



ZDENĚK A jak to probíhalo?

KLÁRA Nejdřív jsem vzpěrače nechala nad hlavu zvednout činku, která byla dokonce o několik kilogramů těžší, než vážil on sám. Pak jsem vzpěrače požádala, aby vlezl do obrovského proutěného koše. Tedy spíše do takové nůše s velkými uchy na zvedání. Nechala jsem vzpěrače, ať zkusí nůši se sebou samým zvednout. Ale ať dělal, co dělal, nůše se od země neodlepila. Nakonec se se zapraskáním jedno ucho nůše utrhlo, a tím náš pokus skončil.

ZDENĚK Tak to jste potvrdili důležité tvrzení Isaaca Newtona, podle kterého pohybový stav tělesa mohou měnit jenom vnější síly. To jsou takové síly, kterými na těleso působí jiná tělesa zvenčí. Síla, kterou by působilo těleso samo na sebe, takzvaná vnitřní síla, nemůže pohybový stav změnit. Mů-

žeš si to představit ještě takhle. Dejme tomu, že sedíš uvnitř odbrzděného, ale stojícího auta. V tu chvíli jsi součástí soustavy těles „auto + Klára“. V takovém případě můžeš do volantu tlačit, jak chceš, auto tím nerozjedeš.

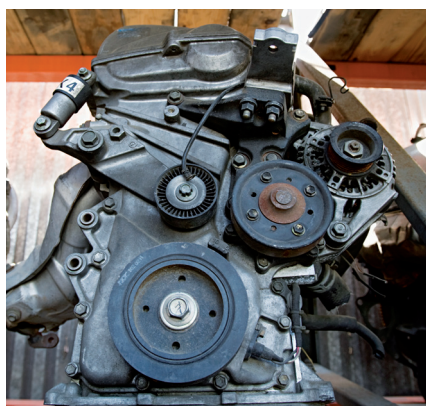
KLÁRA To je vcelku logické a odpovídá to naší každodenní zkušenosti. Ale jak mi vysvětlíš jinou věc? Součástí každého auta je i motor. Tvoří tedy spolu soustavu těles „auto + motor“. Jak to, že motor je schopen automobil rozjet? Není to náhodou z pohledu auta také vnitřní síla?

ZDENĚK Výborná otázka. Stojí za hlubší rozbor. Motor je sice součástí automobilu, ale silou nepůsobí přímo na soustavu těles „auto + motor“. Motor jenom prostřednictvím různých převodových mechanismů roztáčí kola. Pneumatiky kol pak svým

Ačkoliv vzpěrač hravě zvedl závaží těžší, než byl on sám, sám sebe jako náklad v koši nezvedl ani o milimetr. Jeho silovým působením nakonec došlo k porušení soudržnosti materiálu, ze kterého byl koš upleten.

vzorkem zabírají do povrchu silnice. A vzpomeň si na třetí Newtonův zákon akce a reakce: jak já na bráchu, tak brácha do mě. Silnice tak strká stejně velkou, opačně orientovanou silou do kol auta. Skutečným pachatelem změny pohybu automobilu (jeho rozjetí) je tedy silnice, která působí z pohledu automobilu jednoznačně vnější silou.

MARTIN Na dnešním rande bychom si měli všimnout ještě jednoho, v našem světě velmi často se vyskytujícího pohybu. A tím je pohyb po kružnici nebo, chcete-li, kruhový pohyb. Dokázala bys, Kláro, kruhový pohyb nějak





jednoduše bez náročných rekvizit demonstrovat?

KLÁRA Při natáčení televizního Rande jsem si na krátký provázek zavěsila závažíčko a roztočila. Závažíčko se začalo pohybovat po kružnici.

