

biliárovém stole jenom dvě koule. Na jednu kouli zapůsobíš svým tágem a tím jí udělíš hybnost. Ta koule se rozjede směrem ke druhé stojící kouli, a když ji trefí, dojde ke srážce koulí. Co se v okamžiku té srážky stane?

**KLÁRA** Ta druhá koule se začne pohybovat.

**ZDENĚK** A ta první?

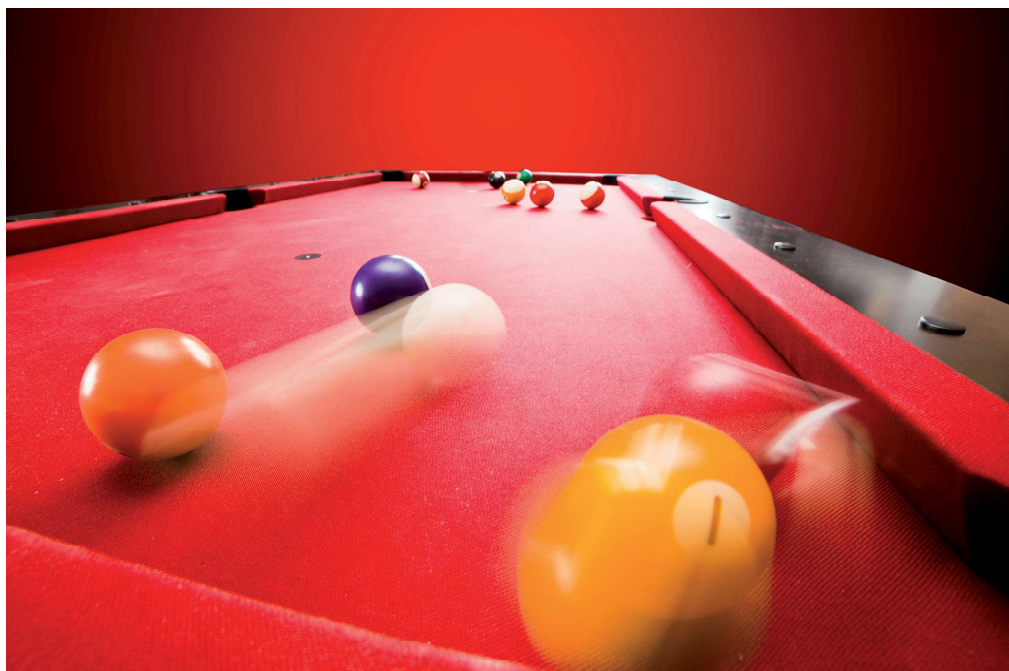
**KLÁRA** Ta se buď zastaví, anebo pokračuje v pohybu, ale s menší rychlostí, než kterou měla před srážkou.

**ZDENĚK** Výborně. Teoreticky jsi skvělá hráčka kulečnicku. Musíme si to někdy rozdat. Ale teď ne. Teď si tu srážku rozeberme fyzikálně. K čemu dojde, když jedna koule strčí do druhé? Trochu ti napovím. Představ si, že ty koule jsou bráchové. A jak já do bráchy, tak brácha do mě. Probírali jsme to na třetím rande.

**KLÁRA** Naprosto dostačující nápověda. Třetí Newtonův zákon, tedy zákon akce a reakce. Pokud jedno těleso působí na druhé silou, pak to druhé působí na to první stejně velkou silou, ale opačného směru.

**ZDENĚK** Už bys tu fyziku skoro mohla učit. Ty dvě síly, kterými na sebe působí naše kulečnickové koule, můžeme považovat za akci a reakci a můžeme si je zapsat takto:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$



A teď si vzpomeň, jaký vztah jsme si odvodili pro sílu, když jsme před několika málo stránkami probírali impuls síly.

**KLÁRA**

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

Tento vztah mohu dosadit do tvé rovnice a dostanu:

$$\frac{\Delta \vec{p}_1}{\Delta t_1} = - \frac{\Delta \vec{p}_2}{\Delta t_2}$$

**ZDENĚK** Když jsme probírali zákon akce a reakce, říkali jsme si ještě jednu důležitou věc. Obě síly společně vznikají a společně zanikají. Tedy působí po stejně dlouhou dobu. To znamená, že při srážce koulí je  $\Delta t_1$  zcela logicky stejně velké jako  $\Delta t_2$ . Proto po zjednodušení zápisu dostaneme jednoduchou rovnost:

$$\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2$$

A co tato rovnost říká o srážce našich kulečnickových koulí?

**KLÁRA** Že při srážce je změna hybnosti první koule stejně velká jako změna hybnosti té druhé, ovšem s obráceným znaménkem. To znamená, jakou hybnost při srážce ztratí první koule, takovou hybnost získá ta druhá. Když se ta první při srážce úplně zastaví, veškerou její hybnost si převezme ta druhá.

