

Marijan Prosen

## **Astronomske zgodbe o Luni in Zemlji**

Kranj – Zlato Polje, zima 2017/18

Razmeroma veliko stvari povezuje Luno in Zemljo. Predvsem sta v vesolju zelo blizu skupaj, tako da ju lahko obravnavamo kot tesen par vesoljskih teles. Različno vplivata druga na drugo, kar se kaže pri mrkih, medsebojnem gibanju, medsebojnem osvetljevanju, plimovanju, pogledu na Lunino površje, pogledu na Lunino nebo in pogledu z Lune na Zemljino nebo.

V tej e-knjžici sem zbral nekaj najpomembnejših povezav med Luno in Zemljo in nekatere vsebine strnil v obliko kratke raziskovalne naloge, pri kateri upoštevamo fizikalno razmišljanje (uporabljamo fizikalne zakone) in večino vsebin tudi matematično obdelamo. Včasih predlagamo tudi kakšno domačo nalogo. Obravnavana snov je primerna že za tretjo triado naše osnovne šole in za matematično-fizikalne-astronomske krožke. Iz obravnavanih astronomskih vsebin veje veliko zaupanje v fizikalne zakone in matematične izračune in tudi v vzajemne potrditve teorije s prakso.

### **Vsebina**

1. Sončev mrk
2. Težišče sistema Zemlja-Luna
3. Luna in Zemlja, vidni v enakem zornem kotu
4. Medsebojno osvetljevanje Lune in Zemlje
5. Naloga o zadevi med Luno in Zemljo, ki se ne more zgoditi v vesolju
6. Zelo dobra ocena za zorni kot Lune ob ščipu
7. Sij polne zemlje na Luninem nebu
8. Luna in Zemlja, ki naj bi me privlačili z enakima privlačnima silama
9. Vrtenje Lune
10. Zakaj Luna vsak dan vzide ali zaide skoraj eno uro kasneje glede na prejšnji dan
11. Plima in oseka
12. Lunino zakritje
13. Lunine libracije
14. Kraterji na Luni

\*\*\*

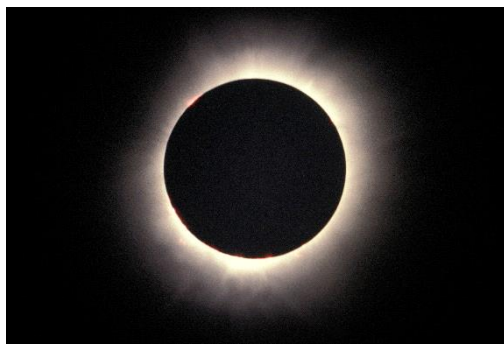
## 1. Sončev mrk

Sončevih mrkov tukaj ne nameravamo posebej obravnavati, ker je to preveč splošno znana in tudi tako velikokrat obravnavana astronomska vsebina, da bi se lahko ponavljali in bili nezanimivi. Povedali bomo le bistvo, kar se nanaša na Luno in Zemljo ter tudi Sonce.

Pri mrkih so udeleženi Sonce, Luna in Zemlja. Seveda morajo biti izpolnjeni še določeni pogoji, da pride do njih. V Osončju najdemo satelite, ki krožijo relativno bližje okrog svojih matičnih planetov, kakor kroži Luna okrog Zemlje, vendar pa nikjer ne morejo opazovati tako čudovito lepih Sončevih mrkov kot ravno pri nas, na Zemlji.

Vzrok Sončevih mrkov je znan. V bistvu nastanejo, ker jih zakrije Luna in v tem se kaže njena velika vloga. Posebnost teh mrkov na Zemlji pa je v tem, da sta zorni kot Sonca in zorni kot Lune skoraj enaka. Zaradi eliptičnih tirov Zemlje okrog Sonca in Lune okrog Zemlje se zorna kota malenkostno le spreminjata: zorni kot Sonca v mejah od 31,5' do 32,5', zorni kot Lune pa nekoliko bolj, v mejah med 29,3' in 34,1'. Takšne okoliščine pri planetih v Osončju so izpolnjene samo pri Zemlji. Zaradi tega lahko opazujemo popolne Sončeve mrke, ko Luna popolnoma zakrije Sonce, ko je zorni kot Lune večji od zornega kota Sonca, in kolobarjaste, ko Luna popolnoma ne zakrije Sonca, ko je zorni kot Lune manjši od Sončevega.