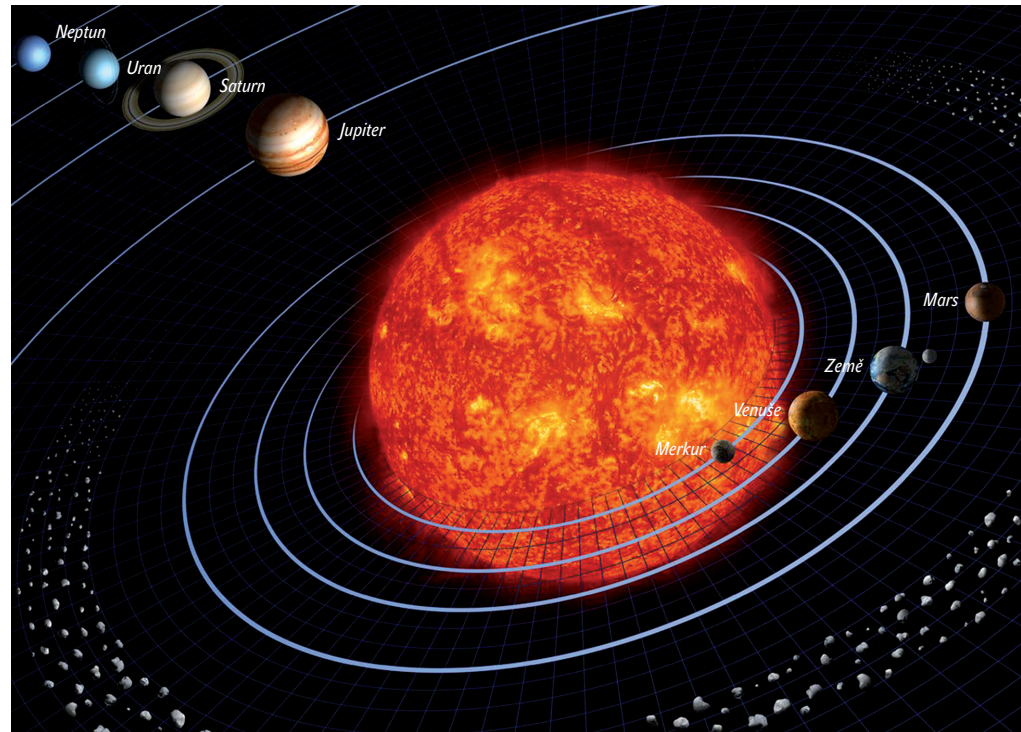
MARTIN Opravdu jednoduchá a přitom správná demonstrace kruhového pohybu. A co myslíš, je kruhový pohyb pohybem rovnoměrným přímočarým?

KLÁRA Není. Rovnoměrným možná, ale přímočarým určitě ne, protože jeho trajektorii není přímka, ale kružnice.

MARTIN Správně. A co platí pro těleso, které se nepohybuje rovnoměrným a zároveň přímočarým pohybem?

KLÁRA To musí znamenat, že na něj působí nějaká síla. Ale když by působila síla, mělo by se těleso zrychlovat. A to se mi v tomto případě moc nezdá, závažíčko se stále pohybuje se stejnou rychlostí.

pohybem ve vesmíru. Dostředivou neboli zatáčecí silou u něj je gravitační síla, kterou působí nějaké vesmírné těleso (Slunce nebo planety) a nutí tak své přírodní družice obíhat kolem sebe. Proto stojí za to si kruhový pohyb detailně rozebrat na nějakém charakteristickém pozemském příkladu.



MARTIN Síla zde rozhodně působí. Je to tahová síla provázku, která závažíčko nepřetržitě strhává směrem ke středu otáčení, a tím způsobuje zakřivení trajektorie závažíčka. Této síle říkáme síla dostředivá. Nebo ji tady budeme říkat síla zatáčecí.

ZDENĚK Pohyb po trajektorii, které se podobají kružnicím, je běžným

KLÁRA Já jsem to v televizním Rande s Fyzikou udělala na příkladu klasického poutového řetězového kolotoče. Jako figurantku jsem si pozvala svoji dlouholetou kamarádku Sašu. Nejprve jsem ji nechala na kolotoči svést, abych analyzovala, které všechny síly působí na těleso, které se pohybuje po kružnici.



přesně v opačném směru než dostředivá zatáčecí síla. ❹ Účinek obou sil by se vzájemně vyrušil a Saša by pak nejspíše i se sedačkou, která by se utrhla, odlétla pryč od kolotoče. To se ovšem evidentně nestalo.

KLÁRA Takže si Saša odstředivou sílu vymyslela?

