Antigravitace a její projevy, aneb platí zákon zachování energie?

Část 1

Michal Křížek

Matematický ústav AV ČR, v. v. i., Žitná 25, 115 67 Praha 1; krizek@cesnet.cz

Na řadě konkrétních příkladů ukážeme, že se sluneční soustava i galaxie velice pozvolna rozpínají rychlostí řádově srovnatelnou s Hubbleovou konstantou. To je samozřejmě v rozporu se zákonem zachování energie. Dále ukážeme, co by mohlo být zdrojem skryté energie způsobující toto rozpínání i zrychlující se rozpínání celého vesmíru.

Důležité revoluce ve fyzice (Newtonova teorie gravitace, speciální teorie relativity, kvantová mechanika aj.) přišly v době, kdy někteří badatelé našli odvahu vymanit se ze zajetých kolejí a podívali se na přírodní jevy a naměřená data poněkud jiným pohledem. Tento článek rozvíjí alternativní hypotézu o možnosti expanze vesmíru na úrovni sluneční soustavy. Vychází z přirozeného předpokladu, že pokud se vesmír rozpíná globálně zhruba rovnoměrně, musí se rozpínat i lokálně.

O „platnosti“ fyzikálních zákonů se přesvědčujeme pomocí měření. Absolutně přesné měřicí přístroje však zkonstruovat nelze. Tedy ani nemůžeme přesně ověřit, že obecně přijímané zákony (jako např. zákon zachování energie, zákon zachování momentu hybnosti) platí na libovolný počet desetinných míst. Zákon zachování energie patří mezi základní pilíře, na nichž stojí současná fyzika. Newtonova teorie gravitace je zformulována tak, aby byl zákon zachování energie splněn naprosto přesně. Jak je to ale v reálném světě, který Newtonova teorie či teorie relativity jen modelují? K zodpovězení této otázky použijeme široký interdisciplinární přístup. Uvedeme více než 10 konkrétních příkladů, které ilustrují, proč zákon zachování energie neplatí zcela přesně. Nejprve předložíme řadu astrobiologických, astronomických, geometrických, geofyzikálních, geochronometrických, heliofyzikálních, klimatologických, paleontologických a observačních argumentů, které ukazují, že se sluneční soustava pozvolna rozpíná rychlostí cca 5 m $\mathrm{yr}^{-1}\mathrm{au}^{-1}$ a že tak významné rozpínání nelze vysvětlit ani úbytkem sluneční hmoty ani slunečním větrem ani slapovými silami. To je samozřejmě v rozporu s Keplerovými zákony, a tudíž i se zákonem zachování energie, uvážíme-li, že sluneční soustava je dostatečně izolována od gravitačního vlivu sousedních hvězd. Např. nejbližší hvězda (kromě Slunce) Proxima Centauri působí na Zemi cca milionkrát menší gravitační silou než Venuše.

Někteří autoři tvrdí (viz např. [4, 5]), že se skrytá (někdy též nazývaná temná) energie ve sluneční soustavě nikterak neprojevuje. V příštím pokračování článku ukážeme, kde se dopouštějí chybné úvahy. Uvedeme též další argumenty ukazující, že se sluneční soustava i samotné galaxie (včetně té naší) pozvolna rozpínají. Vysvětlíme také, odkud se na to a na zrychlenou expanzi celého vesmíru bere energie. V článcích [11–13] vyslovujeme domněnku, že jednou z možných příčin je tzv. *gravitační aberace*, která je důsledkem kauzality a konečné rychlosti šíření gravitační interakce.

Zdánlivou sílu, která způsobuje pozvolné rozpínání Sluneční soustavy i dalších gravitačně vázaných systémů, nazveme *antigravitace*. Uvidíme, že na malých i velkých časových i prostorových škálách lze pozorovat její projevy, pokud ovšem nejsou rušeny jinými jevy (rezonancemi, silnými elektromagnetickými poli apod.). Antigravitace není žádná nová pátá síla, ale jen vedlejší projev síly gravitační způsobený konečnou rychlostí šíření gravitační interakce, kterou předpokládá obecná teorie relativity.

Rozpínání sluneční soustavy

Koncem minulého století astronomové zjistili, že vesmír je vyplněn jakousi skrytou energií, která je rozprostřena poměrně rovnoměrně a svými antigravitačními účinky způsobuje jeho zrychlující se rozpínání [8, 24]. Rychlost této expanze je dána Hubbleovou konstantou (parametrem), jejíž velikost podstatně závisí na množství skryté energie. Současná hodnota Hubbleovy konstanty přepočtená na střední vzdálenost Slunce-Země, tj. jedné astronomické jednotky[1]

$$1\ \mathrm{au} = 149\,597\,870\,700\ \mathrm{m} \approx 150 \cdot 10^9\ \mathrm{m}, \tag{1}$$

je (viz [11–13])

$$H_0 \approx 2{,}3 \cdot 10^{-18}\ \mathrm{s}^{-1} \approx 70\ \mathrm{km\,s^{-1}\,Mpc^{-1}} \approx 10\ \mathrm{m\,yr^{-1}\,au^{-1}}. \tag{2}$$

Odtud vidíme, že 1 m^3 prostoru se zvětší v průměru o 0,2 mm^3 za rok, protože

$$\left(1+\frac{10}{150 \cdot 10^9}\right)^3 \approx 1+3\frac{10}{150 \cdot 10^9} = 1+0{,}2 \cdot 10^{-9}. \tag{3}$$

Hodnoty vystupující v (2) a (3) jsou poměrně velké, a proto by se vliv skryté energie měl projevit i ve Sluneční soustavě. Z našeho pohledu neexistuje žádný důvod, proč by se skrytá energie měla nějakým způsobem vyhýbat sluneční soustavě či naší Galaxii. V následujících příkladech si ukážeme, že se sluneční soustava rozpíná rychlostí řádově srovnatelnou s Hubbleovou konstantou (2), i když obvykle o něco menší (viz např. (9), (15), (16) a (21)). V kapitole o Zemi ukážeme, že

$$R'/R \approx 0{,}5 H_0, \tag{4}$$

kde $R = R(t)$ je střední vzdálenost Země od Slunce v čase t a čárka označuje časovou derivaci.

