

## Několik poznámek k učivu o Sluneční soustavě

LEONTÝNA ŠLÉGGROVÁ, JAN ŠLÉGR

Přírodovědecká fakulta Univerzity Hradec Králové

### Úvod

Výuka astrofyziky na střední škole není jednoduchá disciplína. Je čím dál obtížnější najít na ni čas. Podle průzkumu [1] se např. na nadpoloviční většině oslovených gymnázií učí fyzika pouze ve třech ročnících čtyřletého studia, přestože ještě před deseti let tomu bylo naopak. Pouze asi na pětině gymnázií je astrofyzika vykládána jako součást běžné výuky, jinak se zařazuje do volitelného fyzikálního semináře, případně se nevyučuje vůbec. Zejména pro fyzikální semináře je vhodné mít k dispozici úlohy, které lze využít ve výuce. To není problém např. při výkladu měření v astrofyzice, ve výkladu Sluneční soustavy však na první pohled tolik možností není a výklad tak sklouzává k pamětnému učení izolovaných faktů o planetách. V poslední době však v časopise MFI vyšlo několik článků Vladimíra Štefla, které popisují úlohy použitelné ve výuce (např. [2], [3] nebo [4]).

Dalším problémem je, že učivo o Sluneční soustavě obsahuje celou řadu terminologických nejasností. Jedná se již o samotný název, kde se můžeme setkat s tím, že se zapisuje jako *sluneční soustava* (tento zápis je možné najít v Pravidlech českého pravopisu). Česká astronomická společnost naopak doporučuje psát název s velkými písmeny S, tedy *Sluneční soustava*. Tento zápis budeme používat v článku.

Nepřesné a často protichůdné informace se také vyskytují v rozdělení těles ve Sluneční soustavě, tedy v rozdělení na planety, trpasličí planety a malá tělesa Sluneční soustavy. Hovořit lze také o nejasnostech při zařazení tělesa mezi planety či meteoroidy.

V tomto článku stručně shrnujeme základní informace o složení Sluneční soustavy v souladu s doporučeními Mezinárodní astronomické unie a uvádíme několik úloh, kterými lze podpořit výklad učiva o Sluneční soustavě.

## Složení Sluneční soustavy – její počátek

Jak již název napovídá, Sluneční soustava je soustavou naší jediné hvězdy, tedy Slunce. Její počátek je tak zřejmý a leží ve Slunci. Při výkladu Sluneční soustavy je však důležité zdůraznit, že samo centrální těleso se, podobně jako všechna tělesa ve Sluneční soustavě, pohybuje. Pokud se totiž budeme bavit o těžišti Sluneční soustavy, tzv. barycentru, zjistíme, že se jeho poloha mění v závislosti na poloze velmi hmotných planet, tj. zejména Jupiteru, Saturnu, Uranu a Neptunu. Při oběhu planet dochází k posunu hmotného středu Sluneční soustavy a tím i k pohybu Slunce, které kolem barycentra obíhá spolu s planetami.

Aby žáci získali lepší představu, jak polohu barycentra ovlivňuje poloha planet, je vhodné do výuky zařadit (pokud to čas dovolí) úlohy na toto téma. Může se jednat například o tyto:

### Úloha 1

Polohu barycentra Sluneční soustavy nejvíce ovlivňuje poloha Jupiteru. Určete, kde se nachází barycentrum Sluneční soustavy, pokud uvažujeme, že je složena pouze z těles Slunce ( $\odot$ ) a Jupiter ( $\text{♃}$ ). Slunce má hmotnost přibližně  $2,0 \cdot 10^{30}$  kg, hmotnost Jupiteru je 317,9krát vyšší než je hmotnost Země, která je přibližně  $6,0 \cdot 10^{24}$  kg. Vzdálenost Jupiteru od Slunce je přibližně 5,2 au<sup>1</sup>.

