

KLÁRA Aha, tak už je mi jasné, že když jdu s nějakým klukem na rande, nemohu cítit opravdovou gravitační přitažlivost mezi námi dvěma. Něco, co je o několik řádů menší než tíha pampeliškového semínka, se opravdu nedá cítit. Jen mi, Zdeňku, není jasné, proč se tomu pokusu říkalo Cavendishovo vážení zeměkoule, když se vlastně nic nevážilo.

ZDENĚK Stačí hodnotu gravitační konstanty dosadit do Newtonova gravitačního zákona a snadno vypočteš hmotnost Země. Z výsledků Cavendishových měření vyšla hmotnost Země s chybou asi 1 %. Tedy nečekaně přesně.

KLÁRA A kolik tedy naše Země vlastně váží?

ZDENĚK Přibližně $5,972 \cdot 10^{24}$ kg. Kdybys to číslo rozepsala, vypadalo by takhle:

$m_z = 5\ 972\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ \text{kg}$

KLÁRA Už chápu, proč jsi na začátku tohoto rande nazval moji hmotnost nicotnou ve srovnání s hmotností Země. A to ji ani nemusím před čtenáři prozrazovat. Gravitační síla naší planety je tedy natolik velká, že nás stále přitahuje k jejímu povrchu. Skoro se dá říct, že nás na něm a v přilehlém tenkém pásu atmosféry uvěznila. Mimořádně i ta atmosféra je držena zase jen gravitačním působením Země. Ale jedna věc mi ještě není úplně jasná. Naše Země svojí gravitací působí i na Měsíc a rovněž ho k sobě přitahuje. Je to tak?

ZDENĚK Ano. Země a Měsíc se přitahují vzájemnou gravitační silou, jejíž přibližná hodnota je $2,05 \cdot 10^{20}$ N.

KLÁRA Jak to, že pak Země k sobě Měsíc nepřitáhne, stejně jako všechny ostatní předměty?

ZDENĚK Měsíc totiž vůči Zemi není v klidu, ale obíhá ji. Trajektorie se s jistým přimhouřením oka dá nazvat kruhovou. Oběžnou rychlost získal Měsíc už v době vzniku naší sluneční soustavy. A protože je Měsíc za hranicí naší atmosféry, kde nepůsobí žádné brzdící síly vzduchu, pohybuje se tam už několik miliard let. A gravitační síla Země pak účinkuje jako dostředivá (zátáčecí) síla, která způsobuje, že pohyb Měsíce se stáčí zhruba po kružnici.

MARTIN A úplně stejné je to s našimi umělými družicemi. Ty se také udrží na oběžné dráze jenom díky tomu, že jim po vynesení do správné výšky udělíme dostatečnou rychlost ve směru rovnoběžném s povrchem Země. Na kosmickou loď nacházející se na oběžné dráze působí vlastně jenom jedna síla. Tou je gravitační síla naší Země. Jejím působením se dráha pohybu družice nepřetržitě stáčí k zemskému povrchu. Ovšem při dostatečně vysoké rychlosti letu zemský povrch díky svému zakřivení před klesající vesmírnou lodí plynule uhýbá. Vesmírná loď tedy sice bez přestání padá, ale zároveň nikdy nespadne. I když bych měl otevřeně přiznat, že družicím, které obíhají

