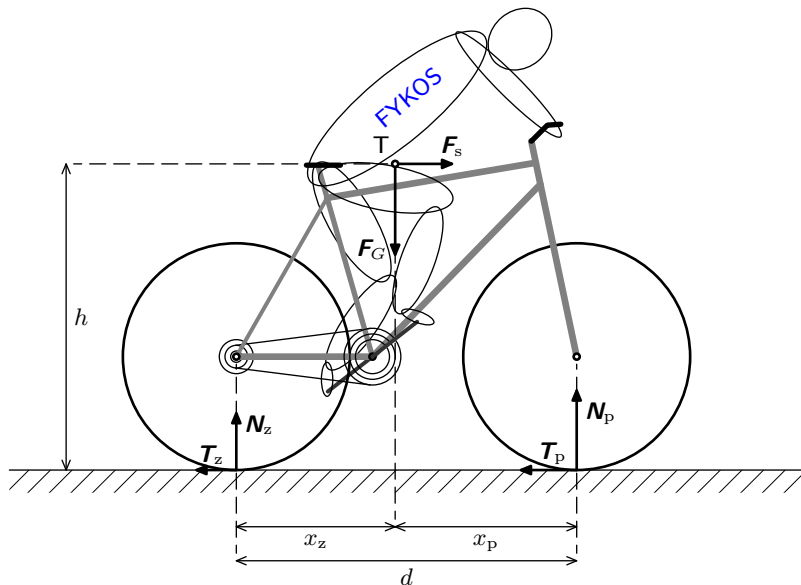


24. ročník, úloha II. 4 ... nemyslíš, zaplatíš !!! *chybí statistiky !!!*

Za jakých podmínek dojde k zablokování a smýkání předního kola při brzdění, aniž bychom přeletěli přes řídítka? Jaký na to má vliv brzdění zadním kolem?

*Silniční lišaj si pořídil Lukáš.*

Soustavu cyklisty a kola budeme považovat za tuhé těleso (tzn. vzdálenosti jednotlivých bodů tělesa jsou s časem konstantní) charakterizované třemi body – styčné body předního a zadního kola s podložkou (jejichž vzdálenost je  $d$ ) a poloha těžiště  $T$ . Písmeno  $x_p$  značí vodorovnou vzdálenost těžiště a dotyku předního kola. Sledujte obrázek 1.



Obr. 1. Jízdní kolo s cyklistou a síly na něj působící při brzdění

Celá soustava se pohybuje rovnoměrně přímočaře. Pokud začneme brzdit se zrychlením  $a$  bude vztažná soustava spojená s cyklistou neinerciální a při popisu pohybu budeme muset uvažovat setrvačné síly.

Aby cyklista nepřepadl, musí být celkový moment sil na něj působících nulový. Za osu otáčení si zvolíme bod styku předního kola s vozovkou. Můžeme z rovnováhy momentů určit mezní zrychlení, při kterém ještě přes řídítka cyklista nepřeletí (v tomto případě bude normálová složka působící na zadní kolo nulová – než přeletí musí se nejprve odlehčit zadní kolo). Na obrázku si můžete prohlédnout síly, které na celou soustavu působí, pak už jsou jejich momenty zřejmé

$$x_p F_G - h F_s - d N_z = 0 \quad \Rightarrow \quad a_{mez} = \frac{g x_p}{h}, \quad (1)$$

kde  $F_G$  je tíhová síla určená celkovou hmotností  $m$  kola a cyklisty,  $F_s = ma$  je síla setrvačná způsobená právě zrychlením  $a$ .

Nyní mohou nastat dva případy závislé na hodnotě součinitele smykového tření s vozovkou. Buď budeme schopni dosáhnout  $a_{mez}$  brzděním přední brzdou bez prokluzování a nebo již při zrychlení  $a < a_{mez}$  dojde ke smyku. Abychom to mohli posoudit, je třeba si napsat vztah určující velikost třecí síly mezi pneumatikou a vozovkou.

Nejdříve budeme muset určit, jaký je normálový tlak na jednotlivá kola. Použijeme první a druhou impulsovou větu

$$\begin{aligned}x_p F_G - h F_S - d N_z = 0 &\Rightarrow N_z = \frac{x_p}{d} mg - \frac{h}{d} ma, \\ N_p = \frac{x_z}{d} mg + \frac{h}{d} ma.\end{aligned}\quad (2)$$

Pro třecí sílu působící na přední kolo platí

$$T_p = ma \leq N_p f \Rightarrow f \geq \frac{ma_{mez}}{N_p},$$

aby nedocházelo ke smýkání, kde  $N_p$  značí hodnotu normálové složky tíhy celé soustavy na předním kole. Dosadíme-li za  $N_p$  ze vztahu (2), můžeme vyjádřit zrychlení  $a$

$$a \leq \frac{gx_z f}{d - hf}.$$

Za předpokladu, že součinitel smykového tření je dostatečně velký, je vždy možné dosáhnout většího zrychlení než  $a_{mez}$ . Potom nastane nerovnováha momentů sil a cyklista přepadne přes řídítka. Tento jev může nastat pro

$$\begin{aligned}\frac{gx_z f}{d - hf} = a \geq a_{mez} = \frac{gx_p}{h}, \\ f > \frac{x_p}{h}.\end{aligned}\quad (3)$$

Pokud součinitel smykového tření bude menší, než určuje podmínka (3), dostane se přední kolo do smyku dříve, než dosáhneme mezního zrychlení  $a_{mez}$ . Cyklista již více brzdit nemůže – přední kolo se neatáčí. A právě v ten okamžik bude zajímavé začít brzdit zadní kolo (zrychlení cyklisty je menší než mezní zrychlení a tedy normálová složka tíhy  $N_z$  v místě styku zadního kola a vozovky není rovna nule).

Uvažujme maximální dosažitelné zrychlení. Toho dosáhneme, pokud budeme brzdit s použitím obou brzd. Pro zrychlení platí

$$ma = mgf.$$

Dosadíme-li za maximální zrychlení  $a_{mez}$  z (1), dostáváme podmínku pro přepadnutí

$$f > \frac{x_p}{h},$$

což je shodou okolností stejný výsledek, jako při brzdění pouze přední brzdou. Bude-li splněna tato podmínka, může vždy dojít k přepadnutí.

Z tohoto vyplývá, že brzdění zadní brzdou nemá vliv na přepadnutí; má vliv jenom na brzdnou dráhu.

A nakonec, pokud bude součinitel smykového tření nabývat hodnot

$$f < \frac{a_{mez}}{g} = \frac{b}{h},$$

dojde vždy pouze ke smyku a cyklista přes řídítka nikdy nepřepadne.

Nyní je ovšem zajímavé zamyslet se nad rovnováhou cyklisty. Pokud dojde vždy ke smyku, cyklista může zablokovat obě dvě kola a nic se nezmění (bude pouze zpomalovat úměrně velikosti třecí síly). Rovnováha na kole je ovšem způsobena tím, že se kola otáčí. Jsou to vlastně rotující setrvačníky, které když rotují, tak se „snaží“ udržet osu rotace ve stejném směru vůči inerciálnímu systému (pokud je výsledný moment vnějších sil nulový, jinak působí momentem opačným než moment vnějších sil – tím je způsobena například precese), tedy nám pomáhají udržet na kole rovnováhu. Pokud by se kola netočila, s velkou pravděpodobností cyklista spadne na bok.

Z toho plyne jediné poučení – i když myslíš, tak zaplatíš, ale aspoň si můžeš vybrat kolik!

*Tereza Jeřábková*  
terkaj@fykos.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/>.