ln\left(\frac{p_{\text{out}} + \Delta p}{p_{\text{out}}}\right) &= -\frac{gM}{RT}h, \\ h &= -\frac{RT}{gM} \ln\left(\frac{p_{\text{out}} + \Delta p}{p_{\text{out}}}\right) \doteq 26 \text{ m}. \end{aligned}$$

V zadání nebyla upřesněna teplota, a tak se mohly číselné výsledky lišit. V tomto řešení teplotu odhadneme – pro číselné výpočty můžeme dosadit např. $T = 275$ K, nafukovací haly se užívají zejména v zimě a tato teplota tomu odpovídá. Změna teploty o několik °C však výsledek řádově neovlivní, dotkne se až dalších platných cifer.

Přetlak v hale odpovídá stavu, jako by byl člověk uvnitř o 26 m níže. Při opuštění haly tak získáme pocit, jako bychom vystoupali o 26 m výše. Jde o nepatrný rozdíl, který pocítí jen velmi citliví jedinci.

Pro zajímavost: v řízení letového provozu se jako orientační pravidlo („rule of thumb“) používá odhad poklesu tlaku o 1 hPa na 8 m. Tento postup dává výsledek přibližně 25 m, což je sice méně přesné, ale velmi dobře použitelné pro rychlé výpočty z hlavy.

¹Barometrická rovnice popisuje pokles tlaku v atmosféře s rostoucí výškou.

²Odvození tří druhů barometrické rovnice naleznete v článku „Barometrická formule na několik způsobů“ https://mfi.upol.cz/files/32/3204/mfi_3204_268_279.pdf. V našem řešení vyjdeme z rovnice (10).

Alternativní řešení

Při opuštění haly klesne tlak o $\Delta p = 310 \text{ Pa}$. Protože je tento rozdíl vůči atmosférickému tlaku velmi malý, stačí použít přibližný vztah pro malá převýšení $\Delta p \doteq \rho g h$. Za hustotu vzduchu dosadíme přibližnou hodnotu $\rho \doteq 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Dostáváme

$$h \doteq \frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{310 \text{ Pa}}{1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}} \doteq 26 \text{ m}.$$

Karel Kolář
karel@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.