*Řešení.*

$$M_{\odot} = 2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}, \quad M_{\text{♃}} = 317,9 \cdot 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}, \quad x_{\text{♃}} = 5,2 \text{ au}, \quad x_{\text{T}} = ? \text{ m}$$

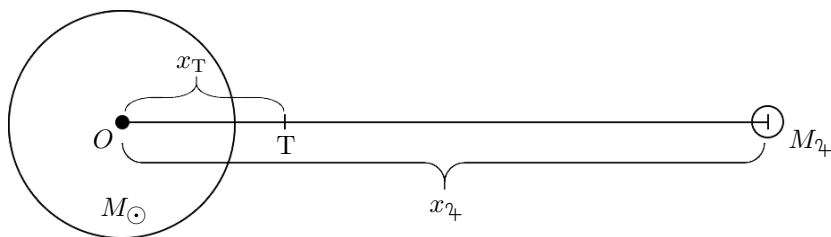
Barycentrum, neboli těžiště dvou těles je možné určit z momentové věty. Pokud osu otáčení, vzhledem ke které budeme určovat moment síly, umístíme do středu Slunce, bude mít momentová věta tvar (obr. 1)

$$(M_{\odot} + M_{\text{♃}}) g x_{\text{T}} = M_{\text{♃}} g x_{\text{♃}}.$$

---

<sup>1</sup>Astronomická jednotka by se podle rezoluce 27. valného shromáždění Mezinárodní astronomické unie měla značit au, nikoli AU.

Na levé straně rovnice je celkový moment síly vzhledem k ose otáčení, která je umístěna ve středu Slunce, ten je roven součtu momentů síly Slunce a Jupiteru vzhledem k ose otáčení procházející středem Slunce. Moment síly Slunce vzhledem k ose procházející Sluncem je nulový, proto je na pravé straně rovnice jen moment síly Jupiteru.



Obr. 1 K určení polohy barycentra

Vzdálenost barycentra od středu Slunce z momentové věty můžeme vyjádřit jako

$$x_T = \frac{M_J x_J}{M_\odot + M_J} = \frac{317,9 \cdot 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot 5,2 \text{ au}}{2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg} + 317,9 \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}}$$

Vzdálenost barycentra od středu Slunce je tak

$$x_T \doteq 0,0050 \text{ au} \doteq 7,4 \cdot 10^8 \text{ m.}$$

Barycentrum tedy leží přibližně 7 % poloměru Slunce nad jeho povrchem.

## Úloha 2

Určete, jak se změní poloha barycentra, pokud budeme uvažovat, že se všechny čtyři obří planety nachází v jedné přímce na svých oběžných drahách. Slunce má hmotnost přibližně  $2,0 \cdot 10^{30}$  kg, hmotnost Jupiteru je 317,9krát vyšší než je hmotnost Země, hmotnost Saturnu ( $\eta$ ) přibližně 95,2krát vyšší než hmotnost Země, hmotnost Uranu ( $\delta$ ) přibližně 14,6krát vyšší a hmotnost Neptunu ( $\zeta$ ) přibližně 17,2krát vyšší než je hmotnost Země, která je přibližně  $6,0 \cdot 10^{24}$  kg. Vzdálenost Jupiteru od Slunce je přibližně 5,2 au, vzdálenost Saturnu přibližně 9,5 au, vzdálenost Uranu přibližně 19,2 au a vzdálenost Neptunu od Slunce je přibližně 30,1 au.

*Řešení.*

$$M_{\odot} = 2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}, \quad M_{\Upsilon} = 317,9 \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}, \quad M_{\text{h}} = 85,2 \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{ kg},$$

$$M_{\text{d}} = 14,6 \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}, \quad M_{\text{v}} = 17,2 \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{ kg},$$

$$x_{\Upsilon} = 5,2 \text{ au}, \quad x_{\text{h}} = 9,5 \text{ au}, \quad x_{\text{d}} = 19,2 \text{ au}, \quad x_{\text{v}} = 30,1 \text{ au}, \quad x_{\text{T}} = ? \text{ m}.$$

Opět sestavíme momentovou větu pro případ, kdy se osa, kolem které se soustava otáčí, nachází ve středu Slunce:

$$(M_{\odot} + M_{\Upsilon} + M_{\odot} + M_{\text{d}} + M_{\text{v}})gx_{\text{T}} = g(M_{\Upsilon}x_{\Upsilon} + M_{\odot}x_{\odot} + M_{\text{d}}x_{\text{d}} + M_{\text{v}}x_{\text{v}})$$

Na levé straně rovnice je celkový moment síly vzhledem k ose otáčení, která je umístěna ve středu Slunce, ten je roven součtu momentů síly Slunce a Jupiteru vzhledem k ose otáčení procházející středem Slunce. Moment síly Slunce vzhledem k ose procházející Sluncem je nulový, proto je na pravé straně rovnice jen moment síly Jupiteru. Vzdálenost barycentra od středu Slunce můžeme vyjádřit z momentové věty:

$$x_{\text{T}} = \frac{M_{\Upsilon}x_{\Upsilon} + M_{\text{h}}x_{\text{h}} + M_{\text{d}}x_{\text{d}} + M_{\text{v}}x_{\text{v}}}{M_{\odot} + M_{\Upsilon} + M_{\text{h}} + M_{\text{d}} + M_{\text{v}}}.$$

Po dosazení hodnot je vzdálenost barycentra od středu Slunce

$$x_{\text{T}} \doteq 0,0098 \text{ au} \doteq 1,5 \cdot 10^9 \text{ m}.$$

Barycentrum tedy leží mimo povrch Slunce, ve více než dvojnásobné vzdálenosti od středu Slunce, než je jeho poloměr.