ZDENĚK Představ si, nevymyslela. Ale abychom se s tou odstředivou silou mohli setkat, musíme se na celou situaci podívat ještě jednou – z pohledu otáčejícího se kolotoče.

KLÁRA To jsme také udělali. Nejdříve Martin nechal kameru pevně přimontovat na vrchní konstrukci kolotoče. Pak požádal Sašu, aby se znovu svezla na kolotoči. Říkal, že teď se na celou situaci podíváme z pohledu vztažné soustavy spjaté s kolotočem, tedy z otáčející se neinerciální soustavy. Vlastně jakoby Sašinyma očima na kolotoči. Na záběru kamery, která se otáčela spolu s kolotočem, je vidět, že Saša i se sedačkou se už nepohybuje po kružnici, ale zůstává v klidu na jednom místě. Martin mi vysvětlil, že když pozorujeme pohybové děje ze zrychleného nebo otáčejícího se stanoviště, přestávají najednou platit Newtonovy zákony. Abychom zachránili jejich platnost, musíme si vypomáhat různými tajemnými silami, které nemají žádného pachatele a kterým říkáme zdánlivé nebo též setrvačné. Že Saša vůči kolotoči najednou stojí na místě, si můžeme vysvětlit jen tak, že k výslednici tí-

ZDENĚK A co ti vyšlo?

KLÁRA Na sedačku se Sašou působily dvě síly. Jednak výslednice tahových sil řetězů, kterými je sedačka připevněna k vrchní konstrukci kolotoče, a jednak síla způsobená zemskou přitažlivostí. ❷ Obě síly jsem doplnila na rovnoběžník sil a jejich výslednice mířila k ose otáčení kolotoče. ❸ Tato výslednice je tedy onou dostředivou neboli zatáčecí silou, která způsobila, že se Saša pohybovala po kružnici.

ZDENĚK Tak, to jsi celou situaci určila naprosto správně.

KLÁRA No, jo! Jenže když Saša sestoupila z kolotoče, začala mluvit o tom, že se jí z té odstředivé síly dělá špatně. Zděsila jsem se. Z jaké odstředivé síly? Vždyť jsem tam žádnou takovou neobjevila. Ale Saša trvala na svém. Že přece při každém kruhovém pohybu, stejně jako v zatáčkách v autě na tělo působí odstředivá síla, která nás vynáší proti směru zatáčení.

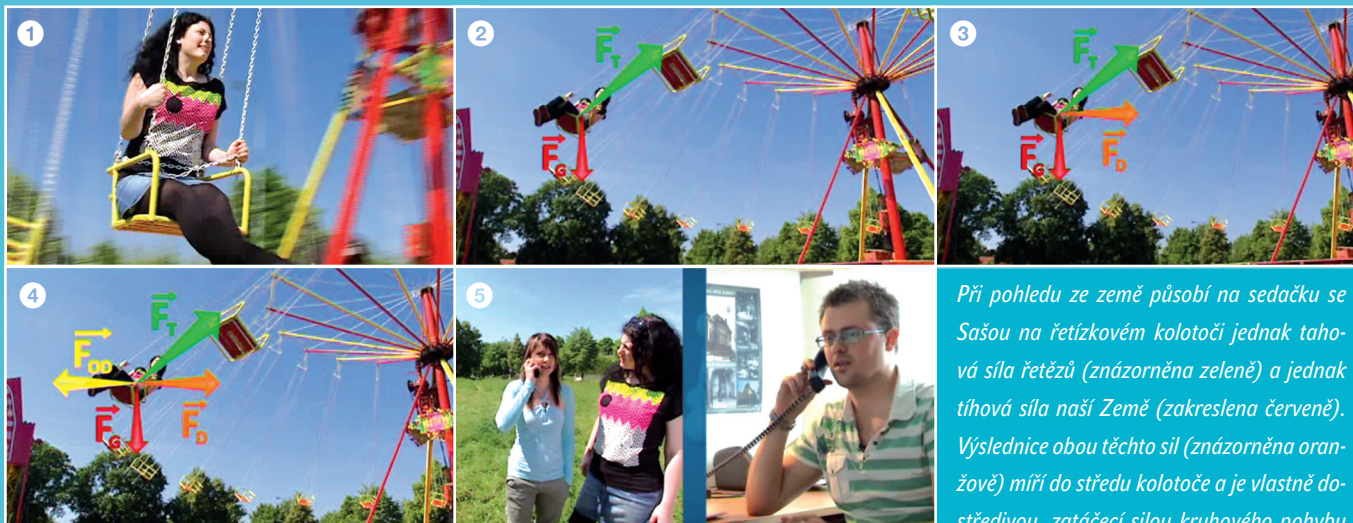
ZDENĚK A jak sis s tou Sašinou odstředivou silou poradila?

