

Tri o Zemlji in Luni



MARIJAN PROSEN

→ Presek je že večkrat pisal o Zemlji in Luni. Vendar pa nikoli ne o vsebinah, ki bi tesno povezovale obe nebesni teles. Tokrat paberek o tem. Gre za tri vsebine, pravzaprav bolj za zanimive raziskovalne naloge, ki me spremljajo že dalj časa. Zdaj, ko imam časa najmanj, pa sem se odločil, da jih napišem.

Prva je o težišču sistema Zemlja-Luna, druga o točki, iz katere bi videli Zemljo in Luno v enakem zornem kotu, tretja pa o tem, kako močno Zemlja osvetljuje Luno okoli mlaja in tako povzroča pojav pepelnate svetlobe na Luni.

Težišče sistema Zemlja-Luna

Razmerje mas Lune in Zemlje je $m/M = 1/81$, razdalja med njima pa $r = 60R$, če pomeni $R = 6400$ km radij Zemlje. Kje leži težišče mas teh dveh vesoljskih teles, ki ju skupaj lahko obravnavamo kot tesen sistem (par) dveh teles?

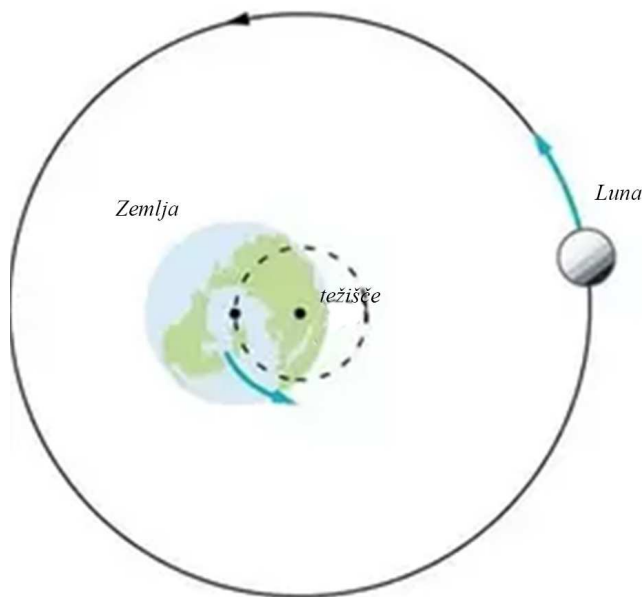
Težišče leži nekje na zveznici središč obeh teles, ne na sredini, ampak po občutku bližje Zemlji, ker je masivnejša od Lune.

Predstavljajmo si ravno trdno oz. togo palico (drog, vzvod), v krajiščih katere postavimo središči Lune in Zemlje. Obravnavajmo ju kot masivni krogli, ki ju vsako na svojem koncu palice vleče navzdol sila teže (težo smo si izmislili, da lažje rešimo nalogo).

Vprašamo se, v kateri točki T moramo podpreti palico, da bosta telesi v ravnovesju. V tej točki namreč leži težišče mas obeh teles. Podobno kot na gugalnici, kjer se gugata dve osebi z različno maso. Oseba z večjo maso mora biti bližje osi, okoli katere

se gugata, kot oseba z manjšo maso, da je na gugalnici ravnovesje. Os vrtenja tedaj predstavlja težišče mas obeh oseb. Kje moramo torej palico podpreti, da bosta masi teles v ravnovesju?

Ravnovesje na palici, ki je vrtljiva okoli osi, je, kadar je navor večje mase enak navoru manjše mase. Navor je zmnožek sile teže in ročice, ki je pravokotna na smer sile. Sila teže pa je zmnožek mase telesa m in pospeška prostega pada $g = 10$ m/s². Navor suka oz. vrtil vzvod v določeno smer (v levo ali v desno).



SLIKA 1.

Težišče sistema Zemlja-Luna je okoli 4700 km oddaljeno od središča Zemlje. To težišče se pri gibanju Zemlje okrog Sonca giblje po elipsi, medtem ko Zemljino središče vijuga oz. opleta okoli nje (zelo povečano).