Připustíme-li působení skryté energie ve sluneční soustavě, pak snadno vysvětlíme celou řadu záhad, jako např. paradox mladého horkého Slunce [16], zformování Kuiperova pásu komet a Neptunu [1], existenci řek na Marsu i existenci jeho měsíce Phobosu, paradox slapových sil Měsíce [26], paradox velkého orbitálního momentu Měsíce či Tritonu, migraci planet, pomalou rotaci Merkuru a neexistenci jeho měsíců aj.

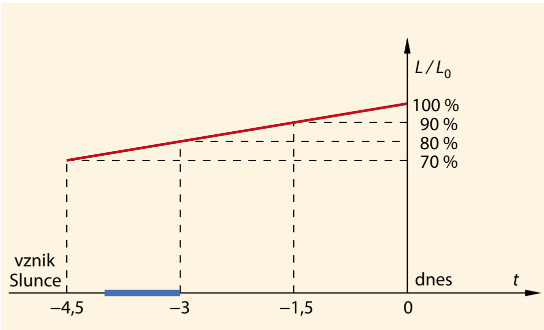
Byl Mars blíže Slunci, když na něm tekly řeky?

Množství sluneční energie dopadající za 1 s na plochu 1 m^2 kolmo k paprskům ve vzdálenosti 1 au je rovno *sluneční konstantě*

$$L_0 = 1{,}36\ \mathrm{kWm^{-2}}. \tag{5}$$

Protože Slunce je hvězdou hlavní posloupnosti Hertzsprungova-Russellova diagramu, před 4,5 miliardami let byl jeho zářivý výkon (luminozita) zhruba jen 70 % dnešní hodnoty [15], a pak narůstal přibližně lineárně (viz obr. 1). Z počtu kráterů ve vyschlých řečištích

1 Tato definice astronomické jednotky byla přijata na 28. valném shromáždění Mezinárodní astronomické unie v Pekingu v srpnu 2012. Původně udávaná hodnota 1 AU = 149 597 870 691 m byla tedy navýšena o 9 metrů.



Obr. 1 Relativní luminozita L/L_0 Slunce od vzniku sluneční soustavy až po dnešek. Čas je uveden v miliardách let.

Obr. 2 Před 3÷4 miliardami let tekly na Marsu řeky, dno bývalého moře je vpravo dole, střed oblasti 175 × 125 km^2 se nalézá na 42,3° jižní marsovské šířky a 92,7° západní délky (*foto NASA*).

na Marsu (viz obr. 2) se odhaduje, že na něm tekla voda před 3÷4 miliardami let (viz [9] a tučně vyznačený interval na časové ose obr. 1). V té době byl výkon Slunce přibližně 75 % dnešní hodnoty. Protože tok energie ze Slunce klesá se čtvercem vzdálenosti, odpovídající sluneční konstanta pro Mars byla jen

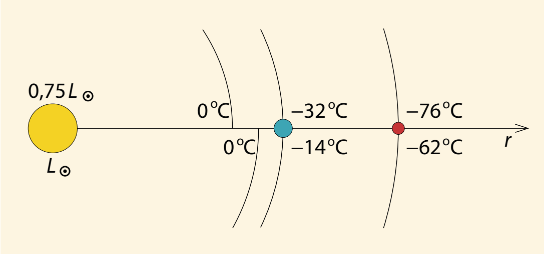
$$L_{Mars} = 0{,}75 L_0 \frac{150^2}{225^2} = \frac{L_0}{3} \tag{6}$$

za předpokladu, že Mars byl v průměru vzdálen od Slunce r = 225 milionů km, jako je nyní. Třikrát menší hodnota L_{Mars}, než je hodnota sluneční konstanty L_0, však jen těžko může vysvětlit existenci stovek vyschlých řečišť, která jsou na Marsu zejména mezi jeho −50. a 50. rovnoběžkou (viz [30]). Představme si na okamžik, že bychom na Zemi měli trvale dvoutřetinové zatmění Slunce. To bychom se asi moc neohřáli. Dlouhodobý pokles slunečního svitu o pouhá 2 % způsoboval v minulosti na Zemi doby ledové, i když zde byl skleníkový efekt. Enormní pokles slunečního svitu o 66,6 % (viz (6)) existenci řek na Marsu vylučuje, pokud by Mars byl stále na stejné dráze. Jeho povrch by byl totálně zmrzlý. Podle [22] byl však na severní polokouli Marsu dokonce obrovský tekutý oceán. V této oblasti nejsou téměř žádné krátery.

Podívejme se nyní podrobněji na situaci na Marsu z hlediska Stefanova-Boltzmannova zákona. Intenzita vyzařování černého tělesa (Slunce) je rovna $\sigma T^4 = L_\odot/(4\pi r^2)$, kde $\sigma = 5{,}669 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{Wm^{-2}K^{-4}}$ je Stefanova-Boltzmannova konstanta, T je rovnovážná teplota, $L_\odot = 3{,}846 \cdot 10^{26}$ W je celkový sluneční výkon a r je vzdálenost od Slunce. Protože povrch Marsu je 4krát větší než jeho maximální průřez, rovnovážná teplota na jeho povrchu je dána vztahem [2]:

$$T_{\mathrm{Mars}} \approx [(1 - A)L_\odot/(16\sigma\pi r^2)]^{1/4} = 211\ \mathrm{K}, \tag{7}$$

kde A = 0,25 je současná hodnota Bondova albeda (odrazivosti). V tomto případě se absorbovaná sluneční energie rovná energii emitované. Vidíme, že teoretická teplota uvedená v (7) dobře odpovídá průměrné současné celodenní i celoroční teplotě ≈ −60 °C, kterou naměřily sondy Viking, Pathfinder aj. Když ovšem byla luminozita Slunce jen 75 % dnešní hodnoty (viz obr. 1), ze vztahu (7) dostaneme rovnovážnou teplotu pouze T_{Mars} = 197 K. Pro tak nízkou hodnotu však skleníkový efekt jen těžko zaručí, aby se průměrná celodenní teplota přiblížila alespoň k bodu mrazu, i když Mars měl v minulosti podstatně hustší atmosféru (kterou ztratil



