

Všimli jste si?

Milan Rojko¹, Gymnázium Jana Nerudy Praha

Ve *Sbírcce úloh z fyziky pro ZŠ 2. díl* nakladatelství Prometheus jsou v kapitole *Mechanické vlastnosti plynů* uvedeny tyto příklady:

223. Jakou tlakovou silou působí atmosférický vzduch na stolní desku o obsahu 1 m^2 , je-li atmosférický tlak 920 hPa ? (uveden výsledek 92 kN)
224. Povrch Země je asi $510 \cdot 10^6 \text{ km}^2$. Jakou tlakovou silou působí atmosférický vzduch na povrch Země při průměrném tlaku 1000 hPa ? (uveden výsledek $510 \cdot 10^{14} \text{ kN}$)
226. Obsah vodorovné desky stolu je $0,80 \text{ m}^2$. Atmosférický tlak v okolí desky je 1200 hPa . Jak velkou tlakovou silou působí vzduch na desku stolu? (uveden výsledek 96 kN)
232. Změř aneroidem atmosférický tlak v hektopascalech. Urči velikost tlakové síly, kterou působí vzduch na plochu tvého sešitu. (výsledek neuveden)
233. Aneroidem byl změřen atmosférický tlak 1020 hPa . Urči velikost tlakové síly atmosférického vzduchu působící na povrch lidského těla o obsahu $1,4 \text{ m}^2$. (uveden výsledek 143 kN)

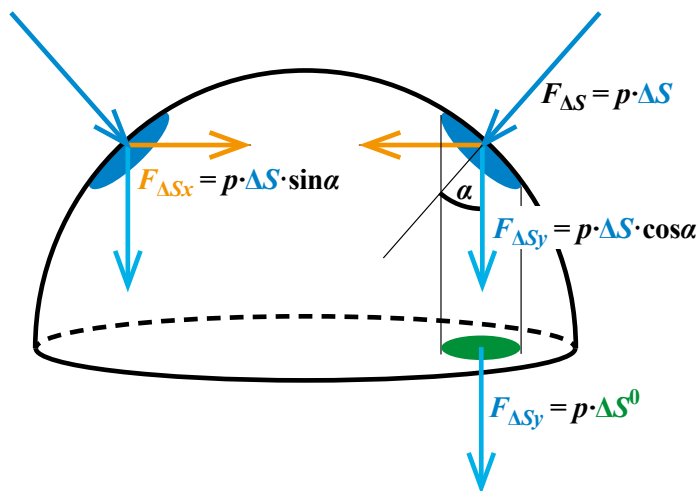
Ve všech uvedených úlohách se zapomíná na to, že tlaková síla je vektorová veličina a „správné“ výsledky jsou počítány prostým sčítáním velikostí vektorů sil, které působí na jednotlivé části uváděných povrchů. U příkladů 223, 226 by situaci zachránilo, kdyby v textu byla uvedena část povrchu stolní desky, resp. kdyby u příkladu 232 bylo specifikováno, o kterou z ploch sešitu má jít.

Příklady 233 a 224 jsou ale zcela zavádějící a uváděné výsledky nemají smysl. V úloze 233 obsah povrchu lidského těla o výsledné tlakové síle nic nevyovídá, rozhodující je objem těla. Vektorový součet tlakových sil na povrch těla je vztlaková síla, jejíž velikost popisuje Archimédův zákon. Při uvedeném tlaku je hustota vzduchu přibližně $\rho_{\text{VZDUCH}} \approx 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a při průměrné hustotě lidského těla ($\rho_{\text{TĚLO}} \approx 980 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) vychází pro stokilového chlapíka objem $V \approx 0,10 \text{ m}^3$ a výsledná tlaková (vztlaková) síla zhruba $1,3 \text{ N}$, tedy méně než stotisícina uváděného „správného“ výsledku.

V úloze 224, předpokládáme-li kulový tvar Země a stejný tlak vzduchu ve všech místech, je výsledná síla samozřejmě nulová. Zajímavou by se ale úloha stala, kdyby otázka například zněla: Jak velkou silou působí tlak vzduchu na severní polokouli Země?

Ani zde bychom samozřejmě nedostali správný výsledek prostým násobením obsahu povrchu ($S = \frac{510 \cdot 10^{12}}{2} \text{ m}^2$) a uvedeného tlaku ($p = 10^5 \text{ Pa}$). Lze ale snadno provést vektorový součet tlakových sil.