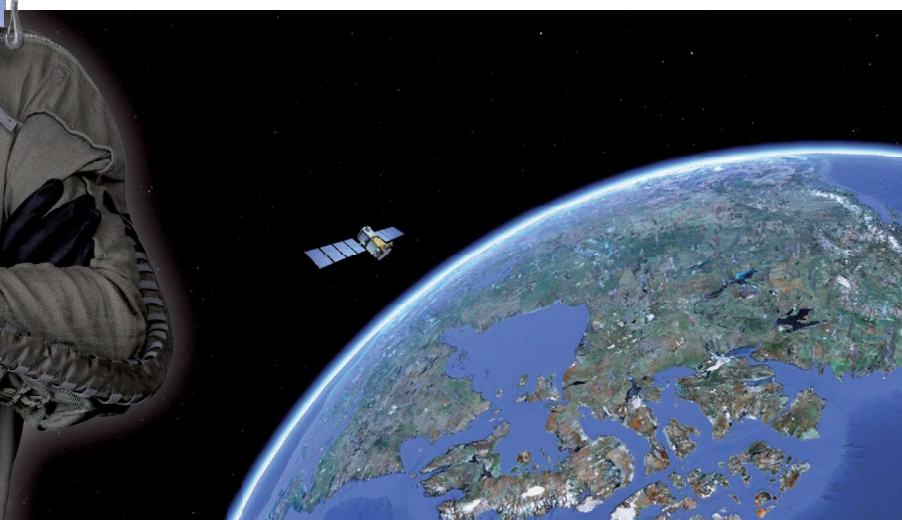


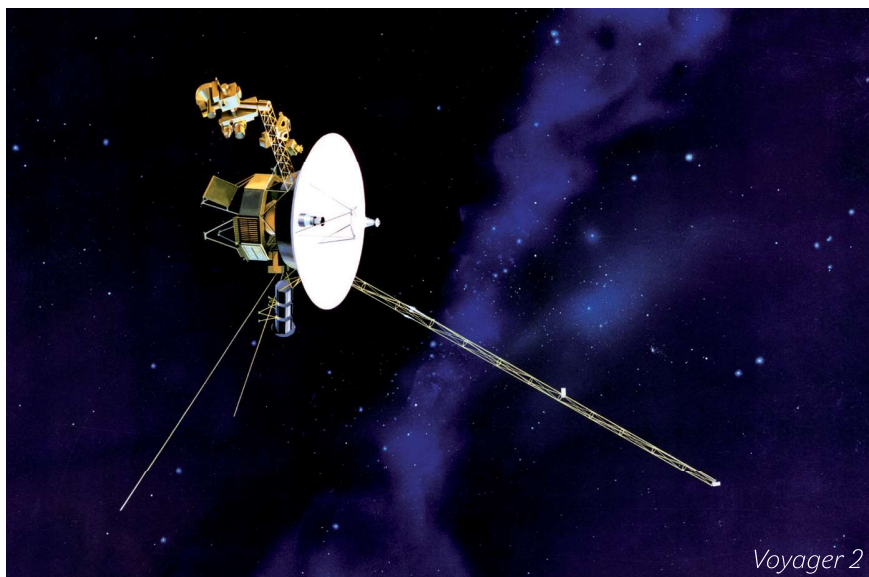


Zemi ve výšce do nějakých 1000 km, je třeba jednou za čas energii zase dodat a o kousek je vynést. Výšku totiž trošku ztrácí malým brzděním o nepatrné zbytky atmosféry.

ZDENĚK Podmínkou je, že obíhající těleso v gravitačním poli naší Země musí mít dostatečnou rychlost. Hodnota oběžné rychlosti závisí na vzdálenosti od Země. Zajímavé je, že v čím větší vzdálenosti od Země těleso obí-

há, tím může mít nižší oběžnou rychlost. Například Měsíc kolem Země obíhá ve vzdálenosti zhruba 384 400 km a jeho průměrná orbitální rychlost je 1,02 km/s. Zatímco třeba Mezinárodní vesmírná stanice (ISS) či jiné umělé družice, které létají poměrně nízko nad zemským povrchem – zpravidla nějakých 400 km, musí dosáhnout mnohem větší rychlosti, aby se udržely na oběžné dráze.





Voyager 2

MARTIN Oběžná rychlost v těchto blízkých vzdálenostech je přibližně 8 km/s. Této rychlosti říkáme první kosmická rychlost. Pokud by rychlost družice byla menší, tak bude sestupovat směrem k zemskému povrchu. To se například děje při řízeném navádění pilotovaných kosmických lodí zpět na Zemi. Jejich rychlost raketovými motory přibrzďujeme a tím je přibližujeme k zemskému povrchu.