Obr. 3 Rovnovážná teplota podle Stefanova-Boltzmannova zákona (7) pro albedo $A = 0,25$. Teploty v horní části obrázku odpovídají někdejší luminozitě 0,75 $L_{\odot}$ a v dolní části obrázku odpovídají dnešní luminozitě $L_{\odot}$. Poloměry jednotlivých kružnic jsou po řadě 117, 134, 150 a 225 milionů km. Slunce je žluté, Země modrá a Mars červený.

v důsledku nízké gravitace). Například pro Zemi, kde je současná průměrná teplota kolem 15 °C, způsobuje skleníkový efekt přibližně jen 29 stupňů (srov. teplotu u Země na obr. 3). Navíc Mars musel mít kdysi vyšší albedo, protože v jeho atmosféře kroužila oblaka, ze kterých pršelo či sněžilo, aby mohly vzniknout mohutné řeky, jejichž koryta jsou často širší, než jaká máme na Zemi.

Pro luminozitu 0,75 $L_{\odot}$ ze vztahu (7) plyne, že rovnovážná teplota 273,15 K (= 0 °C bod mrazu) odpovídá vzdálenosti $r = 117$ milionů km, což je o 108 milionů km méně, než je současná průměrná vzdálenost Marsu od Slunce. Spolu se všemi výše uvedenými argumenty vidíme, že Mars musel být kdysi o desítky milionů km blíže ke Slunci, než je nyní, aby na něm mohly téci řeky (srov. obr. 4) po dobu jedné miliardy let. To ale odpovídá průměrné rychlosti vzdalování Marsu od Slunce o několik metrů ročně během několika posledních miliard let (srov. s (2)). Kdyby byl Mars při svém vzniku vzdálen od Slunce kupříkladu 180 milionů km, pak by jeho průměrná rychlost vzdalování byla 10 m za rok.

Byla také Země kdysi blíže Slunci?

Nejprve připomeňme *paradox mladého horkého Slunce* [16]: Mysleme si na okamžik, že Země byla při svém zrodu vzdálena od Slunce cca 1 au, jako je nyní. Aby Země nebyla zcela zmrzlá a mohl se na ní vyvíjet život, muselo být Slunce při svém vzniku přibližně horké tak, jako je nyní. To však není v souladu s tím, že Slunce (jakož i ostatní hvězdy hlavní posloupnosti HR diagramu) mělo při svém vzniku menší zářivý výkon (srov. obr. 1).

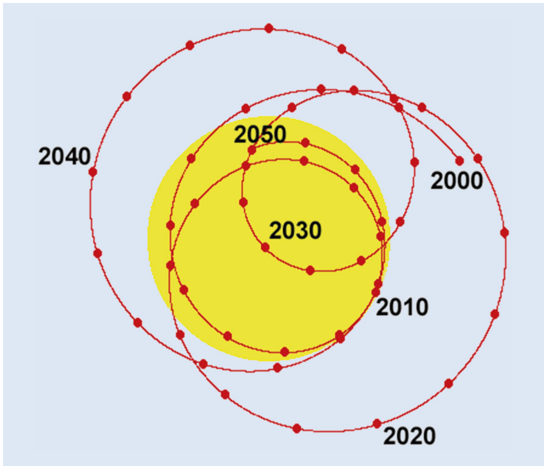
Obr. 4 Písek s oblázky – další důkaz toho, že na Marsu tekly řeky, nedávno poskytla sonda Curiosity. Plánovaně přistála v místech, o kterých se předpokládá, že tam kdysi proudila voda (foto NASA).

Pokud byl Mars podstatně blíže Slunci o desítky milionů km (viz předchozí kapitola), musela být blíže i naše Země. Jinak by totiž v minulosti docházelo k jejich blízkým setkáním a jejich dráhy by nebyly dlouhodobě stabilní. Nyní uvedeme další tři nezávislé argumenty a)–c) ukazující, že Země byla kdysi blíže Slunci a že jejich průměrná vzdálenost narůstá rychlostí několika metrů za rok. Připustíme-li, že je to díky skryté energii, přestane být paradox mladého horkého Slunce záhadou.

a) Rozpínání ekosféry zajišťující konstantní přísun sluneční energie

Zatím bohužel neumíme změřit průměrnou rychlost vzdalování Země od Slunce s přesností řádově metr za rok, protože poloha těžiště sluneční soustavy se mění o statisíce km ročně v důsledku gravitačního působení velkých planet – viz obr. 5. Proto budeme sledovat velice dlouhý časový interval 3,5 miliardy let existence života na Zemi.

K zajištění příznivých podmínek pro život na Zemi je v současnosti nutné, aby zářivý výkon Slunce byl nejvýše o 5 % větší nebo menší než L_0 (viz (5)). Takovému



Obr. 5 Schematické znázornění polohy newtonovského těžiště sluneční soustavy vzhledem ke Slunci v období 2000–2050. Průměr Slunce je téměř 1,4 milionu km. Těžiště se posune zhruba o 1 000 km za den.

mezikruží (popř. kulové vrstvě) se říká *ekosféra*. Protože zářivý výkon klesá se čtvercem vzdálenosti, její poloměry jsou $(0,95)^{1/2}$ au a $(1,05)^{1/2}$ au, což odpovídá velice úzkému intervalu 145,8÷153,3 milionu km. Kdyby se eliptická dráha Země dlouhodobě dostala mimo tuto oblast, mělo by to katastrofální důsledky pro život na naší planetě. Snížení zářivého výkonu Slunce o více než 5 % by způsobilo celkové zalednění naší planety. Na druhé straně už při teplotách nad 57 °C dochází k rozpadu některých sekvencí DNA mnohobuněčných organismů.

