

Rovnováha, balancování, jízda na kole

1 Rovnováha

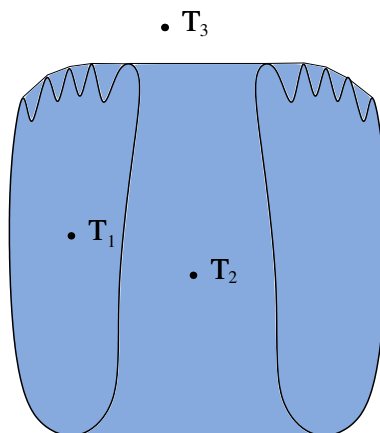
Je zajímavé zamyslet se nad tím, jak vlastně při stání udržujeme rovnováhu. Naše tělo není tuhé těleso, ale jeho jednotlivé části jsou spolu spojeny dosti volně pomocí kloubů. Určitá tuhost těla je ovšem potřebná k tomu, abychom vůbec mohli chodit, stát nebo i jen sedět. Tuto tuhost dodává napětí svalů. Náš mozek neustále monitoruje, zda tělo neztrácí rovnováhu a pokud zjistí, že ano, ihned podnikne potřebné kroky k nápravě.

Pro rovnováhu při stání je potřeba, aby těžiště těla leželo nad našima nohama. Přesněji řečeno je třeba, aby svislice spuštěná z těžiště protínala tzv. konvexní obal plochy, kterou se naše nohy dotýkají země (konvexní obal je tvořen body ležícími na úsečkách, jejichž krajní body leží v místech dotyku nohou a země, viz obrázek 1). Pokud například stojím a z nějakého důvodu se začnu naklánět dopředu, automaticky se mi více napnou svaly vzadu na nohou (mj. lýtkové), zatímco svaly na nohou vpředu se poněkud uvolní. Tím se tělo posune trochu dozadu a já znovu nabudu rovnováhy. Toto udržování rovnováhy je velmi důmyslné a podílí se na něm různé systémy, přičemž klíčovou roli hraje centrum rovnováhy ve vnitřním uchu. Lidé, kteří mají toto centrum poškozené, nemohou ani stát.

1.1 Balancování

Představme si nyní situaci, kdy se z nějakého důvodu nakloníme dopředu *příliš* – natolik, že naše těžiště už neleží nad konvexním obalem dotyku nohou se zemí, ale před ním (viz obrázek 1). Tím nás gravitace, za jejíž působení lze považovat těžiště, začne shazovat a žádné napnutí svalů nepomůže. Velmi rozumná věc, která v takovém případě zachrání počínající pád, je předsunout nohu dopředu a tím posunout zmíněný konvexní obal, tak, aby těžiště opět bylo nad ním. To funguje spolehlivě, problém ale nastane, pokud už není kam udělat krok – jako třeba na kraji útesu nebo při nahýbání se nad pultem se zajímavým zbožím. V takové situaci se dá udělat jiná věc – jestliže rychle začneme točit rukama dopředu (tj. ruce jdou vrchem dopředu a spodem dozadu), můžeme počínající pád zastavit. Naopak při počínajícím pádu dozadu je třeba konat opačný pohyb, tedy kroužit rukama dozadu. Často ani není třeba opisovat rukama několik kruhů, stačí jimi prudce mávnout v příslušném směru. Jak je vidět z tohoto popisu, není jedno, kterým směrem rukama točíme; pokud zvolíte nesprávný směr, poletíte k zemi ještě rychleji než předtím. Zkusme nyní prozkoumat, proč uvedené motání rukama může zastavit pád. Abychom to pochopili, musíme uvažovat, co se při pohybu děje s rukama a se zbytkem těla.

Uvažujme opět uvedenou situaci: začínáme padat dopředu a ve snaze zastavit pád rychle roztočíme ruce dopředu. Jestliže chceme ruce roztočit, musíme na ně působit určitou silou. Protože jde ovšem o kruhový pohyb, který chceme rukám udělit, a nikoli o posuvný, je třeba mluvit o momentu síly spíše než o síle. Jeden ze základních zákonů mechaniky, třetí Newtonův zákon, říká, že každá akce vyvolává stejně velkou reakci opačného směru. Jestliže tedy trup působí na ruce, aby je roztočil dopředu (akce), působí i ruce na trup, a to přesně opačně (reakce). Ruce tedy náš trup „roztácejí“ směrem dozadu. A to je přesně to, co potřebujeme, jestliže padáme dopředu! Pád dopředu je vlastně jakési otáčení vpřed kolem chodidel. Každá síla, která působí proti tomuto otáčení, tedy pád zpomalí nebo, bude-li dost velká, dokonce zastaví. A právě síla, kterou naše ruce působí na zbytek těla, má tento charakter a může tedy náš pád zastavit. Při pádu dozadu je situace stejná, jen všechny síly a momenty působí opačně.