Sončev mrk je razmeroma redek pojav za kak kraj na Zemlji. Za posamezno opazovališče pride npr. en popolni Sončev mrk približno na vsakih 350 let. Za Zemljo kot celoto pa so ti mrki kar pogosti, saj se v saroškem ciklu 18 let zvrsti kar 43 različnih tipov Sončevih mrkov.



**Popolni Sončev mrk in kolobarjasti Sončev mrk sta edina in edinstvena vesoljska pojava pri planetih v Osončju, vidna samo z Zemlje.**

## 2. Težišče sistema Zemlja-Luna

Razmerje mas Lune in Zemlje je  $m/M = 1/81$ , razdalja med njima pa  $r = 60 R$ , če pomeni  $R = 6\,400$  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 oziroma togo palico (drog, vzvod), v krajišči 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 v ravnovesju. 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  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Navor suka oziroma vrtilni vzvod v določeno smer (v levo ali v desno).

Naj bo dolžina vzvoda  $r = 60 R$ , Zemlja z maso  $M$  v levem krajišču vzvoda, Luna z maso  $m$  v desnem krajišču, obe masi vleče sila teže navzdol, in naj bo razdalja središča Zemlje od osi oziroma od težišča  $T$  obeh mas enaka  $x$ . Potem lahko zapišemo: prvi navor je  $M \cdot g \cdot x$  in suka vzvod v desno, drugi navor pa  $m \cdot g (r - x)$  in suka vzvod v levo. Za ravnovesje ju moramo izenačiti:

$M \cdot g \cdot x = m \cdot g (r - x)$ . Po krajšanju z  $g$  dobimo  $M x = m \cdot (60 R - x)$  in od tod  $x = (m / (M + m)) \cdot 60 R = (60 / 82) R = 4700 \text{ km}$ , kar je okoli  $\frac{3}{4} R$ .

### Odgovor

Težišče sistema mas Zemlja-Luna leži znotraj Zemlje, približno  $\frac{1}{4} R$  pod njenim površjem ali okoli 4 700 km oddaljeno od središča Zemlje. Dobili smo kar presenetljiv rezultat, mar ne. To težišče se pri gibanju Zemlje okrog Sonca giblje po elipsi, medtem ko Zemljino središče vijuga oziroma opleta okoli nje.

### **3. Luna in Zemlja, 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  $60 R$ , če je  $R = 6\,400 \text{ km}$  radij Zemlje, radij Lune pa je  $\frac{1}{4} R$

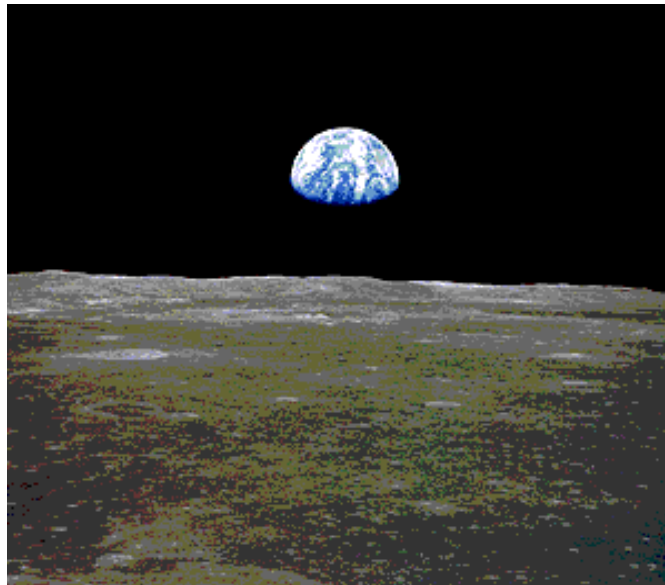
Točka, iz katere bi videli obe okrogli vesoljski telesi v enakem zornem kotu leži nekje na zveznici središč Zemlje in Lune, ne na sredini, ampak precej bližje Luni, ker je manjša od Zemlje. Označimo razdaljo te točke od središča Lune z  $x$ . Potem je razdalja te točke od središča Zemlje  $(60R - x)$ . 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  $2 \cdot \frac{1}{4} R/x$ , za Zemljo pa  $2R/(60R - x)$ . Izraza izenačimo  $2 \cdot \frac{1}{4} R/x = 2R/(60R - x)$ , krajšamo in dobimo  $x = 12 R = 76\,800$  km in  $60R - 12 R = 48 R = 307\,200$  km.