Doba, kdy se na Zemi objevil život (tj. před 3,5 miliardy let), odpovídá výkonu Slunce kolem 77 % dnešní hodnoty (viz obr. 1). Pro zabezpečení příznivého klimatu pro dlouhodobý vývoj života, kdy je nutná voda v kapalném skupenství, byla Země patrně o desítky milionů kilometrů blíže ke Slunci. To je také v souladu s tím, že před 3,5 miliardy let byla teplota oceánů kolem 80 °C, a pak pozvolna klesala. Podle [17] to dokazují fosilie termofilních bakterií po celé zeměkouli, které se množí pouze při vysokých teplotách. Tak vysoké teploty (srov. obr. 3) lze jen těžko vysvětlit jiným složením atmosféry, vyšší vulkanickou činností či dopady vesmírných těles,

» Na prvohorních korálech lze vysledovat, jak dlouhý byl kdysi lunární měsíc. «

když mělo Slunce pouze 77 % dnešního výkonu (viz obr. 1). Např. velké bombardování asteroidy a kometami ustalo již před 3,8 miliardy let. Radioaktivní látky jistě také přispívaly k vyšší teplotě během několika prvních stovek milionů let existence Země, kdy se rozpadaly prvky s relativně krátkým poločasem rozpadu. Za první miliardu let však Země dostatečně vychladla. V současnosti je tepelný tok ze Země menší než 0,1 W/m^2. Před 3,5 miliardy let mohl být přibližně o řád větší (což je zanedbatelné ve srovnání s (5)), protože poločasy rozpadů současných přirozených radioaktivních izotopů ^{40}K, ^{232}Th, ^{235}U a ^{238}U jsou řádově miliardy let [6].

Pro rozvoj života byly tedy zapotřebí velice stabilní podmínky po dobu 3,5 miliardy let, i když výkon Slunce narůstal přibližně podle obr. 1. Pro průměrnou rychlost vzdalování Země od Slunce

$$v = 5{,}2 \text{ m za rok} \qquad (8)$$

lze snadno ověřit [14], že by Země dostávala téměř konstantní přísun energie (srov. (5))

$$L(t) \approx 1{,}36 \pm 0{,}005 \text{ kW m}^{-2}$$

pro všechna t z intervalu dlouhého 3,5 miliardy let, tj. po celou dobu existence života. V tomto smyslu je rychlost (8) optimální. Netvrdíme však, že se Země vzdaluje právě touto rychlostí, ale rychlostí řádově srovnatelnou s (8). Rychlost (8) však odpovídá podle vztahu (2) rychlosti rozpínání (srov. (4))

$$h = 0{,}52 H_0. \qquad (9)$$

Skrytá energie tak svými antigravitačními účinky způsobila sekulární migraci naší planety o metry za rok, aby trvale zůstávala uvnitř rozpínající se ekosféry (viz obr. 6). Pokud by antigravitace nepůsobila, existovalo by jen poměrně krátké období zaručující vhodné podmínky pro vývoj života na zeměkouli. Inteligentní život by se nestačil rozvinout díky neustálému růstu teploty (srov. obr. 1 a [13]). Rychlost (8) nebo jí blízká navíc zaručuje velice stabilní podmínky na Zemi ($L(t) \approx$ konst.) po dobu několika následujících miliard let. Na druhé straně, skrytá energie a snížení atmosférického tlaku na Marsu způsobily, že Mars ekosféru opustil.

b) Analýza přírůstků fosilních korálů ze slunečních dat

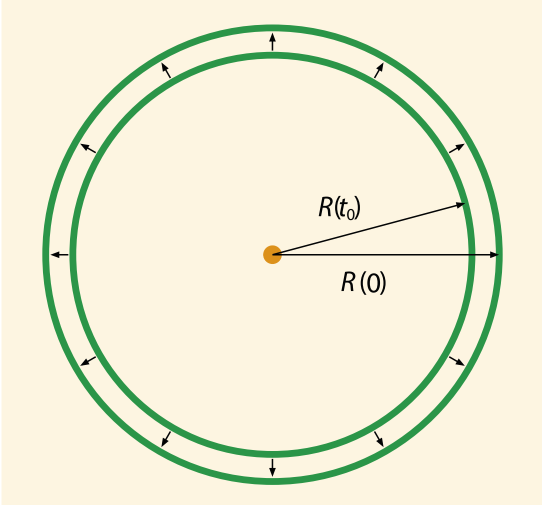
Současná hodnota siderického roku je

$$Y = Y(0) = 31\,558\,149{,}54 \text{ s} = 365{,}256\,36 \cdot 24 \cdot 3\,600 \text{ s}. \qquad (10)$$

Jeho délka v minulosti je dána vztahem

$$Y(t) = n(t)(24 \cdot 3\,600 + f(t)t) \text{ pro } t < 0, \qquad (11)$$

kde t je čas v rocích, $t = 0$ odpovídá současnosti, $f = f(t) > 0$ charakterizuje nárůst délky dne v sekundách během roku v důsledku zpomalování zemské rotace a $n(t)$ je počet dní v roce, který lze dobře odhadovat z paleontologických dat. Každý korál totiž během dne naroste o několik mikronů, v létě více, v zimě méně. Pokud vyšetřujeme data pro několik po sobě jdoucích let (např. v [21] se vyšetřují vrstvy, které narostly během dvanácti let), umožňuje nám to minimalizovat chybu určení počtu dní v roce. Stovky takových vzorků fosilních korálů byly analyzovány pomocí mikroskopu například v [29]. Nejvíce dat je nashromážděno pro $\tau = -370 \cdot 10^6$ let odpovídajících devonu, pro něž byla nalezena přibližná hodnota $n(\tau) = 405$ dní, které ovšem byly kratší než dnešní dny. Rovněž Wells v padesát let



Obr. 6 Schematické znázornění rozpínání ekosféry během posledních 3,5 miliardy let, kde $R(t_0) = 1{,}3 \cdot 10^{11}$ m, $R(0) = 1{,}5 \cdot 10^{11}$ m a $t_0 = -3{,}5$ Gyr.

starém průkopnickém článku [27] uvádí, že v devonu měl rok kolem 400 dní.

