

10. ročník, úloha IV . P ... fotbalistický problém (5 bodů; průměr ?; řešilo 67 studentů)

Fotbalista vykopne míč a udělí mu kromě posuvné rychlosti i rotaci okolo svislé osy. Na kterou stranu od původního směru se míč začne odchylovat v závislosti na smyslu rotace a proč? Míč považujte za ideální kouli, odpor vzduchu nezanedbávejte.

Každý, kdo někdy hrál fotbal, ví, že vykopnutý míč se odchylová ve směru rotace. Ale jak to zdůvodnit?

Použijme Bernoulliho rovnici

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

Jeden ze zdánlivě paradoxních důsledků této rovnice je ten, že v místě, kde kapalina proudí vyšší rychlostí (takové místo poznáme podle vyššího počtu proudnic – podobně jako intenzitu elektrického nebo magnetického pole poznáme podle hustoty siločar), musí být nižší tlak.

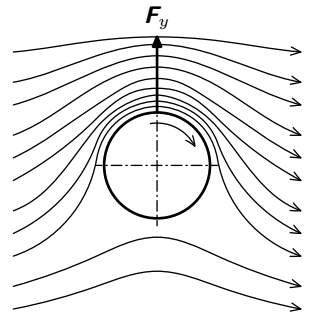
Pokud za rychlost v mechanicky dosadíme vzájemnou rychlost povrchu míče a vzduchu, kde se počítá rychlost pohybu a rotace, dojdeme k závěru, že míč bude zatáčet v opačném směru, než je jeho rotace.

Chybnost této úvahy tkví v tom, že jsme předpokládali, že vzduch má na všech protilehlých bodech u povrchu míče stejnou rychlost vůči těžišti míče a opomněli jsme fakt, že míč sám nezanedbatelnou měrou ovlivní proudící vzduch kolem.

Ve viskózní tekutině (souhrnný název pro kapaliny a plyny) strhuje otáčející se koule nejbližší vrstvy tekutiny a rychlost proudící tekutiny je vyšší nahoře (viz obr. 1). Díky odlišným rychlostem proudění na různých stranách koule, musí být na různých stranách koule různý tlak (abychom splnili Bernoulliho rovnici). Nižší tlak bude na straně s vyšší rychlostí proudění a opačně na protilehlé straně bude tlak nižší. Jestliže pak sečteme jednotlivé tlakové síly, celková výslednice bude směřovat do oblasti vyšších rychlostí.

Můžeme tedy zopakovat, že koule se bude odklánět od přímého směru ve stejném směru jako rotuje.

Tento bezpochyby zajímavý fyzikální efekt nazýváme *Magnusův jev* a byl využit i ke konstrukci novodobých plachetnic – rotorové lodi s Flettnerovým rotorem. Tyto plachetnice mají místo stožáru a plachet vysoké válce, kterými otáčí motor.



Obr. 1

Honza Mocek & Honza Hradil