KLÁRA A co by se stalo, kdybychom raketovými motory naopak zvyšovali rychlost kosmických lodí? Já vím, to není tak jednoduché, ale čistě hypoteticky, abychom si popsali fyzikální zákonitosti.

MARTIN V takovém případě by se kruhové oběžné dráhy začaly protahovat do tvaru elipsy. Čím větší rychlost, tím protáhlejší tvar elipsy. Země je přitom

v ohnisku této elipsy. A kdybychom rychlost tělesa ještě více zvyšovali, při určité hraniční hodnotě rychlosti by trajektorie přestala být eliptická a změnila by se v parabolou, v jejímž ohnisku by opět byla Země. Té rychlosti říkáme úniková, protože těleso při ní fakticky překonává gravitační působení Země a začíná se od ní trvale vzdalovat. V kosmonautice je tato rychlost známá jako druhá kosmická rychlost a její hodnota je u povrchu Země přibližně 11,2 km/s. Když udělíme sondě ještě větší rychlost, je její trajektorií hyperbola.

KLÁRA Takže tou druhou kosmickou rychlostí musí letět naše výzkumné sondy směřující k jiným planetám?

MARTIN Přesně tak. Přinejmenším touto rychlostí musela od Země odletět legendární sonda Voyager 2, která pak v 80. letech 20. století postupně

proletěla kolem Jupitera, Saturnu i Uranu a vyslala nám na Zemi neuvěřitelně podrobná svědectví a poznatky o těchto planetách. Na to ale musela ještě získat větší rychlost pomocí složitých gravitačních manévřů u těchto velkých planet. Dnes je dokonce kdesi na samé hranici sluneční soustavy.

KLÁRA Zdeněk mi vysvětlil, že nezbytná hodnota rychlosti, při níž se těleso udrží na oběžné dráze, závisí na vzdálenosti od Země. Závisí tato rychlost také na hmotnosti obíhajícího tělesa?

MARTIN To je správná otázka. Nezávisí. Oběžná rychlost je stejná jak pro několikátunový orbitální komplex, tak třeba pro zrnko písku. Proto také kosmonauti mohou vystoupit z kosmické lodi do vesmírného prostoru a nezáčnou se nikam propadat nebo odlétávat od svého vesmírného dopravního prostředku.

ZDENĚK Když už zde tak podrobně probíráme oběžné dráhy kolem naší zeměkoule, stálo by za to jednu z těch drah zmínit konkrétně, protože je hodně výjimečná. Jde o oběžnou dráhu ve výšce necelých 36 000 km nad zemským povrchem. Říkáme jí geostacionární dráha a má tu vlastnost, že družice, které po ní obíhají, mají stejnou úhlovou rychlost jako zemská rotace. To se projevuje tím, že družice na geostacionární dráze při svém obíhání de facto stojí stále nad jedním místem zemského povrchu. Musí ale obíhat nad zemským rovníkem. Toho se vy-

užívá například v případě telekomunikačních družic. Díky tomu, že se vůči zemskému povrchu zdánlivě nepohybují, můžeme mít naše satelitní antény pro příjem signálu namířeny stále do jednoho místa.

KLÁRA Ještě jedna věc na mě působí obdivuhodně. Jak se vlastně lidem podařilo překonat to pevné gravitační sevření, kterým si naše Země tak úzkostlivě drží všechna tělesa při svém povrchu?

MARTIN Lidé o možnosti podívat se za hranice naší biosféry dlouho jen snili. Chyběla jim technologie k vyvinutí tak obrovské síly, se kterou by mohli překonat gravitační přitažlivost naší Země. Navíc první fáze stoupání jakéhokoliv vesmírného dopravního prostředku probíhá v atmosféře, která svými brzdnými účinky ještě více brání dosáhnout potřebné rychlosti. Jak se ukazuje, doposud jedinou dostupnou možností je raketový pohon. I když budoucnost nejspíš přinese i jiné možnosti. Pro start kosmických lodí možná budeme používat třeba iontový pohon nebo jaderný pulzní motor. Ale o startrekovém warpovém pohonu si opravdu můžeme nechat jen zdát.