Rotaci Země brzdí slapové síly Měsíce a Slunce, které klesají se třetí mocninou vzdálenosti. Protože kdysi byl Měsíc blíže Zemi a Země blíže Slunci, je funkce f klesající. Podle [29, s. 4014] je $f(\tau) = 2{,}6 \cdot 10^{-5}$ s za rok, zatímco současná hodnota je $f(0) = 1{,}7 \cdot 10^{-5}$ s za rok. Historie zpomalování rotace Země (paleorotace) se vyšetřuje též v [21, 28] aj. Dosadíme-li předchozí data do (11), dostaneme

$$Y(\tau) = 405(24 \cdot 3\,600 - 2{,}6 \cdot 10^{-5} \cdot 370 \cdot 10^6) = 405 \cdot 76\,780 = 31\,095\,900 \text{ [s]}, \qquad (12)$$

to znamená, že v devonu měl den jen 76 780 sekund (≈ 21,327 hodiny).

Označme $R(t)$ jako velikost hlavní poloosy zemské dráhy v čase t. Na krátkých časových intervalech popisuje 3. Keplerův zákon

$$R^3(t)/Y^2(t) = GM_\odot/(4\pi^2) \qquad (13)$$

realitu docela přesně. Zde $G = 6{,}673 \cdot 10^{-11}$ m^3 kg^{-1} s^{-2} je gravitační konstanta a

$$M_\odot = 1{,}989 \cdot 10^{30} \text{ kg} \qquad (14)$$

hmotnost Slunce. Dnešní hodnota $M_\odot$ se od hodnoty v devonu liší jen 0,003 % (viz (17) níže). Dosazením z (12) do (13) dostaneme pro délku hlavní poloosy v devonu hodnotu

$$R(\tau) = 148{,}1 \cdot 10^9 \text{ m}.$$

Průměrná rychlost vzdalování Země od Slunce pak podle (1) vychází

$$v = (R(\tau) - R(0))/\tau = 4 \text{ m/yr},$$

což je rychlost poměrně blízká hodnotě uvedené v (8), a podle (2) odpovídá rychlosti rozpínání

$$h = 0{,}4 H_0. \qquad (15)$$

c) Analýza přírůstků fosilních korálů z měsíčních dat

Na prvohorních korálech lze také vystopovat, jak byl kdysi dlouhý lunární měsíc, a odtud odvodit délku siderického měsíce $P(t)$ a to, kolik siderických měsíců $s(t)$ bylo v jednom roce. Přitom dnešní hodnoty jsou $P(0) = 27{,}322$ dne, $s(0) = 13{,}368$ a počet siderických měsíců je roven počtu lunárních měsíců zvětšených o jedničku.

V kambriu byl Měsíc asi o 20 000 km blíže Zemi (při průměrné rychlosti vzdalování 4 cm/yr extrapolované z [7]), a tak při úplňku svítil více než dnes. Rozdíly intenzity měsíčního svitu mezi úplňkem a novem jsou na některých vzorcích dobře pozorovatelné. Tak se například zjistilo, že v kambriu (pro $\tau = -500$ milionů let) bylo $s(\tau) = 14{,}2$ siderického měsíce. Délka jednoho roku v čase t je zřejmě

$$Y(t) = s(t)P(t),$$

kde na výpočet periody $P(t)$ lze opět použít 3. Keplerův zákon a rychlost vzdalování Měsíce od Země (podrobnosti viz [14]). Důkladnou analýzou lunárních dat stovek vzorků fosilních korálů se zjistilo (viz [29, s. 4013–4016]), že střední rychlost vzdalování Země od Slunce je

$$h = 0{,}57 H_0. \quad (16)$$

Eliminace dalších možností způsobujících významné vzdalování Země od Slunce

Podle [19] Slunce ztrácí každým rokem asi $1{,}815 \cdot 10^{17}$ kg své hmotnosti v důsledku termonukleárních reakcí, které zprostředkovaně způsobují také sluneční vítr, elektromagnetické záření, výrony plazmy aj. Odtud a z (14) plyne, že

$$(M_\odot)'/M_\odot = -\,9{,}13 \cdot 10^{-14}\ \mathrm{yr}^{-1}. \quad (17)$$

Podle [19] poloměry drah planet expandují ve stejném poměru. Země se tedy v důsledku úbytku hmotnosti Slunce od něj vzdaluje průměrnou rychlostí $9{,}13 \cdot 10^{-14}\ \mathrm{yr}^{-1} \cdot 1\ \mathrm{au} = 0{,}014$ m za rok, což dává o více než dva řády menší rychlost rozpínání, než uvádíme v předešlé kapitole (srov. např. (8)).