Obdobně je možné určit i v jaké největší vzdálenosti od středu Slunce se může barycentrum Sluneční soustavy nacházet, pokud budeme uvažovat hypotetickou situaci, kdy se všechny planety nacházejí v jedné přímce. Můžeme si vyhledat střední vzdálenosti planet od středu Slunce a jejich hmotnosti a sestavit momentovou větu, pokud osu otáčení umístíme například do středu Slunce.

Situace popsané v předchozích úlohách jsou pouze hypotetické, mohou však žákům poskytnout představu, v jakém intervalu vzdáleností od středu Slunce se poloha barycentra může pohybovat. Zajímavá může pro žáky být také následná práce s informacemi, kdy si žáci např. můžou ze znalosti oběžných dob planet dopočítat jejich nejmenší společný násobek, aby zjistili, jak často mohou situace předestřené v úlohách nastat. Situace popsaná v druhé úloze, kdy jsou všechny plynní obři v jedné přímce, může například nastat jednou za přibližně 1,21 triliard let (tj.  $1,21 \cdot 10^{21}$  let).

## Složení Sluneční soustavy – její konec

Vzhledem k tomu, že hustota hmoty ani záření není rovnoměrná a ohraničená, existuje pro vymezení konce Sluneční soustavy několik možností. Logické by bylo vytyčit hranici Sluneční soustavy oběžnou drahou Neptuna, tedy do vzdálenosti asi 30 au od Slunce. Druhou možností je konec Sluneční soustavy umístit za nejbzdálenější dráhy dlouhoperiodických komet, tedy do cca 50 000 au. Také se uvádí, že hranicí Sluneční soustavy může být hranice magnetického vlivu Slunce. Oblast tohoto vlivu se nazývá *heliosféra* a její hranice potom heliopauza. Heliosféra sahá cca 110 až 160 au od Slunce. Poslední možností, kterou zde uvádíme je předpokládaný dosah gravitačního působení Slunce, tedy cca 150 000 au.

## Rozdělení těles ve Sluneční soustavě

Sluneční soustava se skládá z velkého množství těles. Kromě Slunce, naší jediné hvězdy, obsahuje osm planet, množství jejich měsíců, v současné době pět trpasličích planet a poté mnoho planetek, komet a meteoroidů. Dále bychom zde mohli nalézt molekuly, ionty, atomy a částice slunečního větru, částice mezihvězdného prostoru, fotony ze Slunce, planet a z jiných hvězd v různém stádiu vývoje, neutrina a jejich antičástice a také elektrické, magnetické a gravitační pole.

Větší tělesa ve Sluneční soustavě můžeme rozdělit na planety, trpasličí planety a malá tělesa. Toto rozdělení bylo odsouhlaseno na 26. valném shromáždění Mezinárodní astronomické unie v roce 2006 v Praze, kde byla přijata i nová definice planety a vytvořena nová skupina trpasličích planet.

Bylo definováno, že planeta je nebeské těleso, které obíhá okolo Slunce, má dostatečnou hmotnost, aby jeho vlastní gravitace překonala vnitřní síly pevného tělesa tak, aby dosáhlo tvaru odpovídajícího hydrostatické rovnováze a toto těleso také muselo v minulosti vyčistit okolí své dráhy.

Podle této definice je ve Sluneční soustavě osm planet – Merkur, Venuše, Země, Mars, Jupiter, Saturn, Uran a Neptun. K nové definici v tomto znění bylo přistoupeno z důvodu nejednoznačnosti té předchozí. V minulosti bylo za planetu považováno Pluto a po svém objevu na začátku 19. století i Ceres. Tento objekt byl za planetu považován až do roku 1850, kdy byl překlasifikován na planetku. Když bylo v roce 2003 objeveno transneptunické těleso Eris, které má rozměry větší než Pluto, stalo se také planetou. Z důvodu narůstajícího počtu planet, kdy hrozilo, že budou objevena i další tělesa, která by po vzoru Pluta byla rovněž zařazena mezi planety, bylo nutné definici upřesnit a počet planet snížit.