KLÁRA Byla jsem natolik bezradná, že jsem zavolala Martinovi. Byl tak hodný, že zanechal své práce na fakultě a ihned za námi přijel na pouť.

ZDENĚK A jak ti Martin situaci vysvětlil?

KLÁRA Zeptal se mě, odkud jsem tu pohybovou situaci sledovala, když jsem ji rozebírala. Odpověděla jsem, že ze země nedaleko kolotoče. Pak mi Martin vysvětlil, že jsem Sašin pohyb po kružnici sledovala ze vztažné soustavy spjaté se zemským povrchem, tedy se zamhouřením oka z inerciální vztažné soustavy. A v takovém případě žádná odstředivá síla opravdu neexistuje. Mimochodem, proč jde o inerciální soustavu jen se zamhouřením oka, to už vám Martin vysvětlil na straně 11 hned na prvním rande.

ZDENĚK To je pravda. Kdyby zde odstředivá síla existovala, působila by

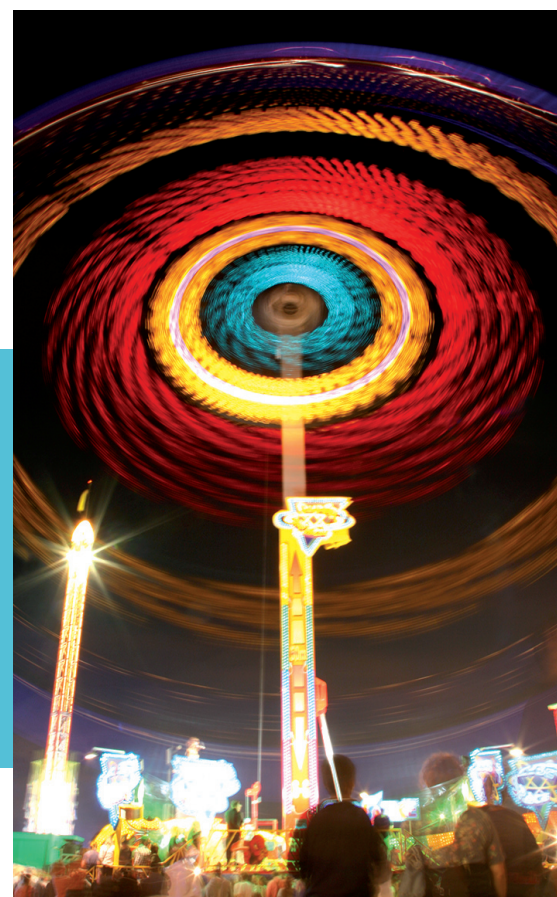
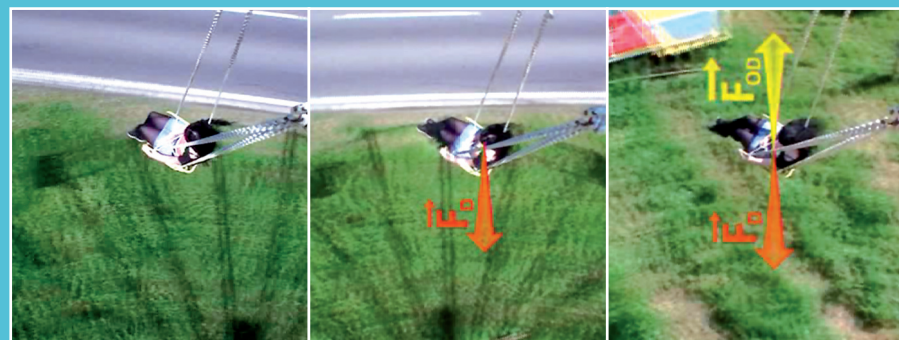


