

Úloha II.E ... Parašutista

7 bodů; průměr 5,00; řešilo 52 studentů

Každému se to určitě někdy stalo: vstanete, nasnídáte se, vyrazíte do školy, ale cestou na zastávku si vzpomenete, že jste si zapoměli vaši oblíbenou propisku. Vyšlapat tři patra zpátky do bytu se vám nechce, a tak se domluvíte s mámou, aby vám propisku shodila dolů. Riskovat ale, že po pádu se propisce něco stane není úplně příjemné a vy to chcete změnit. Proto si pomocí lehkých materiálů postavte padák, který klesá k zemi co nejpomaleji. Na padák pověste propisku nebo tužku a změřte tuto rychlost.¹ Napište nám, proč si myslíte, že váš padák je neefektivnější. Nezapomeňte připojit fotku z výroby padáku nebo z měření.

Pri prvom pohľade na zadanie sa vám môže zdať, že postaviť niečo, čo bude dostatočne dlho padať, nie je vôbec ťažké, veď nejako za závažie uchytíte kus niečoho iného, čo bude ľahké a veľké a je to. V podstate to nie je zlý prístup. No ako správni fyzici si celý problém popíšeme fyzikálnejšie a pochopíme, aké vlastnosti by ideálny padák mal mať.

Keď padák padá nejakou ustálenou rýchlosťou, z prvého Newtonovho zákona plynie, že výsledná sila, ktorá na padák pôsobí, je nulová. Nulová nie je ale pretože by naň nepôsobili žiadne sily, ale preto, že naň sily pôsobia, no pôsobia presne oproti sebe a preto sa vyrušia.

Hneď vás isto napadne, že na padák bude pôsobiť tiažová sila

$$F_g = mg.$$

V rovnici m označuje hmotnosť padáku. Táto sila pôsobí smerom nadol, takže padák urýchľuje smerom k zemi. To my ale nechceme. Chceme naopak, aby tiažová sila bola čo najmenšia, teda od padáku budeme požadovať, aby *mal čo najmenšiu hmotnosť*.

Ďalšia sila, ktorá vás môže napadnúť, je sila vztlaková. Tá pôsobí aj vo vzduchu a jej veľkosť je

$$F_{vz} = \rho_v V g,$$

kde $\rho_v \approx 1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ je hustota vzduchu a V je objem padáku. Je táto sila ale naozaj podstatná? Skúsme si ju porovnať s predošlou, tiažovou silou. Tú si vieme pomocou vzorca pre hustotu rozpísať do tvaru

$$F_g = mg = \rho_p V g,$$

kde ρ_p je priemerná hustota padáku. Typické materiály, z akých môžeme padák konštruovať, sú drevo (je z neho ceruzka, papier) s hustotou asi $600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, plast s hustotou asi $2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a podobne. Takže priemerná hustota padáku môže byť, povedzme, $800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. To je ale asi 670-krát viac ako ρ_v , čo znamená, že vztlaková sila je 670-krát slabšia ako tiažová a pokojne ju môžeme *zanedbať*.

Áká sila teda bráni tiaži, aby padák urýchlila smerom k zemi? No predsa *odporová sila vzduchu*. V tabuľkách, na Wikipédii² alebo v učebnici fyziky môžeme nájsť vzorec pre odpor prostredia

$$F_o = \frac{1}{2} C S \rho_v v^2.$$

Podme si vysvetliť jednotlivé členy a rovno sa zamyslime, čo majú do činenia s naším padákom. Koeficient odporu C je konštanta, ktorá je určená tvarom pohybujúceho sa telesa. Na internete vieme nájsť veľkosť tohto koeficientu pre rôzne geometrické tvary (napríklad pre guľu platí $C_{\text{guľa}} \approx 0,47$). Ďalej S je plocha rezu telesom, ktorý je kolmý na smer pohybu – *naš padák musí*

¹ Jednoduše změřte čas t , za který padák spadl z výšky h . Výsledná rychlost bude $v = h/t$.

² http://cs.wikipedia.org/wiki/0dpor_prostředí

mať čo najväčšiu plochu, ktorá sa napne kolmo na smer pohybu. Hustotu vzduchu poznáme a nakoniec v je rýchlosť, s akou padák padá k zemi.³

Môžeme spomenúť plno ďalších síl (elektrická sila – padák môže byť nabitý), no všetky sú oproti odporovej sile zanedbateľné. Rovnomerne sa bude preto padák pohybovať vtedy, keď veľkosť odporovej sily bude rovná veľkosti tiaže

$$\frac{1}{2}CS_{\rho_v}v^2 = mg, \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2mg}{CS_{\rho_v}}}.$$

Vo vyjadrení rýchlosti jasne vidíme, čo musí padák spĺňať, aby jeho rýchlosť bola čo najmenšia:

- Padák musí mať čo najmenšiu hmotnosť (čo najmenej, alebo najľahšie materiály),
- musí mať čo najväčší koeficient odporu C (pre typický tvar padáku je $C \approx 0,8$ – zvýšiť tento koeficient je možné napríklad pripevnením ľahkých „ozdôb“ na okraj padáku)
- a musí mať čo najväčší prierez v smere kolmom na smer rýchlosti.

Ostatné veličiny vo vzorci pre v sú konštanty, ktoré sa meniť nedajú.

Na riadkoch vyššie sme vám priniesli *fyzikálne podložený* zoznam kritérií, ktorý by mal ideálny padák spĺňať. Umelecké prevedenie je už na vás.

Patrik Švančara

pato@vyfuk.mff.cuni.cz

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

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

³Vidíme, že závislost na rýchlosti je *kvadratická*, tzn. rýchlosť je vo vzorci v druhej mocnine. Ak sa rýchlosť zdvojnásobí, odporová sila sa zväčší štyrikrát.