Obrázek 1: Pro rovnováhu stojícího člověka je rozhodující, zda se těžiště nachází nad konvexním obalem bodů dotyku nohou a země. Obrázek ukazuje (modře) konvexní obal a tři polohy těžiště při pohledu shora. Polohy T_1 a T_2 odpovídají rovnováze, poloha T_3 počínajícímu pádu dopředu.

1.2 Provazochodec

Proč si provazochodec při chůzi po laně nese s sebou dlouhou tyč? Důvod úzce souvisí s výše popsaným balancováním. Když provazochodec cítí, že začíná padat na jednu stranu (pro konkrétnost řekněme, že doleva), roztočí tyč právě v tomto směru. Podle zákona akce a reakce přitom tyč zatočí artistou ve směru opačném, tedy právě v tom, kterým to potřebuje, aby zastavil svůj pád – viz obr. 2. Čím je tyč delší a těžší, tím má větší moment setrvačnosti a stačí ji pro zastavení pádu roztočit méně. Ve skutečnosti jsou její pohyby nepatrné, sotva postřehnutelné, ale provazochodci tyč značně usnadňuje udržování rovnováhy.

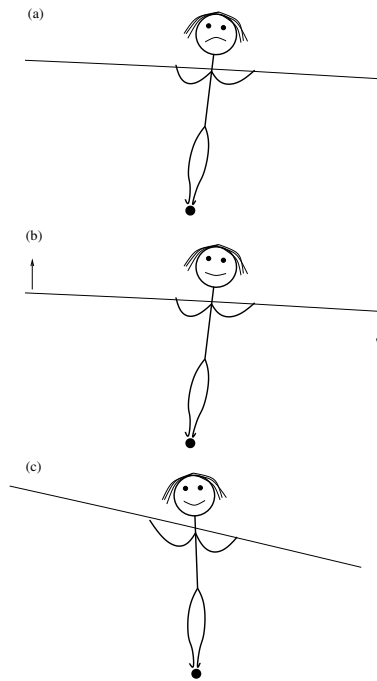
Místo tyče někdy stačí roztáhnout ruce. Jistě každý jako dítě zkoušel chodit po zábradlí nebo třeba kmeni nad potokem. A každý také ví, že to jde mnohem snáze s roztaženými rukama než pokud je máme podél těla. Ne každý sice ví, co vlastně přesně s roztaženými rukama dělá, ale to nevádí – mozek se to to rychle pozorováním naučí a pak už instinktivně ví, co má pro obnovení rovnováhy udělat.

2 Jízda na kole

2.1 Udržení rovnováhy na kole

Skoro každý se někdy podivil nad tím, jak je vůbec možné jet na jízdním kole. Vždyť se kolo při jízdě dotýká podložky jen na dvou místech, a to přece nemůže stačit k udržení rovnováhy! Aplikujeme-li úvahu s o konvexním obalem, je zřejmé, že konvexní obal bodů dotyku se zemí je v případě kola jen velmi úzký (je to téměř jen úsečka) a proto by mělo být téměř nemožné se na kole udržet. A vsutku – pokud na kole nejedeme, ale budeme stát na místě, pak se po malé chvíli balancování svalíme na jednu nebo druhou stranu. Pro udržení rovnováhy na kole tedy musí být klíčový pohyb, jízda.

Jestliže cyklista jede po silnici zpočátku v rovnováze (tj. zatím nikam nepadá), je jeho těžiště nad konvexním obalem, ale tato rovnováha je nestabilní – malá výchylka z rovnovážné polohy dá vzniknout silovému momentu, který bude výchylku čím dál víc zvětšovat. Je to podobná situace, jako když položíme kuličku na vrchol větší koule – po krátké chvíli sjede dolů. U cyklisty může vyvolat výchylku z rovnováhy během jízdy spousta vlivů, ať už se jedná o závany větru, nerovnosti silnice nebo pohyby samotného cyklisty při šlapání. Pokud by se tedy cyklista nesnažil takové výchylky nijak kompenzovat, po krátké



Obrázek 2: (a) Když provazochodec cítí, že začíná padat doleva (z jeho pohledu; z našeho doprava), začne roztáčet tyč ve stejném směru, jakým padá (b). Reakce tyče roztáčí provazochodce opačným směrem, což zastaví jeho pád (c).

chvíli by spadl. V tomto není žádný rozdíl mezi jedoucím a stojícím cyklistou. Rozdíl je ale v tom, že jedoucí cyklista má možnost pád vyrovnat, zatímco stojící nikoliv. Vysvětleme si jak.