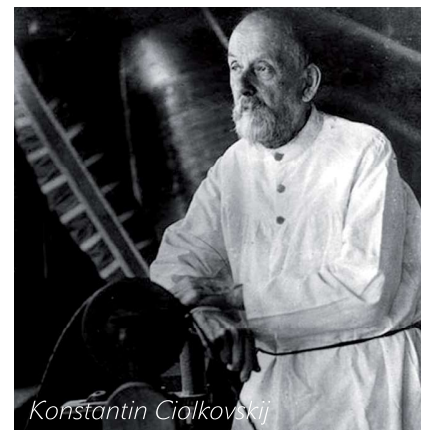




Plně naložený raketoplán i s pomocnými startovacími stupni měl hmotnost okolo 2000 tun. Aby odstartoval do vesmíru, musel dosáhnout tažné síly zhruba 20 milionů newtonů a po dobu prvních dvou minut letu ji udržet. Takovou sílu dokáží vyvinout jen velmi výkonné motory, které ovšem spotřebují extrémní množství paliva. Objem potřebného paliva je několiknásobně větší než objem samotné návratové části raketoplánu. Protože bylo neefektivní s sebou vozit zbytečnou zátěž v podobě poloprázdné obří nádrže, bylo lepší palivo rozdělit do několika menších nádrží a ty postupně po jejich vyprázdnění odhazovat. Ulehčení při odhozu každé další nádrže bylo natolik velké, že mohla být částečně snížena tažná síla, což se zpětně projevilo na zmenšené spotřebě paliva. Teprve až se raketoplán dostal mimo naši atmosféru, kde už nepůsobil její odpor, mohla se konečně zásadně snížit jeho tahová síla. A po dosažení cílové rychlosti a vzdálenosti od zemského povrchu už nebyla žádná další akcelerace nutná.

ZDENĚK Za duchovního otce kosmonautiky lze bezpochyby považovat ruského učitele a vědce Konstantina Ciolkovského, který na konci 19. století objevil jedno ze základních pravidel raketové techniky – dnes nazývané jako Ciolkovského rovnice. Jeho myšlenky byly průkopnické v tom, že raketa by měla být stupňová a během startu postupně odhazovat stupně s vyhořelým palivem včetně motorů. Tím skokovitě klesá její hmotnost a v dalších stupních se tak mohou používat motory s menším tahem. Odtud už byl jen krůček k vlastní konstrukci vícestupňových raket. Průkopníci takových raket byli Robert H. Goddard, Wernher von Braun a Sergej P. Koroljov.

KLÁRA V televizním Rande s Fyzikou jsme si vyzkoušeli odpálit model rakety na lihový pohon. Ačkoliv se nám akcelerace zprvu zdála značná, velmi rychle došlo palivo a maximální dosažená rychlost se nestihla ani vzdáleně přiblížit první kosmické rychlosti. A tak model rakety po několika sekun-



dách dopadl zpátky na zemský povrch. S tímto výsledkem pokusu jsme víceméně počítali. Nikdo nečekal, že bychom lihovou raketku vyslali ze Žvahovského kopce rovnou do vesmíru. Ale vlastně jsme si ověřili, že největší problém letů za hranici naší biosféry je vybavit vesmírný prostředek dostatečným množstvím paliva, aby se ještě udržela jeho letuschopnost. Pokud se na náš pokus chcete podívat na video, máte možnost na webu České televize, kde ho najdete na odkazu www.ceskatelevize.cz/rsf/15 anebo pod zde uvedeným QR kódem.

KLÁRA A neúspěšným startem našeho modelu rakety můžeme pomalu směřovat k závěru pátého rande s Fyzikou, na kterém jsme se seznámili s tajemnou a zajímavou gravitací, která se nám plete do života doslova při každém kroku. Myslím, že na dnešní rande jen tak nezapomenete. A tak si zkuste pamatovat několik základních poznatků, které jste se na něm dozvěděli.

