

Úloha II.3 ... fyzik a míč

5 bodů

Malému fotbalistovi se stalo, že se mu po nepodařené střele zasekl fotbalový míč mezi dvěma rovnoběžnými svislými deskami, které jsou od sebe vzdáleny 21 cm. Klučina však dokáže působit pouze silou 450 N, zatímco koeficient tření mezi míčem a stěnami je 0,6, a míč se mu nepodařilo vytáhnout. Protože to ale byl řešitel Výfuku, věděl toho hodně o fyzice, a tak začal balón kropit studenou vodou o teplotě 10 °C. Podaří se mu poté míč vytáhnout? Balón má poloměr 11 cm, plochy dotyku se stěnami jsou kruhy. Uvažujte, že změna objemu balónu je zanedbatelná, a to při deformaci při průniku mezi stěny i při ochlazení. Balón byl před střelou natlakovaný na 120 kPa a jeho teplota byla 44 °C.

Jarda se taky většinou netrefí do branky.

Míč měl před zaseknutím průměr $2R = 22$ cm, ale nyní je deformovaný tak, že se stěn dotýká kruhy o poloměru

$$r = \sqrt{R^2 - \frac{d^2}{4}} \doteq 3,3 \text{ cm},$$

což odpovídá ploše $\pi r^2 = \pi(R^2 - d^2/4)$, kde $d = 21$ cm je vzájemná vzdálenost stěn. Změnu tlaku uvnitř balónu vlivem změny objemu můžeme podle zadání zanedbat. Normálová síla, kterou zmáčknutý balón působí na stěny, proto je $F_N = 2\pi r^2 p$, kde p je tlak uvnitř balónu. Klučina tak musí překonat třecí sílu

$$F_t = f F_N = 2\pi f r^2 p.$$

Aby ji mohl překonat, potřebuje snížit tlak v balónu. To udělá ochlazením plynu uvnitř. Ze stavové rovnice za uvažování konstantního objemu a počtu částic dostáváme

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p}{T},$$

kde $T = 44^\circ\text{C} \doteq 317 \text{ K}$ je původní teplota, $T_1 = 10^\circ\text{C} \doteq 283 \text{ K}$ je nejnižší teplota, na kterou může balón ochladit a p_1 je tlak v balónu po ochlazení. Pro třecí sílu, kterou musí překonat po ochlazení vzduchu v balónu, dostáváme

$$F_t = f F_N = 2\pi f r^2 p \frac{T}{T_1} \doteq 430 \text{ N}.$$

Míč se mu tedy vytáhnout podaří.

Jaroslav Herman
jardah@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/>.