Zkusme si nejprve představit cyklistu, který jede po rovné cestě a je v rovnováze, a vtom náhle pootočí řídky doleva. Co se asi stane? Cyklista by se měl připravit na nepříjemný pád. Při pootočení řídky se totiž přední kolo začne pohybovat doleva, zatímco cyklista pokračuje setrvačností v původním směru. Kolo pod ním tedy vlastně uhyne na stranu a cyklista pak přirozeně padá na stranu opačnou, tedy doprava. Vidíme tedy, že pootočením řídky na jednu stranu je možné jízdu v rovnováze přeměnit v pád na stranu opačnou. Dá se proto očekávat, že popsáný efekt je možné využít naopak k vyrovnání pádu.

Dejme tomu, že cyklista se snaží jet rovně a být v rovnováze, ale z nějakého důvodu začne padat například na levou stranu. Pak mu pomůže, když pootočí řídky poněkud doleva. Jak jsme viděli, při jízdě v rovnováze by takové pootočení řídky vedlo k pádu doprava. Jestliže ale cyklista už padá doleva, dojde naopak k vykompenzování jeho pádu a znovuobnovení rovnováhy. Samozřejmě je ale třeba pootočit s řídky citlivě a o správný úhel, protože jinak by mohlo dojít buď k pádu doprava (při příliš velkém pootočení) nebo by zůstalo u pádu doleva (při příliš malém pootočení). Velký problém nastane, jestliže pády není z nějakého důvodu možné kompenzovat. Pokud třeba vjedeme do tramvajové koleje, není možné řídky pootočit a posunout tak přední kolo do strany. Pak téměř určitě spadneme a dobrá rada tedy zní – vyhýbejte se kolejm za každou cenu a přejíždějte je pod co největším úhlem, jinak si natlučete nos!

Při vyrovnávání pádu na danou stranu natočením řídky na stejnou stranu se uplatňují dva mechanismy. Prvním je to, že pootočením řídky se začne posunovat konvexní obal, druhým pak to, že při pohledu z neinerciální soustavy spojené s cyklistou se při natočení řídky a následném pohybu po kružnici objevuje odstředivá síla, která kompenzuje efekt gravitační síly a tím zabraňuje pádu.

Jízda na kole je tak neustálou sérií drobných (nedokončených) pádů na jednu nebo na druhou stranu a jejich vyrovnávání. Můžeme se o tom přesvědčit třeba tak, že budeme pozorovat, jak se řídítka při jízdě neustále nepravidelně pohybují sem a tam, nebo také prohlédnutím stopy, kterou za sebou nechává kolo po projetí kaluží. Stopa není ani zdaleka rovná, ale nepravidelně se klikatí. Kdyby k pádům nedocházelo, byla by stopa přímá.

Je zajímavé, že jízdě na kole je třeba se naučit a že člověk, který ještě nikdy nejel, nebude zpočátku schopen ujet ani pět metrů. Chce to určitý cvik, než se naučí rozpoznávat ztrátu rovnováhy a nutnost jejího kompenzování řídítky i to, jak silně je třeba řídítky pootočit. Vím to sám z vlastní zkušenosti – trvalo mi asi hodinu, než jsme byl schopen na kole obstojně jet.

Za zmínku ještě stojí následující věc: představme si, že jedeme na kole a potřebujeme náhle změnit směr jízdy, tj. zatočit, třeba proto, že jsme na poslední chvíli spatřili překážku, které je třeba se vyhnout. Co uděláme? Pokud bychom hned otočili řídítka na tu stranu, ze které chceme překážku objet (řekněme nalevo), setrvačností by se tělo pohybovalo dál v původním směru a do překážky bychom narazili. Abychom mohli dobře zatočit, je třeba se i s kolem naklonit na levou stranu. Jak se ale máme naklonit, když je málo času a my jedeme rovně? Odpověď je jednoduchá: pootočme řídítka na chvíličku na *pravou* stranu. Jak jsme viděli, způsobí to pád na levou stranu, který právě potřebujeme! Pak už můžeme řídítka otočit doleva, čímž pád zastavíme, vykroužíme zatáčku a vyhneme se překážce. Tohoto způsobu zahájení zatáčky využívají motocyklisté při závodech, kde se střídají rovinky se zatáčkami. Těsně před zatáčkou závodník pootočí řídítka na opačnou stranu, než kam jde zatáčka. To mu dá správný náklon do zatáčky, protože motocykl po něm trochu „uhne“, a náklon pak jezdec využije k pěknému vykroužení zatáčky.