Pro tělesa, která sice obíhají okolo Slunce a mají dostatečnou hmotnost, aby jejich gravitace překonala vnitřní síly pevného tělesa, aby dosáhla tvaru odpovídajícího hydrostatické rovnováze, ale na rozdíl od planet nevyčistila okolí své dráhy a zároveň se nejedná o měsíce, byla stanovena nová kategorie – trpasličí planeta. Do této skupiny v současné době spadá pět těles – Ceres, Eris, Haumea, Makemake a Pluto. Několik dalších těles je však považováno za kandidáty, jmenovitě – Sedna, Quaoar, Orcus, Ixion, Varuna a AW 197. Vzhledem k tomu, že si astronomové uvědomovali historický význam Pluta, byla pro něho později vytvořena samostatná kategorie plutoid. Toto těleso oproti definici trpasličí planety obsahuje dodatek, že musí okolo Slunce obíhat ve větší vzdálenosti než je dráha Neptuna. Jedná se tedy o transneptunická tělesa. Do této kategorie kromě Pluta spadá i Eris, Haumea a Makemake.

Ostatní větší tělesa, která se nacházejí ve Sluneční soustavě, jsou řazena mezi malá tělesa Sluneční soustavy. Do této skupiny můžeme zařadit planetky, meteoroidy a komety.

Definice planetky není stanovena tak striktně jako definice planety a trpasličí planety. Planetka je těleso, které nespadá mezi planety ani trpasličí planety. Jde o pozůstatky po formování Sluneční soustavy či o úlomky větších těles. Velikost těchto těles je větší než velikost meteoroidů, pohybuje se od stovek metrů po stovky kilometrů. Obdobně jako planety či trpasličí planety obíhají kolem barycentra Sluneční soustavy, výstřednost jejich drah je však rozmanitější. Nejvíce planetek bylo pozorováno v hlavním pásu mezi drahami Marsu a Jupiteru. Další velké planetky se pak nacházejí za drahou Neptuna. V současnosti je známo přes milion planetek a počet nově objevených se stále zvyšuje.

Zajímavou aplikací mechaniky prvního ročníku, kterou lze trochu rozbít jinak spíše teoretický výklad, může být následující úloha:

### Úloha 3

Jaká může být maximální rotační perioda planetky, při které se ještě neroztrhá odstředivou silou?

*Řešení.* Podmínka rovnováhy pro hmotu v planetce je rovnost velikosti únikové rychlosti  $v_p = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$  a velikosti rychlosti obvodové  $v = \omega_{\text{krit}} r$ . Platí

$$\sqrt{\frac{2GM}{r}} = \omega_{\text{krit}} r.$$

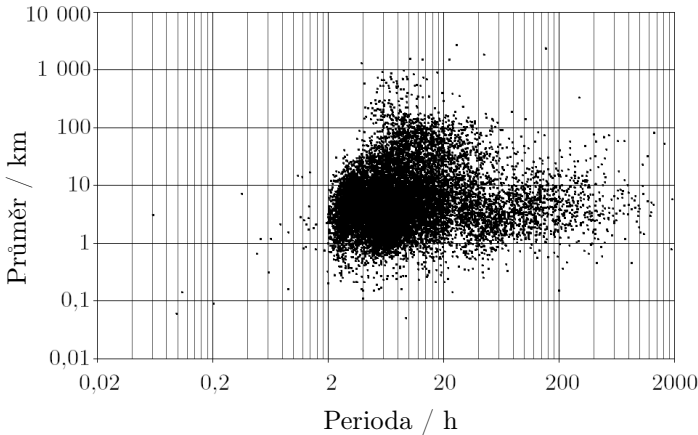
Úpravou pro  $\omega_{\text{krit}}$  získáme:

$$\omega_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{2GM}{r^3}}.$$

Pokud uvážíme, že objem planety je přímo úměrný  $r^3$ , poté můžeme předpokládat, že je podíl  $M/r^3$  úměrný hustotě planety  $\varrho$

$$\omega_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{2GM}{r^3}} \sim \sqrt{\varrho}.$$

Určili jsme, že úhlová rychlost planety  $\omega_{\text{krit}}$ , a podle vztahu  $\omega_{\text{krit}} = \frac{2\pi}{T}$  ani perioda planety  $T$ , nezávisí na rozměrech tělesa, ale  $T$  je přímo úměrná  $\frac{1}{\sqrt{\varrho}}$ . Pokud se podíváme na obr. 2 zjistíme, že většina planetek (bez ohledu na průměr) má skutečně velmi podobnou periodu rotace.



