

Úloha I.2 ... nezastavitelný terminátor 2 body; průměr 1,24; řešilo 149 studentů

Jak rychle se pohybuje hranice světla a tmy (terminátor) na povrchu Měsíce? Je možné utíkat před tmou, když jste na rovníku? Karel se už zase díval na Futuramu. . .

První jev, který nás napadne a který má na pohyb terminátoru vliv, je zřejmě rotace Měsíce kolem jeho osy. Její periodu (vzhledem ke hvězdám, které považujeme za statické pozadí) označme¹ P_{sid} (činí 27,32 d).

Uvažujme nejdříve, že je Měsíc vzhledem ke Slunci v klidu a pouze rotuje kolem vlastní osy, která je kolmá na rovinu ekliptiky.² Pak by terminátor oběhl povrch Měsíce právě jednou za čas P_{sid} a jelikož Měsíc rotuje kolem své osy rovnoměrně, můžeme pohyb terminátoru přisoudit konstantní úhlovou rychlost $\omega_{\text{sid}} = 2\pi/T_{\text{sid}}$ (tj. terminátor urazí v selenografické délce³ ω_{sid} radiánů za jednotku času). Pokud by nás zajímal pohyb Slunce po měsíční obloze, pozorovali bychom, že se Slunce pohybuje po Měsíční obloze s periodou P_{sid} , a tedy úhlovou rychlostí ω_{sid} .

První komplikace nastane, uvědomíme-li si skutečnost, že sklon rotační osy Měsíce vůči rovině ekliptiky není přesně 90° , ale činí přibližně $88,5^\circ$. To jistě bude mít na pohyb terminátoru vliv, protože se nám tímto vytvoří oblasti, kudy terminátor nikdy neprojde, tj. oblasti věčného polárního dne a noci (stále ignorujeme oběh Země kolem Slunce). Započítáme-li pak i vliv oběhu Země kolem Slunce jednou za T_{rok} (což vzhledem ke hvězdám činí 365,26 d), bude Měsíc vykazovat (byť v menší míře než na Zemi) střídání ročních období. A jelikož P_{sid} není vůči T_{rok} zrovna zanedbatelná (poměr $P_{\text{sid}}/T_{\text{rok}}$ je přibližně jedna třináctina), bude započítání tohoto vlivu na pohyb terminátoru méně triviální záležitostí, a to obzvláště v blízkosti rotačních pólů. Naštěstí je odchylka sklonu rotační osy Měsíce od 90° velmi malá a provedše tento kvalitativní popis, budeme nadále pro jednoduchost předpokládat, že rotační osa je přesně kolmá na rovinu ekliptiky. Nás navíc bude zajímat pouze situace na rovníku, kde se roční pohyb terminátoru neprojevuje.

Dále je třeba zvážit vliv oběhu Měsíce kolem Země. Uvažujme proto, že Měsíc nerotuje kolem vlastní osy, ani že Země neobíhá kolem Slunce. Můžeme rovněž předpokládat, že paprsky přicházející od Slunce jsou rovnoběžné, neboť rozměry oběžné dráhy Měsíce kolem Země (řádově 10^8 m) jsou velmi malé ve srovnání se vzdáleností systému Země–Měsíc od Slunce (řádově 10^{11} m). V takové situaci se ale terminátor po povrchu Měsíce nepohybuje, a proto můžeme v rychlosti uzavřít, že oběh Měsíce kolem Země nemá na náš problém vliv.

Konečně je třeba započítat oběh systému Země–Měsíc kolem Slunce. Zastavíme-li rotaci Měsíce vzhledem ke hvězdám, vidíme, že se Slunce na měsíční obloze pohybuje s periodou T_{rok} (úhlovou rychlostí $\omega_{\text{rok}} = 2\pi/T_{\text{rok}}$), ale v opačném směru, než když Měsíc pouze rotoval kolem vlastní osy. Složíme-li tyto pohyby, bude se Slunce po měsíční obloze pohybovat úhlovou rychlostí $\omega_{\text{syn}} = \omega_{\text{sid}} - \omega_{\text{rok}}$ ve směru ω_{sid} .⁴ Propojením úvah o pohybu terminátoru a pohybu Slunce na obloze pak vidíme, že se terminátor v selenografické délce pohybuje úhlovou rychlostí $\omega_{\text{ter}} = \omega_{\text{syn}}$, což se na rovníku přepočte na absolutní rychlost $v_{\text{ter}} = \omega_{\text{ter}}R$, kde $R = 1738$ km je rovníkový poloměr Měsíce.

Pro obecnou selenografickou šířku λ dostaneme $v_{\text{ter}}(\lambda) = \omega_{\text{ter}}R \cos \lambda$, protože se terminátor pohybuje po rovnoběžce, jejíž obvod se mění s $\cos \lambda$. Čím více se však blížíme rotačním pólům,

¹siderická perioda (*sidus* lat. hvězda)

²rovina, ve které obíhá Země kolem Slunce

³Selenografické souřadnice (ze starořeckého *selenē* – Měsíc) máme definované podobně jako zeměpisné souřadnice na Zemi, tj. vzhledem k rotačním pólům.

⁴ ω_{syn} je odvozena ze *synodické* periody $T_{\text{syn}} = 2\pi/\omega_{\text{syn}}$ (ze starořeckého *syn hodō* – s cestou [Slunce]). Pokud by ω_{syn} vyšla záporně, znamenalo by to opačný směr pohybu Slunce po měsíční obloze.

tím větší bude vliv ročního pohybu terminátoru a uvedený vztah pro výpočet $v_{\text{ter}}(\lambda)$ nám bude dávat nepříliš přesné hodnoty.

Po dosažení číselných hodnot máme pro rychlost terminátoru na rovníku $v_{\text{ter}} = 15,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, čehož klusem snadno dosáhneme. Je však třeba poznamenat, že díky nenulové úhlové velikosti Slunce na Měsíční obloze nebude terminátor zdaleka tak ostrý jako ten ve Futuramě, nicméně bude určitě ostřejší než terminátor na Zemi, a to díky absenci atmosféry, ve které by se Sluneční světlo mohlo rozptylovat.

Kuba Vošmera
kuba@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.