Tlak slunečního záření na Zemi také nedokáže vysvětlit významnou rychlost vzdalování Země od Slunce. Energie, která k nám ze Slunce za rok přijde, je rovna

$$E = SYL_0 = 5{,}4 \cdot 10^{24}\ \mathrm{J},$$

kde $S = 1{,}28 \cdot 10^{14}\ \mathrm{m}^2$ je maximální průřez Země, Y je délka roku z (10) a L_0 je sluneční konstanta z (5). To odpovídá celkovému impulzu $p = E/c = 1{,}8 \cdot 10^{16}$ kg m/s, kde c je rychlost světla. Kdyby Země všechny sluneční fotony pohltila, dostaneme opět poměrně malou rychlost vzdalování

$$v = p/m = 0{,}095\ \mathrm{m/yr},$$

kde

$$m = 5{,}97 \cdot 10^{24}\ \mathrm{kg} \quad (18)$$

je hmotnost Země.

Slapové síly rovněž neumožňují vysvětlit významné vzdalování Země od Slunce. Rotace Země se zpomaluje v důsledku slapových sil Měsíce (cca 68,5 %), ale i Slunce (cca 31,5 %), viz [3]. Přitom slapové síly od Slunce ubývají se třetí mocninou vzdálenosti Země od Slunce. Odtud lze odvodit, že vzdálenost Země–Slunce narůstá v důsledku slapů jen o několik cm za rok (viz např. [1], [20]).

Země se pohybuje v magnetickém poli Slunce. Protože má železné jádro, generují se v něm Foucaltovy vířivé proudy a Země by tak měla padat na nižší dráhu. To se však nepozoruje (viz předchozí kapitola), protože magnetický potenciál dipólu [31] ubývá jako r^{-2} (zatímco gravitační potenciál jako r^{-1}). Ze stejného důvodu také síla, která působí mezi magnetickým polem Země a Slunce nemá na dlouhodobé vzdalování Země od Slunce téměř žádný vliv. Navíc se Slunce přepólovává každých 11 let.

Jarkovského a YORP efekt mají sice měřitelný vliv na malá tělesa Sluneční soustavy, ale jejich účinek na vzdalování Země od Slunce je rovněž naprosto zanedbatelný [2]. Totéž platí i o meziplanetárním prachu a dalších negravitačních silách.

Měsíc se vzdaluje od Země rychleji, než plyne z Newtonovy mechaniky

Již přes 40 let se pečlivě proměřuje změna střední vzdálenosti

$$D = 384\,402\ \mathrm{km} \quad (19)$$

Měsíce od Země pomocí čtyř koutových odrážečů z misí Apolla 11, 14, 15 a Lunochodu 2. Ukazuje se, že tato vzdálenost narůstá v průměru o 3,84 cm za rok (viz [7]). Pomocí slapových sil lze však vysvětlit jen 2,13 cm za rok, tj. pouhých 55 %. Tomu se obvykle říká *paradox slapových sil Měsíce*, viz [25] a [26]. Zbývající část

$$v = 1{,}71\ \mathrm{cm\ za\ rok} \quad (20)$$

může opět být způsobena antigravitačními silami skryté energie. Uvážíme-li, že velikost Hubbleovy konstanty přepočtené pomocí (2) na vzdálenost D je $H_0 = 2{,}56\ \mathrm{cm/(yr}\ D)$, dostaneme, že se Měsíc po odečtení vlivu slapových sil vzdaluje od Země rychlostí

$$h = 1{,}71 H_0/2{,}56 = 0{,}67 H_0. \quad (21)$$

Podrobný výpočet je uveden v [11] a [12]. Nejprve se uvažuje moment setrvačnosti Země nezávislý na čase. Hlavní myšlenka se opírá o dobrou znalost zpomalování zemské rotace. Pomocí 2 700 let starých záznamů pozorování slunečních zatmění starými Babylońany lze určit, že délka dne v průměru narůstala o $\delta = 1{,}7 \cdot 10^{-5}$ s za rok. Jinak by totiž nemohli Babyloňané pozorovat zatmění tam, kde jej popisují [23], ale o 4 časová pásma vedle. Stejná hodnota zpožďování rotace Země byla získána pomocí moderních rádiových měření vzdálených kvasarů. Současné zvýšené tání ledovců tedy nemá příliš velký vliv na hodnotu δ. Ze zákona zachování celkového momentu hybnosti soustavy Země–Měsíc dostaneme, že orbitální moment Měsíce narůstá, protože se rotace Země zpožďuje. Z Newtonovy mechaniky pak plyne rychlost vzdalování Měsíce jen 2,13 cm za rok.

Pro časově závislý moment setrvačnosti Země by musel existovat obrovský trvalý tok hmoty ke středu Země alespoň 2 700 let od nejstarších babylonských pozorování zatmění, aby se dalo vysvětlit vzdalování Měsíce o 3,84 cm za rok pomocí zákona zachování momentu hybnosti, viz [20].

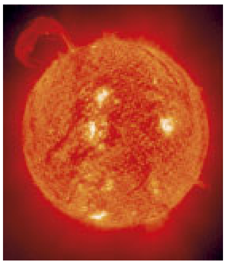
Rychlé měsíce

Ve sluneční soustavě známe 19 měsíců Marsu, Jupitera, Uranu a Neptunu, které obíhají pod tzv. *stacionární kruhovou dráhou*, pro niž je doba oběhu tělesa kolem planety shodná se siderickou dobou její rotace. Podle 3. Keplerova zákona je poloměr stacionární dráhy roven

$$r_i = \left(\frac{Gm_i P_i^2}{4\pi^2}\right)^{1/3}, \quad (22)$$

kde m_i je hmotnost i-té planety a P_i je její siderická rotační perioda. Měsíce pod stacionární dráhou nazýváme *rychlé*, protože jejich orbitální perioda je menší než P_i. Ze statistického hlediska je značně nepravděpodobné, že by všechny tyto měsíce byly zachycené, protože vesměs obíhají stejným směrem po kruhových drahách

» Déle než 40 let se přeměřuje vzdálenost Měsíce od Země pomocí koutových odrážečů. «



a jejich inklinace je téměř nulová. Z tohoto důvodu většina z nich obíhá své mateřské planety patrně už 4,5 miliardy let (i když mohly být součástí větších, později rozpadlých těles).