**ZDENĚK** Jinými slovy součet hybností obou koulí před srážkou se musí rovnat součtu jejich hybností po srážce. A tohle je velmi důležitý zákon, kterému říkáme zákon zachování hybnosti. Abychom byli fyzikálně přesní, musím uvést že tento zákon platí pro izolovanou soustavu těles. Na ty dvě koule, které se navzájem srážejí, se totiž můžeme dívat jako na soustavu dvou těles.



**KLÁRA** A co znamená, že ta soustava těles musí být izolovaná?

**ZDENĚK** Izolovaná je taková soustava těles, na kterou nepůsobí žádné vnější síly, nebo se tyto síly navzájem ruší. To znamená, že se v ní odehrávají pouze vzájemné silové interakce mezi tělesy. Přísně vzato, naše dvě kulečnickové koule nejsou úplně izolovanou soustavou těles, protože při jejich pohybu na ně přece jenom působí brzdící síly vzduchu a kulečnickového stolu. Výsledek srážky koulí je také ovlivněn jejich rotací a tím, jak konkrétně do sebe koule narazí – jestli středy proti sobě, nebo o sebe jenom tak „škrtnou“. Ale jak funguje

taková izolovaná soustava srážejících se těles, to bys mohla vidět na malých vznášedlech, která se pohybují kousek nad podložkou, a tedy nejsou brzděna třením o podložku.

**KLÁRA** Při natáčení televizního Rande s Fyzikou jsem se nejdříve setkala s barmanem, který uměl tak báječně cvrknat do mincí, že si ukázkově předávaly svoji hybnost. A hned pak jsem se zašla podívat do praktik Katedry didaktiky fyziky na pražském Matfyzu, kde mi Zdeněk ukázal slibovaná vznášedla, která na sebe narážejí a pohybují se bez tření, takže názorně ilustrují izolovanou soustavu těles, ve které platí zákon zachování hybnosti. Stojí zato to vidět. Stačí si do internetového prohlížeče zadat odkaz [www.ceskatelevize.cz/rsf/27](http://www.ceskatelevize.cz/rsf/27) anebo si jen ofotit přiložený QR kód.

**ZDENĚK** Já ještě doplním, že rozlišujeme dva druhy srážek těles (také se používá termín rázy těles). Srážky pružné (někdy se jim říká elastické) a srážky nepružné. K pružným srážkám dochází mezi tuhými tělesy, která při srážkách pouze „zapruží“. To jsou například ty kulečnickové koule. Nebo



vagóny, které na sebe narážejí při posouvání a postrkování na seřadovacím nádraží. Nepružné srážky jsou potom charakteristické pro měkkí, poddajná tělesa, která se při srážkách plasticky deformují. Jako příklad si můžeme uvést nárazy různých gumových míčů nebo koblih. Ale nepružnou srážkou je například i havárie dvou aut, při které dojde k deformaci jejich karosérií. Každopádně jak pro pružné, tak pro nepružné srážky platí zákon zachování hybnosti, který v plném znění říká: celková hybnost izolované soustavy těles se nemění.





Dosud vždy, když jsme se v naší knížce zabývali nějakou historickou osobností, která udělala významný objev v oblasti mechaniky, šlo primárně o cizince. Teď nastala chvíle, kdy se v našem historickém okénku objeví první Čech. Je jím **Jan Marek Marci z Lanškrouna** (Johannes Marcus Marci de Cronland). Jan Marek Marci byl v polovině 17. století velmi pokrokový „hlavní hygienik“ Českého království.



Odmítal pouštění žilou, doporučoval pohyb, míčové hry na čerstvém vzduchu, dobře kořeněnou stravu a pravidelné milování. V době po Bílé Hoře se významně podílel na chodu pražské Karlovy univerzity. Byl dokonce jejím rektorem. K jeho proslulosti přispělo uzdravení Bohuslava Balbína od neštovic. Sám Balbín projevil Marcimu svoji vděčnost oslavnou básní. Spektrum Marciho zájmů v oblasti fyziky bylo široké. Věnoval se například studiu duhy, ohybu světla, studiu krevního oběhu a také rázu koulí. V roce 1639 pravděpodobně jako první rozlišil ráz pružný, nepružný a křehký. Své závěry přenesl i do medicíny, na deformaci kostí po nárazu, kdy se kost může buď pružně restituovat, deformovat či prasknout. Řešil také odraz míče, odraz oblázků na vodní ploše (při házení žabek) a úlohu karambolu. Byl úplně první (v tom předběhl i Newtona), kdo zjistil, že při jednotlivých srážkách jsou důležité nikoliv rozměry tělesa, ale rychlost a hmotnost (tedy hybnost) a také vlastnosti materiálu. Jeho práce prokazatelně znal Isaac Barrow, vysokoškolský učitel Isaaca Newtona, nebo Galileo Galilei, kterému Jan Marek Marci napsal několik dopisů. O tom si podrobněji můžete přečíst na stránkách Matfyzu. Dovede vás tam QR kód anebo odkaz <http://www.matfyz.cz/clanky/135-zahranicni-putovani-po-hrobech-slavných-matematiku-fyziku-astronomu-iv-italie-florence>.