Při pohledu ze země působí na sedačku se Sašou na řetízkovém kolotoči jednak tahová síla řetězů (znázorněna zeleně) a jednak tíhová síla naší Země (zakreslena červeně). Výslednice obou těchto sil (znázorněna oranžově) míří do středu kolotoče a je vlastně dostředivou, zatáčecí silou kruhového pohybu sedaček. Saša si ovšem stěžovala, že pocituje také odstředivou sílu (zakreslenou žlutě). Měla pravdu?

hové síly a tahových sil řetězů přidáme stejně velkou sílu opačného směru. A té říkáme setrvačná odstředivá síla. Ale člověk, který sedí na kolotoči nebo v zatáčejícím autě, ji skutečně pocituje. A pocítují ji i naše orgány, proto se nám může na kolotoči nebo i v autě jedoucím v serpentínách dělat špatně.

ZDENĚK Náš organismus si na tu odstředivou sílu při zatáčivých pohybech

natolik zvykl, že když pak hrajeme nějakou počítačovou hru, která simuluje třeba jízdu autem, a zároveň při tom sedíme v nepohybujícím se křesle, tak nám dokonce pocit této odstředivé síly chybí. A Kláro, víš, že těch zdánlivých sil se v tom příkladu s kolotočem objevilo víc? Co se například dělo s okolní zemí z pohledu kamery připevněné ke kolotoči?





KLÁRA No, to mě docela zaujalo. Země a vůbec i celá pouť kolem kolotoče najednou ubíhaly do strany, jako by se otáčely v obráceném směru. Dokonce i já s Martinem, kteří jsme tam stáli v klidu na místě, jsme z pohledu té kamery spojené s kolotočem létali doslova kolem dokola.

ZDENĚK Vidíš. Při pohledu z kolotoče jste se vy dva, stejně jako všechno ostatní okolo kolotoče, pohybovali po kružnicích. Na všechny předměty tedy musela působit dostředivá síla, která ale ve skutečnosti neměla žádného pachatele. V tomto případě to tedy byla opět tzv. zdánlivá síla. Ke svému popisu světa ji potřebovali jen pozorovatelé na kolotoči (tedy Saša a kamera). Ti, kdo byli mimo kolotoč (ty a Martin), žádnou takovou sílu nepotřebovali zavádět – z jejich pohledu neexistovala. A jistě si vzpomeneš na pokus v jedoucí tramvaji z minulého rande. Popisovala jsi, že když tramvaj prudce zabrzdila, odlétli studenti někam směrem ke kabině řidiče. I tento

jejich pohyb zapříčinila zdánlivá setrvačná síla, protože jste na celý pohybový stav nahlíželi z tramvaje – tedy neinerciální vztažné soustavy spjaté s brzdícím tělesem.

MARTIN A já musím na závěr zdůraznit ještě jednu důležitou věc. Ty dvojice skutečných a fiktivních sil, které si zavádíme v neinerciálních vztažných soustavách – třeba dostředivá a odstře-



divá síla v případě kruhového pohybu – nejsou žádnou akcí a reakcí podle Třetího Newtonova pohybového zákona, jak se často různě špatně píše v internetových encyklopediích. Existence jedné síly totiž automaticky nepůsobuje vznik té druhé, jak to musí být v případě každé akce a reakce. A pak akce a reakce působí vždy na dvě různá tělesa (jedno působí na druhé „akcí“ a druhé na první „reakcí“). My jsme ale hovořili o silách působících na jedno těleso (např. na Sašu).

KLÁRA Já myslím, že je nejvyšší čas dnešní rande s Fyzikou rozpustit. Ty věci, které jsme tu dnes probírali, nejsou složité, ale jsou náročné na představivost. Takže, pokud jste všemu hned nerozuměli, můžete si čtvrté rande přečíst ještě jednou anebo se na ten složitý pokus s kolotočem podívat v natočeném videu, které najdete na webu České televize na odkazu www.ceskatelevize.cz/rsf/12. K tomu samému videu vás rychleji zavede přiložený QR kód.