Podle Newtonovy mechaniky slapové síly nutí rychlé měsíce padat po spirále na nižší oběžné dráhy. Jejich rychlost se zvyšuje, jejich potenciální energie klesá a nepatrně se urychluje rotace mateřské planety, aby byl zachován celkový moment hybnosti. Podle [1, s. 96] jsou slapové síly na 1 kg měsíce úměrné m_i/r_i^3. Je pozoruhodné, že tento podíl je stejného řádu pro všech 19 rychlých měsíců (viz tabulka v [13]). Měsíček Phobos by se podle Newtonovy mechaniky měl přibližovat k Marsu průměrnou rychlostí 1,8 cm za rok. Kdybychom připustili, že se podobnou rychlostí 1–2 cm za rok přibližují i ostatní rychlé měsíce na nižších drahách (některé jsou větší než Phobos, jiné menší), pak by se za 4,5 miliardy let přiblížily o 45 000 ÷ 90 000 km ke svým mateřským planetám. To je ale ve sporu s poloměrem stacionární dráhy Uranu r_7 = 82 675 km a Neptunu r_8 = 83 496 km, protože tyto dvě planety mají všechny rychlé měsíce na dosti vysokých orbitách 48 227 ÷ 76 416 km. Navíc poloměry stacionárních drah (22) byly kdysi menší, protože planety rotovaly rychleji.

Uvažujme např. měsíček Larissa obíhající Neptun ve vzdálenosti 73 548 km, což je hodnota poměrně blízká poloměru stacionární dráhy r_8. Neptun se otočí kolem své osy za 16,11 hodiny a Larissa jej oběhne za 13,32 hodiny. Protože však před několika miliardami let rotoval Neptun rychleji, bylo r_8 menší (srov. (22)) a není vůbec jasné, kde se Larissa tehdy nacházela, když se podle Newtonovy teorie k Neptunu neustále přibližuje. Kdyby někdy byla nad stacionární dráhou, tak by se od Neptunu vzdalovala. Její postupný pád opět pravděpodobně zpomaluje skrytá energie, která svými antigravitačními účinky působí v opačném směru a Larissu vlastně „nadnáší“. V tomto případě se zdá, že účinek slapových sil je stejného řádu jako sil antigravitačních, které však mají opačné znaménko. Například Hubbleova konstanta (2) přepočtená na vzdálenost d Larissy od Neptunu je

$$H_0 \approx 0{,}5 \text{ cm/(yr } d),$$

což je opět hodnota srovnatelná s působením slapů.

Jak přesně platí zákon zachování energie a kolik skryté energie systém Země–Slunce generuje?

Krasinsky a Brumberg [10] odvozují, že vzdálenost Země–Slunce narůstá v současnosti průměrně jen o 15 cm ročně. Jejich argumentace je však založena na nerealistickém předpokladu, že Newtonova teorie gravitace popisuje pohyb těles ve sluneční soustavě naprosto přesně. Řeší algebraickou soustavu pro 62 neznámých Keplerových parametrů všech planet a některých větších planetek, přitom ale vliv skryté energie vůbec neberou v úvahu. Jinými slovy, implicitně ignorují chybu modelu (ale i diskretizační chybu, zaokrouhlovací chyby, chybu aproximace počátečních podmínek, chybu určení fyzikálních veličin aj.). Newtonova teorie předpokládá nekonečnou rychlost šíření gravitační interakce, zatímco skutečná rychlost je jistě konečná. Každý matematický model reality vždy vykazuje nějakou chybu.

Zde je třeba mít na paměti, že i extrémně malá odchylka $\varepsilon > 0$ skutečné polohy nějakého tělesa od jeho polohy definované Newtonovou teorií gravitace za jeden rok může způsobit za miliardu let dosti velkou a dobře detekovatelnou chybu velikosti řádově $10^9\,\varepsilon$, kterou lze pak interpretovat jako skrytou energii. Tyto odchylky od newtonovské teorie gravitace se vzájemně neruší (jako např. zaokrouhlovací chyby), nýbrž akumulují. Odtud je patrno, že skrytá energie působí i lokálně. Např. pro Měsíc je ε = 1,71 cm za rok a pro Zemi $\varepsilon \approx$ 5 m za rok (viz (20) a kap. 3). Jak jsme již viděli a jak ještě ukážeme ve druhé části článku, sluneční soustava, ale i jiné soustavy volných těles se v průměru „nafukují“. Abychom toto prokázali, musíme umět měřit vzdálenosti velice přesně (jako v případě našeho Měsíce) anebo uvažovat velice dlouhé časové či prostorové škály, kdy se vliv skryté energie nahromadí natolik, že jej lze odhalit.

Významné vzdalování Země od Slunce popsané v kapitole 3 sice nelze vysvětlit pomocí klasické Newtonovy fyziky, ale můžeme podle ní přibližně odhadnout, kolik skryté energie se vygeneruje za rok. Pro jednoduchost předpokládejme, že Země má kruhovou orbitu o poloměru R = 1 au. Ze 3. Keplerova zákona $R^3/Y^2 = GM_\odot/4\pi^2$ plyne, že celková (tj. kinetická a potenciální) energie Země je rovna

$$E(R) = ½m(2\pi R/Y)^2 - GmM_\odot/R = -½GmM_\odot/R,$$

kde m je hmotnost Země a $M_\odot$ hmotnost Slunce. Dosazením z (14) a (18) pro ΔR = 5,2 m (srov. (8)) zjistíme, že roční nárůst celkové energie (zadarmo) činí odhadem

$$E(R + \Delta R) - E(R) = 9{,}4 \cdot 10^{22}\ \text{J},$$

což je o cca 10 řádů menší hodnota než kinetická energie Země, tj. $|E(R)| = 2{,}69 \cdot 10^{32}$ J. Podle (10) to odpovídá trvalému výkonu téměř 3 000 TW. Pro jiný roční přírůstek ΔR se energie či výkon pouze lineárně přeškálují pomocí trojčlenky.

