

Úloha I.P ... větroplach!

5 bodů; průměr 3,24; řešilo 75 studentů

Odhadněte, jakou minimální rychlostí musí foukat vítr, aby odnesl papír ležící na stole.

Karlovi lítaly papíry ze stolu.

Důfam, že ste si pokus s papierom tiež vyskúšali. Dobre sa realizuje napríklad s ľahkou podložkou pod papierom, ktorú ťaháte viac-menej rovnomerne. Papier sa pri istej rýchlosti zrazu ohne a poletí preč.

Podobne, ako to pri podobných aerodynamických úlohách býva, do hry vstupuje množstvo exotických javov. Napríklad, vzduch naráža na hranu papiera, obteká ju a tým papier čiastočne podvihuje. Takisto nie je papier úplne rovný, ale má nejaké pokrčenia a ohyby. Vzduch takéto ohyby rád kopíruje¹ a vytvára tým ďalšie sily dvíhajúce papier. Podobný efekt nadnáša krídlo lietadla.

Pekný a jednoduchý spôsob, ako sa problému postaviť, je spomenúť si na Bernoulliho rovnicu. Vzduch pod papierom má atmosférický tlak p_0 . Vzduch nad papierom sa však hýbe rýchlosťou v , čo spôsobí pokles tlaku.² Napíšeme teda Bernoulliho rovnicu, pričom člen s gravitáciou zanedbáme (na výšku papiera sa potenciál veru veľmi nemení)

$$p_0 = p + \frac{1}{2}\rho v^2.$$

Tu zavádzame ešte hustotu vzduchu ρ a tlak nad papierom p . Podmienku rovnováhy vertikálnych síl napíšeme v tvare tlakov

$$\frac{F_g}{S} + p = p_0 = p + \frac{1}{2}\rho v^2,$$

kde zjednodušíme gravitačný tlak pomocou plošnej hustoty papiera λ

$$\lambda g = \frac{1}{2}\rho v^2.$$

Po vyjadrení dostaneme rýchlosť

$$v = \sqrt{\frac{2\lambda g}{\rho}},$$

čo po dosadení typických hodnôt (kancelársky papier má $\lambda = 80 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) dáva rýchlosti vetra približne $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Takáto hodnota je celkom reálna, keďže podobne rýchlo kráčame.

Ján Pulmann

janci@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho 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/>.

¹http://en.wikipedia.org/wiki/Coand%C4%83_effect

²Zvedavejším odporúčam zamyslieť sa nad tým, ako je to s prúdniciami. Bernoulliho zákon platí totiž len na jednej prúdnici. Treba teda premyslieť, kde sa dve prúdnice, nad a pod papierom, stretávajú a či tam majú rovnaký tlak a rýchlosť.