Naj bo dolžina vzvoda $r = 60R$, Zemlja z maso M v levem krajišču vzvoda, Luna z maso m v desnem krajišču, obe masi vleče sila teže navzdol, naj bo razdalja središča Zemlje od osi oz. od težišča T obeh mas enaka x . Potem lahko zapišemo: prvi navor je Mgx in suka vzvod v desno, drugi navor pa $mg(r - x)$ in suka vzvod v levo. Za ravnovesje ju moramo izenačiti: $Mgx = mg(r - x)$. Po krajšanju z g dobimo $Mx = m(60R - x)$ in od tod $x = \frac{m}{M+m}60R = (60/82)R = 4700$ km, kar je okoli $3/4R$.

Odgovor. Težišče sistema mas Zemlja-Luna leži znotraj Zemlje, približno $1/4R$ pod njenim površjem. Dobili smo kar presenetljiv rezultat, mar ne?

Vidni v enakem zornem kotu

Iz katere točke v vesolju bi Zemljo in Luno videli v enakem zornem kotu? Razdalja med Zemljo in Luno je $60R$, če je $R = 6400$ km radij Zemlje, radij Lune pa je $r = 1/4R$.

Točka, iz katere bi videli obe okrogli vesoljski telesi v enakem zornem kotu, leži nekje na zveznici središč Zemlje in Lune, ne na sredini, ampak precej bližje Luni, ker je manjša od Zemlje. Označimo razdaljo te točke od središča Lune z x . Potem je razdalja te točke od središča Zemlje $(60R - x)$. Ker sta Zemlja in Luna majhni glede na njuno medsebojno oddaljenost, lahko za zorni kot vzamemo kar količnik med premerom Zemlje ali premerom Lune in njunima ustreznima razdaljama od izbrane točke.

Za Luno je količnik $2 \cdot 1/4R/x$, za Zemljo pa $2R/(60R - x)$. Izraza izenačimo $2 \cdot 1/4R/x = 2R/(60R - x)$, krajšamo in dobimo $x = 12R = 76\,800$ km in $60R - 12R = 48R = 307\,200$ km.

Zorni kot je $2 \cdot 1/4R/x = 1/2R/12R = 1/24$ rad. = $(1/24) \cdot 57,3^\circ = 2,4^\circ$.

Odgovor. Zemljo in Luno vidimo v enakem zornem kotu $2,4^\circ$ iz točke, ki je od središča Lune oddaljena $76\,800$ km oz. od središča Zemlje $307\,200$ km.

Zemljino osvetljevanje Lune okoli mlaja

Izračunajmo osvetljenost Luninega površja, ki jo povzroča od Sonca osvetljena Zemlja blizu mlaja. Osvetljena Zemlja deluje kot svetilo. V prostor oddaja svetlobni tok in tako osvetljuje k nam obrnjeno temno, od Sonca neosvetljeno stran Lune.



SLIKA 2.
Zemlja na Luninem nebu (Foto: NASA)

Recimo, da poznamo gostoto svetlobnega toka, ki ga Zemlja sprejema od Sonca $j_0 = 1400$ W/m² (solarna konstanta), radij Zemlje $R = 6400$ km, razdaljo Lune od Zemlje $r = 60R$ in albedo (odbojnost) Zemlje $\delta = 0,3$.

Naloga se »dogaja« ob mlaju ali zelo blizu mlaja (\pm nekaj dni), ko je Luna med Soncem in Zemljo in jo osvetljuje od Sonca osvetljena Zemlja.