Obr. 2 Rotační periody planetek (upraveno podle [5])

Při výkladu o meteoroidech je důležité žákům vysvětlit i pojmy jako meteor, bolid, meteorit a tektit. Meteoroid je podle definice IAU z roku 2017 pevné přírodní těleso, jehož velikost je přibližně 30 mikrometrů až přibližně 1 metr. Toto těleso se pohybuje v meziplanetárním prostoru nebo z něj pochází. Meteoroidy vznikají většinou srážkami větších těles, ať už komet či větších planetek. Pokud se meteoroid dostane do blízkosti většího tělesa, například planety, může její gravitační působení změnit dráhu meteoroidu a může tak dojít k jeho vniku do atmosféry. Pokud k této

situaci dochází na Zemi, částice vzduchu v atmosféře meteoroid rozžhavlí a pokud se jedná o malé těleso, vypaří se. Světlo vzniklé při tomto jevu je velmi slabé a nebylo by vidět, v okolí tělesa však vzniká válec ionizovaného vzduchu, který při rekombinaci atomů září. Tento světelný jev nazýváme meteor. Tato meteorická stopa mívá průměr několik desítek až stovek metrů a výjimečně bývá viditelná i několik minut po průletu. Pokud meteor září jasněji než Venuše na noční obloze, nazýváme ho bolid. Pokud meteoroid při průletu atmosférou nezanikne, dopadá na Zemi v podobě meteoritu. Podle složení můžeme meteority rozdělit na aerolity (kamenné meteority), siderity (železné meteority) a siderolity (přechodný typ mezi kamenným a železným meteoritem). Podle odhadů na Zemi ročně dopadá 5 000 až 17 000 tun meteoritů. Přes 90 % meteoritů, které jsou nalezeny bezprostředně po dopadu, jsou kamenné, z dodatečně nalezených je však většina železných. Siderity se totiž daleko snáze odlišují od okolního terénu. Kamenné meteority navíc postupem času zvětrávají a rozpadají se. Železné meteority jsou oproti tomu odolné a je možné je nalézt i staletí po dopadu. Při dopadu meteoritů můžeme pozorovat jamky, jámy, či meteorické krátery. Roztavením a rozhozením hornin v okolí vznikají tektity. Mezi ty patří i vltavíny, které vznikly při pádu meteoritu v Bavorsku před 14,8 miliony let. Tyto teoretické informace lze podpořit např. následující úlohou.

#### Úloha 4

Na Wikipedii [6] se píše, že rychlost tělesa při vstupu do atmosféry Země je obvykle přes  $20 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , přičemž nejvyšší rychlost může být přibližně  $71 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ . Proč tomu tak je?

*Řešení.* Pokud by se jednalo o asteroid (planetku) se zanedbatelnou rychlostí, Země si těleso gravitačně přitáhne a dopadová rychlost tělesa by byla rovna únikové rychlosti ze Země. Proč tomu tak je?

$$v_p = \sqrt{\frac{2GM_Z}{R_Z}}.$$

Po dosazení hmotnosti Země  $M_Z = 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$  a zemského poloměru  $R_Z = 6\,378 \text{ km}$ , získáme

$$v_p = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \cdot 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{6\,378 \cdot 10^3 \text{ m}}},$$

$$v_p \doteq 11 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}.$$



Kdyby se jednalo o úlomek komety, měl by tento úlomek stejnou rychlost, jako kometa. Maximální rychlost komety prolétající kolem Země určíme ze vztahu

$$v_p = \sqrt{\frac{2GM_\odot}{r}},$$

kde  $M_\odot$  je hmotnost Slunce ( $M_\odot \doteq 2,0 \cdot 10^{30}$  kg) a  $r$  je vzdálenost komety v blízkosti Země od Slunce, což je 1 au  $\doteq 1,5 \cdot 10^{11}$  m. Po dosazení získáme

$$v_p = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}}{1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}}} \doteq 42 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Proč by tedy maximální rychlost vstupu úlomku do atmosféry měla být  $71 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ? Je tomu tak proto, že Země se kolem Slunce pohybuje rychlostí  $29 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  (tuto skutečnost můžete jednoduše ověřit). Proto, pokud úlomek do atmosféry vletí ve směru rotace Země, získáme