V závěru svého života měl Marci v držení jednu z nejpodivuhodnějších knih lidstva – záhadami opředený tzv. *Voynichův manuskrip* (rukopis). Ten získal z pozůstalosti alchymisty Georgia Baresche (Jiří Bareš). Podle jedné teorie se rukopis objevil na dvoře Rudolfa II. Ten snad prý i věřil, že autorem je významný středověký teolog a vědec Roger Bacon. Není vyloučeno, že knihu na rudolfinský dvůr přivezl John Dee, alchymista a poradce poslední Tudorovny Alžběty I., či další známý anglický alchymista Edward Kelley. Ale důkazy pro to nejsou. Každopádně Marci tuto záhadou knihu psanou neznámým jazykem poslal odborníkovi na koptštinu (jazyk, kterým hovořili egyptští křesťané od počátku letopočtu do přibližně 17. století, jeho písmo vycházelo z řecké abecedy), jezuitovi Athanasiu Kircherovi. Zachoval se původní dopis datovaný rokem 1665 nebo 1666. O výsledku Kircherova rozboru se nedochovaly žádné zmínky. Je otázkou, zda si s rukopisem nevěděl rady, považoval jej za podvrh nebo si jeho tajemství vzal s sebou do hrobu. Kniha se pak dostala do Říma, kde zůstala uložena po dlouhá desetiletí v knihovně Papežské univerzity Gregoriny. Dnes je v archívech americké univerzity v Yale. Marci byl pohřben v kostele sv. Klimenta v pražském Klementinu, jeho ostatky pak byly údajně převezeny na pražské Olšany. O tom si můžete více přečíst na odkazu

<http://www.matfyz.cz/clanky/110-putovani-po-hrobech-slavných-matematiku-fyziku-astronomu-ii> nebo pomocí QR kódu. Jan Marek Marci z Lanškrouna bohužel neměl žádného žáka, který by ve studiu fyziky pokračoval, a proto objevy, na které přišel jako první, museli později znovu objevit jiní velcí, jakými byli Newton, Huygens či Harvey.





**KLÁRA** Při natáčení televizního Rande o hybnosti jsem se dozvěděla, že takovou typickou ukázkou toho, jak v praxi funguje zákon zachování hybnosti, je raketový motor. Je to vlastně velmi zajímavá otázka. Už kolikrát mi vrtalo hlavou, jak mohou raketové motory pohánět raketu ve vzduchoprázdnu, kde se tryskající plyny nemají o co „opřít“. Tak, Martine, jak to vlastně je?

**MARTIN** Na raketu se můžeme dívat jako na soustavu dvou těles. Jedním tělesem je raketa samotná a druhým palivo uvnitř. Před startem je celá tato soustava v klidu. Po zážehu se palivo začne přeměňovat na plyny, které unikají tryskou ven z raketového motoru. Unikající plyny tedy mají hybnost směrem dolů. A protože platí zákon zachování hybnosti, musí celková hybnost soustavy zůstat nadále nulová. To je možné jedině tak, že raketa získá stejně velkou hybnost jako unikající plyny, ale v obráceném směru, tedy nahoru. Při výpočtu pohybu rakety musíme ale také brát v úvahu to, že se při hoření paliva zmenšuje hmotnost rakety. No ale ty ses vlastně ptala na let rakety ve vzduchoprázdnu a ne na start ze

Země. I tady si můžeš pomoci zákonem zachování hybnosti. Když raketa spustí motor ve vzduchoprázdnu, plyny, které unikají z trysky, mají určitou hybnost směrem vzad, a aby se nezměnila celková hybnost, získává raketa hybnost vpřed. Možná by sis to ale uměla vysvětlit i jinak?

**KLÁRA** Třeba zákonem akce a reakce? Když raketa vypuzuje plyny ven, strká do nich nějakou silou a plyny musejí strkat do rakety stejně velkou, ale opačně orientovanou silou.

**MARTIN** No výborně, Kláro. To se nám ty poznatky začínají pěkně propojovat, co?

**KLÁRA** Tak vidíte, jak jednoduchý je princip raketové motoru. Stačí znát zákon zachování hybnosti. A funguje to jak v naší pozemské atmosféře, tak ve vzduchoprázdňém vesmíru. Tak, až půjdete se svým milým nebo se svojí

*Princip raketového pohonu lze fyzikálně vysvětlit pomocí zákona zachování hybnosti. Spalované plyny mají hybnost směrem vzad, raketa tedy musí letět dopředu.*