S Sonca pada na Zemljo gostota svetlobnega toka j_0 . Zato od Sonca obsijana polovica Zemlje sveti. Vsa vpadna svetloba se ne odbije, ampak del, kar pove albedo Zemlje. Od Zemlje se odbije oz. gre stran v prostor svetlobni tok $j_0\pi R^2\delta$, na Luno v razdalji r pa pade tok z gostoto

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad j_0\pi R^2\delta/2\pi r^2 &= j_0R^2\delta/2(60R)^2 = \\ &= 1400 \text{ W/m}^2 \cdot 0,3/2 \cdot 3600 = 0,06 \text{ W/m}^2. \end{aligned}$$

Odgovor. Dobili smo vrednost svetlobnega oz. energijskega toka na kvadratni meter, ki jo lahko vzamemo za osvetljenost Luninega površja, seveda samo v energijskem smislu. Pri računu smo upoštevali le tisto polkroglo $2\pi r^2$, ki je od osvetljene polovice Zemlje obrnjena proti od Sonca neosvetljeni po-



SLIKA 3.

Pepelnata svetloba Lune – osvetljenost Luninega površja okoli »polne zemlje« (Foto: Andrej Guštin)

lovici Lune in jo Zemlja osvetljuje. Če preračunamo, Zemlja v tem primeru osvetljuje Luno približno tako, kot 100 W žarnica osvetljuje predmete na razdalji okoli 12 m. Še enkrat poudarimo, da gre zgolj za osvetljenost površja v energijskem, ne pa v fiziološkem pogledu.

Zaradi osvetljenosti, ki jo na Luni povzroča svetla, od Sonca osvetljena Zemlja, nastane pojav Lunine pepelnate svetlobe. Z Zemlje jo opazujemo v jasnih nočeh malo pred mlajem (zjutraj) in/ali malo po njem (zvečer).

Polna luna osvetljuje Zemljino ozračje in površje, ki odbija svetlobo. Tako nastane mesečina. Podobno kot polna luna osvetljuje Zemljo in povzroča mesečino, tudi »polna zemlja« osvetljuje temno Lunino površje in povzroča osvetljenost temne polovice Lune, to je njeno pepelnato svetlobo.

Če bi se lahko namestili na površju Lune v tistih krajih, od koder z Zemlje vidimo pepelnato svetlobo, bi od tam na Luninem nebu videli našo Zemljo kot veliko svetlečo okroglo ploskvico, okoli 4-krat večjo, kot mi vidimo polno luno. »Polna zemlja« bi svetlila tudi dosti močnejše na Luninem nebu, kot nam sveti polna luna. Zdelo bi se nam najmanj 16-krat svetlejša, kot je z Zemlje vidna polna luna. Po nekaterih računih pa bi Zemlja svetila na Luninem nebu še dosti svetlejšo.

Treba bi bilo iti tja in se o tem prepričati na lastne oči. Račun večkrat laže, ne prikaže resničnega oz. dejanskega stanja. Vsega, kar vpliva na rezultat, pa ni mogoče upoštevati.

Naloge

- Izračunajte težišče sistema Jupiter-Saturn, če sta v Osončju med seboj oddaljena 5 a.e. (astronomskih enot, to je razdalj Zemlja-Sonce), masa Jupitra je 315 mas Zemlje, masa Saturna pa 95 mas Zemlje. [Težišče je oddaljeno 1,2 a.e. od središča Jupitra.]
- Iz katere točke v vesolju bi videli Zemljo in Sonce v enakem zornem kotu? Razdalja med Soncem in Zemljo je okoli 215 radijev Sonca, radij Sonca pa je okoli 100R, če je R radij Zemlje. [Iz točke, ki je 2,13 radija Sonca oddaljena od središča Zemlje, zorni kot pa je $0,54^\circ$.]
- Kolikokrat močnejše sveti Zemlja na Luninem nebu kakor Luna na Zemljinem? Radij Zemlje je štirikrat večji od radija Lune. Albedo Zemlje je 0,3, albedo Lune 0,12. Vpliv Zemljinega ozračja zamenarimo. [Kar okoli 40-krat; če bi upoštevali absorpcijo (vpojnost) svetlobe v ozračju, pa okoli 30-krat.]
- S kolikšno osvetljenostjo osvetljuje polna luna Zemljino površje? [Med eno in dvema tisočinkama W/m^2 .]

× × ×

www.dmfa.si

www.presek.si