

**23. ročník, úloha V. P ... tunelářská !!! chybí statistiky !!!**

Kryštof se vydal na cestu vlakem a spokojeně usnul. Když se probudil v tunelu, cítil, že jej nějaká síla táhne směrem na jednu stranu. Ve vlaku bylo sice světlo, ale ven neviděl. Vzpomněl si, že je v zatáčkách trať klopená a uvědomil si, že i když si pamatuje původní směr jízdy, vůbec neví, na kterou stranu vlak zatáčí. Nepozná totiž rozdíl mezi stavem, kdy vlevo zatáčející vlak jede dostatečně pomalu a výsledná síla míří směrem do zatáčky, a situací, kdy je vlak dostatečně rychlý, zatáčí vpravo a síla směřuje ven ze zatáčky. Navrhněte experiment, který Kryštofovi pomůže tuto situaci vyřešit. Čím víc variant, tím lepší bodové hodnocení.

*V metru se Kryštof divil, kam to jede.*

Popíšeme přímočaré řešení, které naprostá většina řešitelů opomenula. K jeho realizaci stačí olovnice. Změříme úhel který svírá olovnice vůči podlaze na přímce kolmé ke směru pohybu ve třech bodech. Budou-li tyto body od sebe vzdáleny  $r$ , pak při poloměru zatáčky  $R$  bude odstředivá síla úměrná  $1/(R - r)$ ,  $1/R$  a  $1/(R + r)$ . Rozdíl mezi úhlem naměřeným na vnitřní straně zatáčky a středem bude vždy větší než mezi úhlem na vnější straně zatáčky a opět středem. Tato vlastnost souvisí s monotonii funkce  $\arctg(1/x)$  pro kladné hodnoty. Toto si rozmyslete, případně si sami ozkoušejte pro vhodně zvolené parametry. Pokud bychom měli siloměr, tak by nám dokonce stačila pouze dvě měření, neboť výsledná síla s rostoucí odstředivou silou samozřejmě roste.

Kdybychom si náhodou nepamatovali směr pohybu, nebylo by nic snazšího než se projít po a proti směru jízdy opět s olovnicí v ruce a pozorovat, jak se mění výchylka. Směr odstředivé síly už známe z minulého měření, a tak nám stačí sledovat změnu její velikosti. Nakonec již snadno určíme, kterým směrem jsme svoji rychlost vůči Zemi zvýšili, a kdy naopak snížili.

Z dalších řešení uvedme nejčastěji navrhovaný kompas, jehož strelka ukazuje neustále na sever a snadno tedy určíme směr otáčení. Dále pak Foucaultovo kyvadlo, kterým byla v roce 1851 demonstrována rotace Země, což je problém v zásadě obdobný. Naopak některými navrhovanými poslech frekvence hluku od kol a následné odvození rychlosti by k řešení nevedlo, neboť směr výsledné síly není určen ani tak rychlou, resp. pomalou jízdou, jako spíše jízdou, na kterou bylo projektováno klopení zatáčky. Tato rychlost se však samozřejmě mezi tratěmi a zatáčkami liší.

Řešení nedošlo mnoho, většina z nich však obsahovala některou ze správných metod. Nebojte se v podobných úlohách popsat více nápadů a popustte uzdu fantazii, ve fyzice se přeci kreativita cení.

Nakonec dodejme, že popisovaná situace skutečně nastává. Například v pražském metru je na lince B v ranní špičce takový provoz, že mezi stanicemi Anděl a Karlovo náměstí, kde je pravotočivá zatáčka, jedou vlaky pomaleji, než bylo původně plánováno. Klopení zatáčky je pro tak nízké rychlosti moc velké, a tak je patrné působení výsledné síly do středu zatáčky. Zkušenost naopak velí, že výslednice působících sil míří ze zatáčky ven a pasažérům se zdá, že metro zatáčí doleva. Prudké klopení zatáček metra je dobře pozorovatelné při výjimečných situacích, kdy metro v zatáčce dokonce zastaví.

**Kryštof Touška**

[krystof@fykos.mff.cuni.cz](mailto:krystof@fykos.mff.cuni.cz)

---

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

UK MFF, 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/>.