$$v = 42 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} + 29 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} = 71 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Pokud úlomek do atmosféry vletí v opačném směru, proti směru rotace Země, získáme:

$$v = 42 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} - 29 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} = 13 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Dalšími tělesy, která se řadí mezi malá tělesa ve Sluneční soustavě patří komety. Tato tělesa se obvykle pohybují po eliptických drahách s velkou výstředností kolem Slunce. Při přiblížení ke Slunci komety výrazně mění svůj vzhled, na opačné straně než se Slunce vzniká ohon, který má velikost až  $10^7$  km. Příčinou jeho vzniku je Slunce, to zahřívá jádra komet a kolem nich tak vznikají řídké atmosféry. Tyto tzv. komy mají poloměr asi  $10^4$  km. Jádra komet mají rozměr v řádu kilometrů a jejich hmotnost se pohybuje mezi  $10^{13}$  až  $10^{15}$  kg.

Zajímavá může být pro žáky informace, že i když většina těles ve Sluneční soustavě obíhá ve stejném, prográdním směru (při pohledu ze severního pólu Slunce proti směru hodinových ručiček), existují tělesa, která obíhají v opačném, retrográdním směru. Tato retrográdní rotace naznačuje, že se tělesa na oběžnou dráhu Slunce dostala až v době, kdy už byla Sluneční soustava plně vytvořena a gravitační síla Slunce tělesa zachytila a ta začala obíhat v opačném směru. K podobné situaci došlo i v případě měsíců planet, která obíhají v opačném směru. Příkladem retrográdních

oběžnic jsou některé komety (např. Halleyova kometa), některé měsíce planety Jupiter, Saturn či Neptun, nebo měsíc trpasličí planety Pluto Charón. Zajímavým faktem také je, že i když všechny planety obíhají v prográdním směru, planeta Venuše má retrográdní rotaci, která je zřejmě způsobena srážkou s hmotným tělesem, ke které v minulosti došlo. Vzhledem k nepřirozenosti této rotace vzhledem ke směru oběhu je den na planetě delší než její rok. Rovněž planeta Uran rotuje v retrográdním směru, ovšem pouze těsně, sklon její rotační osy je  $98^\circ$ . Uran se tak na své oběžné dráze okolo Slunce valí podobně jako bowlingová koule po dráze. Tento pohyb způsobuje, že sluneční svit dopadá na severní a jižní polokouli střídavě – po 42 let je vždy jeden z pólů ve stínu.

## Závěr

V tomto článku jsme chtěli jednak poukázat na některé terminologické speciality rozdělení těles ve Sluneční soustavě a jednak uvést typové úlohy, které mohou být použity ve výuce fyziky Sluneční soustavy a také uvést některé zajímavosti, které mohou pomoci učitelům ve výkladu.

## Literatura

- [1] *Dvořák, L., Dvořáková, I., Koudelková, V. (eds.):* K problematice fyzikálního vzdělávání na ZŠ a SŠ v ČR před revizemi RVP. Podkladová studie k revizi rámcových vzdělávacích programů. Národní ústav pro vzdělávání a Fyzikální pedagogická společnost, pobočný spolek Jednoty českých matematiků a fyziků. Praha, 2018. Dostupné online: <http://www.nuv.cz/file/3514/>.
- [2] *Štefl, V.:* Komety ve výuce fyziky na středních školách. MFI, roč. 26, č. 2 (2017), s. 107–119. Dostupné z: <http://www.mfi.upol.cz/index.php/mfi/article/view/326>.
- [3] *Štefl, V.:* Keplerovy zákony ve výuce fyziky na střední škole. MFI, roč. 27, č. 4 (2018), s. 278–288. Dostupné z: <http://mfi.upol.cz/index.php/mfi/article/view/326>.
- [4] *Štefl, V.:* Nejkrásnější planeta sluneční soustavy Saturn v úlohách. MFI, roč. 23, č. 1 (2014), s. 27–40. Dostupné z: <http://mfi.upol.cz/index.php/mfi/article/view/109>.
- [5] *Wikipedia contributors:* List of fast rotators (minor planets). In: Wikipedia. [cit. 202-7-28]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List\\_of\\_fast\\_rotators\\_\(minor\\_planets\)&oldid=1100939442](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List_of_fast_rotators_(minor_planets)&oldid=1100939442).
- [6] *Wikipedia contributors:* Meteorit [online]. In: Wikipedia [cit. 2021-9-29]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Meteorit>.