Někdy se říká, že za stabilitu jízdy na kole může efekt kola jakožto setrvačnicku. Roztočené kolo má totiž tendenci držet si směr své osy a změně směru osy se brání docela velkými silami (to bude jedním z témat Zajímavé fyziky příští rok). Proto by se zdálo, že člověk nespadne z kola prostě proto, že se kola brání změně polohy ze svislé (při rovné jízdě) na šikmou (při pádu). Ve skutečnosti ale setrvačnickový efekt sám nestačí na stabilizaci jízdy a jeho vliv je při jízdě na kole není příliš významný. Můžeme se o tom přesvědčit vjetím do již zmiňované tramvajové koleje, kdy efekt setrvačnicku zůstává, ale přitom rovnováhu nejsme schopni udržet. Efekt setrvačnicku spíše pomáhá při jízdě bez držení, kdy nám natočí řídítka ve správném směru, když se nakloníme do zatáčky.

2.2 Síly při brzdění a rozjíždění

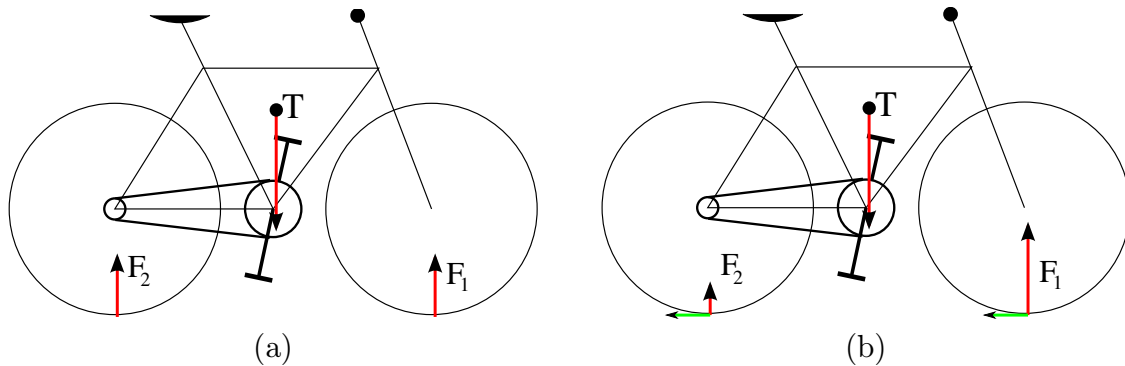
Kde vlastně působí síla na kolo při brzdění? Jde o statickou třecí sílu mezi silnicí a kolem, která působí směrem dozadu v bodech dotyku silnice a brzděného kola. A jak je tomu se silou, která kolo s cyklistou urychluje, když se rozjíždíme? Pro někoho je to možná překvapivé, ale i zde je to třecí síla – tření mezi silnicí a zadním kolem. Pokud tomu nevěříte, zkuste se s kolem (nebo s autem) rozjet po ledě, kde je tření malé.

Uvedená třecí síla je většinou statická, protože kolo se po silnici nesmýká, ale odvaluje, takže nespotřebovává žádnou práci.

2.3 Účinnost přední a zadní brzdy

Je brzdění přední a zadní brzdou na kole stejně účinné? Abychom to zjistili, uvažujme, jaké působí síly na soustavu kolo+cyklista. Než cyklista začne brzdit, působí na něj především gravitační síla a dále tlakové síly podložky na kola \vec{F}_1, \vec{F}_2 , viz obrázek 3. Velikost těchto tlakových sil je dána podmínkami nulovosti výsledné síly a výsledného momentu sil na cyklistu.

Jakmile cyklista začne brzdit, přidávají se navíc třecí síly působící v bodech dotyku kol se zemí a směřující dozadu. Přitom musí zůstat zachován nulový výsledný moment sil (aby se cyklista nezačal



Obrázek 3: Vnější síly působící na soustavu kolo+cyklista (a) pokud cyklista nebrzdí a (b) při brzdění. Třecí síly jsou vyznačeny zeleně. Aby byl nulový výsledný moment sil vzhledem k těžišti, musí při brzdění klesnout síla \vec{F}_2 a vrůst síla \vec{F}_1 .

točit). Protože třecí síly mají nenulový moment vzhledem k těžišti (tento moment jakoby chtěl cyklistu překloupat dopředu), musí se změnit velikosti sil \vec{F}_1, \vec{F}_2 tak, že \vec{F}_1 vzroste a \vec{F}_2 klesne. Vidíme tedy, že přední kolo je při brzdění přitlačováno k zemi více než zadní a z tohoto důvodu je i brzdění přední brzdou účinnější. Pokud ale přední brzdou brzdíme příliš, bude síla \vec{F}_2 klesat až k nule a zadní kolo se začne nadzvedávat ze země, cyklista dokonce může přeletět přes řídítka.