Uděláme-li podobný výpočet pro přídavné vzdalování Měsíce od Země, dostaneme následující roční nárůst celkové energie Měsíce

$$E(D + \Delta D) - E(D) = 1{,}7 \cdot 10^{18}\ \text{J}, \qquad (23)$$

kde D je dáno (19), ΔD = 1,7 cm podle vztahu (20), hmotnost Měsíce je $7{,}35 \cdot 10^{22}$ kg a $|E(D)| = 3{,}68 \cdot 10^{28}$ J, což je opět o cca deset řádů více než v (23). V obou předchozích případech se odchylka od zákona zachování energie během jednoho roku projeví na desátém platném desetinném místě. Nemůžeme tedy příliš věřit dlouhodobým simulacím (např. vývoje sluneční soustavy na stovky milionů let) pomocí Newtonovy teorie gravitace, protože pak je chyba newtonovského modelu poměrně velká v důsledku akumulace chyb.

Pokračování v příštím čísle.

Literatura

[1] B. Bertotti, P. Farinella, D. Vokrouhlický: *Physics of the Solar System.* Kluwer, Dordrecht 2003.

[2] M. Brož, M. Šolc, J. Ďurech: *Fyzika malých těles sluneční soustavy.* Karolinum, Praha 2013.

[3] M. Burša, K. Peč: *Gravity Field and Dynamics of the Earth.* Springer, Berlin, 1993.

[4] M. Carrera, D. Giulini: „Influence of global cosmological expansion on local dynamics and kinematice“, Rev. Mod. Phys. **82**, 169 (2010).

[5] F. I. Cooperstock, V. Faraoni, D. N. Vollick: „The influence of the cosmological expansion on local systems“, Astrophys. J. **503**, 61 (1998).

[6] G.F. Davies: „Thermal evolution of the mantle“, in: *Treatise on Geophysics*, vol. 9, *Evolution of the Earth* (ed. D. J. Stevenson), Elsevier, s. 197–216, Amsterdam 2007.

[7] J. O. Dickey a kol.: „Lunar laser ranging: A continuing legacy of the Apollo Program“, Science **265**, 482 (1994).

[8] J. Glanz: „Astronomers see a cosmic antigravity force at work“, Science **279**, 1298 (1998).

[9] W. K. Hartmann: *Mars*. Workman Publ., New York 2003.

[10] G. A. Krasinski, V. A. Brumberg: „Secular increase of astronomical unit from analysis of the major planet motions, and its interpretation“, Celest. Mech. Dyn. Astr. **90**, 267 (2004).

[11] M. Křížek: „Projevuje se gravitační aberace v dynamice Sluneční soustavy a rozpínání vesmíru?“, Pokroky mat. fyz. astronom. **53**, 295 (2008).

[12] M. Křížek: „Does a gravitational aberration contribute to the accelerated expansion of the Universe?“, Comm. Comput. Phys. **5**, 1030 (2009).

[13] M. Křížek: „Dark energy and the anthropic principle“, New Astronomy **17**, 1 (2012).

[14] M. Křížek, J. Brandts, L. Somer: „Is gravitational aberration responsible for the origin of dark energy?“, in: *Dark Energy: Theory, Implications and Roles in Cosmology* (eds. C. A. Del Valle, D. F. Longoria), Nova Sci. Publ., kap. 2, s. 29–57, New York 2012.

[15] L. R. Kump, J. F. Kastings, R. G. Crane: *The Earth System*. Prentice Hall, New Jersey 1999.

[16] K. L. Lang: *Cambridge Encyclopedia of the Sun*. Cambridge Univ. Press, Cambridge 2001.

[17] C. H. Lineweaver, D. Schwartzman: „Cosmic thermobiology“, in: *Origins*. (Ed. J. Seckbach), s. 233–248, Kluwer 2003.

[18] Ch. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler: *Gravitation*. (20th edition), W. H. Freeman and Company, New York 1997.

[19] P. D. Noerdlinger: „Solar mass loss, the astronomical unit, and the scale of the Solar system“, 2008, dostupné z WWW: arXiv: 0801.3807.

[20] O. Novotný: *Motion, Gravity Field and Figure of the Earth*. Lecture Notes, Univ. Federal de Baiha, Brazil 1998.

[21] G. Pannella: „Paleontological evidence on the Earth’s rotation history since early precambrian“, Astrophys. Space Sci. **16**, 212 (1972).

[22] J. T. Perron a kol.: „Evidence for an ancient martian ocean in the topography of defomed shorelines“, Nature **447**, 840 (2007).

[23] S. S. Said, F. R. Stephenson: „Solar and lunar eclipse measurements by medieval Muslim astronomers“, J. Hist. Astronom. **27**, 259 (1996).

[24] B. Tinsley: „Accelerating Universe revisited“, Nature **273**, 208 (1978).

[25] T. C. van Flandern: „A determination of the rate of change of g“, Mon. Not. R. Astron. Soc. **170**, 333 (1975).

[26] F. Verbund: „The Earth and Moon: from Halley to lunar ranking and shells“, Preprint Utrecht Univ., s. 1–10, 2002.

[27] J. W. Wells: „Coral growth and geochronometry“, Nature **197**, 948 (1963).

[28] G. E. Williams: „Geological constraints on the Precambrian history of Earth’s rotation and the Moon’s orbit“, Rev. Geophys. **38**, 37 (2000).

[29] W. J. Zhang, Z. B. Li, Y. Lei: „Experimental measurements of growth patterns on fossil corals: Secular variations in ancient Earth-Sun distance“, Chinese Sci. Bull. **55**, 4010 (2010).

[30] http://itouchmap.com/?r=mars

[31] http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_dipole