Obrázek ukazuje způsob řešení bez použití vyšší matematiky. Na povrchu polokoule vymejíme malý element plochy ΔS , který můžeme považovat za rovinný. Síla, kterou na něj vzduch kolmo tlačí, má velikost $F_{\Delta S} = p \cdot \Delta S$. Rozložíme tuto sílu na složku $F_{\Delta Sx}$ a $F_{\Delta Sy}$, jak ukazuje obrázek. Je zřejmé, že se složky $F_{\Delta Sx}$ od protějších plošných elementů vzájemně ruší. Součet složek elementárních tlakových sil $F_{\Delta Sy} = p \cdot \Delta S^0$ mířících kolmo k rovině rovníku můžeme ale snadno určit (pro celou polokouli), neboť tlak považujeme za konstantní a součet ploch ΔS^0 pokryje podstavu polokoule.



¹ milan.rojko@atlas.cz

Pro výslednou tlakovou sílu, mířící samozřejmě kolmo k podstavě, dostáváme tak $F = p \cdot \pi \cdot r^2$, tj. pro hodnoty zadané v úloze $F = 10^5 \text{ Pa} \cdot \frac{5,1 \cdot 10^{14} \text{ m}^2}{4} = 1,3 \cdot 10^{19} \text{ N}$.

Připojuji dvě přínosné poznámky od recenzentů:

1. *Zadání příkladů trpí ještě jedním nedostatkem: Papír i případně dřevo ve stolní desce obsahuje vzduch s atmosférickým tlakem, proto ani zadání s tlakovou silou působící na vrchní desku sešitu nebude zcela v pořádku. Dále mne napadl ještě jeden příklad, který ukazuje nesmyslnost zadání. Kvalitní mycí houba má obrovský plošný obsah. „Tlaková síla“ ve smyslu zadání uvedených příkladů by dosahovala teranewtonů, přesto je houba deformována jen nepatrně, a to prakticky jen tíhovou silou. Totéž platí i pro ostatní porézní hmoty – pěnový polystyrén apod. Zadání uvedených příkladů by se mohlo přiblížit realitě, kdyby sešit, případně deska stolu ležely na otvoru, pod kterým by bylo vakuum.*

2. *Vše uvedené o účinku výslednice tlakových sil platí za předpokladu, že tělesa jsou dokonale tuhá a nestlačitelná. Pokud by těleso bylo deformovatelné a uvnitř něj by byl menší tlak než vně (např. PET lahev, ponorka), projeví se deformační účinky tlakových sil na povrch tělesa, i když vektorový součet všech tlakových sil bude nulový, resp. rovný malé vztlakové síle.*

A ještě odjinud...

Časopis pro zájemce o techniku, přírodovědu a příbuzné obory „21. století“ v odpovědi na dotaz čtenářky ukázal, že jeho redaktor je ve srovnání s názvem časopisu ve fyzice trochu pozadu.

FOTO: NCCAM, NHR.GOV, NASA, KOLÁŽ. U FOTO 21

Vážila bych stejně na každém místě Země?

Petra Brabencová, Žatec

Nikoli. Předmět či osoba, která na severním pólu váží 30 kg, by na rovníku měla hmotnost jen 29, 85 kg. Proč? Země není dokonalá koule, takže se její přitažlivost v různých místech trochu odlišuje. <<

46 | 21. STOLETÍ | únor 2009

Jaká by měla být správná odpověď?

Milá Petro, tvoje otázka „Vážila bych stejně na každém místě Země?“ může mít dva významy.

První, že se ptáš na to, jestli bys měla na každém místě Země stejně kilogramů, přesněji bychom řekli stejnou **hmotnost**. Tak zřejmě otázku pochopil i pan redaktor. Bohužel ale na ni odpověděl špatně. Předmět nebo osoba, která na severním pólu váží 30 kg, by měla na rovníku hmotnost opět 30 kg. Dokonce i na Měsíci nebo ve stavu beztlíže v družici by hmotnost byla stále 30 kg. (Do teorie relativity raději s problémem nebudeme vstupovat.)

Druhý význam dotazu je možné najít v tom, že se slovem „vážila“ Petra ptá na sílu, která působí na její tělo na zemském povrchu. Dnes místo váha říkáme **tíhová síla**. Ta se ovšem neudává v kilogramech, ale v newtonech. Tíhová síla na rozdíl od hmotnosti závisí na tom, na kterém místě Země ji určujeme, a je opravdu největší na pólech. Není to ale způsobeno jen tím, že je naše matička Země v pase trochu při těle, ale svým dílem k tomu přispívá její otáčení kolem osy. Ve srovnání se Zemí je tíhová síla na Měsíci 6krát menší a v družici, která je na oběžné dráze, je dokonce nulová.

Pro zmíněnou dvojznačnost se proto raději slovu „váha“ ve fyzice vyhýbáme.