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

### Odgovor

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



**Zemlja na črnem Luninem nebu.** Foto NASA.

## **4. Medsebojno osvetljevanje Lune in Zemlje**

Zadajmo si nalogo, da ugotovimo, kako močno Luna in Zemlja osvetlujeta druga drugo. Najprej izračunajmo osvetljenost Luninega površja, ki jo povzroča od Sonca osvetljena Zemlja ob mlaju, nato osvetljenost Zemljinega površja, ki jo povzroča od Sonca osvetljena Luna ob ščipu in osvetljenosti primerjajmo med seboj.

Od Sonca osvetljeni Zemlja (ob mlaju) in Luna (ob ščipu) svetita. Delujeta kot svetili. V prostor oddajata svetlobni tok in tako osvetlujeta k Zemlji obrnjeno temno, od Sonca neosvetljeno stran Lune, oziroma k Luni obrnjeno temno, od Sonca neosvetljeno stran Zemlje.

Izberimo si primerne osnovne (recimo kar šolske, ne preveč natančne) podatke za določitev ocene teh vrednosti. Vzemimo, da poznamo gostoto svetlobnega toka, ki jo Zemlja sprejema oz. dobiva od Sonca  $j_0 = 1\,400$  W/m<sup>2</sup> (solarna konstanta), radij Zemlje  $R$ , radij Lune  $\frac{1}{4} R$ , razdaljo Lune od Zemlje  $r = 60 R$ , albedo (odbojnost) Zemlje  $\delta = 0,3$  in albedo Lune  $\sigma = 0,12$ . Oddaljenost

Lune od Zemlje seveda zanemarimo glede na oddaljenost Zemlje od Sonca (1:390). Tudi ekstinkcijo svetlobe v našem ozračju.



**Ob ščipu ali polni luni od Sonca osvetljena Luna osvetluje Zemljino površje z okoli  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$ .**

Nalogi se "dogajata" ob mlaju in ob ščipu ali zelo blizu obeh men ( $\pm 1$  en dan ali največ dva dni), ko je Luna med Soncem in Zemljo (mlaj) in, ko je Zemlja med Luno in Soncem (ščip), ko Luno osvetluje od Sonca osvetljena Zemlja oziroma, ko Zemljo osvetluje od Sonca osvetljena Luna.

#### Prvi primer (mlaj)

S Sonca pada na Zemljo gostota svetlobnega toka  $j_0$ . Zato od Sonca obsijana polovica Zemlje sveti. Vsa vpadna svetloba se ne odbije v prostor, ampak le del, kar pove albedo Zemlje. Od Zemlje se odbije ali gre v prostor svetlobni tok  $j_0 \cdot \pi R^2 \cdot \delta$ , na Luno v razdalji  $r$  pa pade tok z gostoto (upoštevamo le od Sonca osvetljeno Zemljino polkroglo, ki je obrnjena proti Luni)  $j_0 \cdot \pi R^2 \cdot \delta / 2\pi r^2 = j_0 \cdot R^2 \cdot \delta / 2 (60 R)^2 = 1400 \text{ W/m}^2 \cdot 0,3 / 2 \cdot 3600 \approx 0,06 \text{ W/m}^2$ . To je osvetljenost Luninega površja ob mlaju zaradi svetjenja Zemlje.

#### Drugi primer (ščip)

Gostota svetlobnega toka, ki ob polni luni pade s Sonca na Luno, je glede na gostoto svetlobnega toka, ki pade na Zemljo, praktično enaka  $j_0 = 1400 \text{ W/m}^2$  (razlika je le za  $4 \text{ W/m}^2$ , kar zanemarimo).

Od Lune se odbije svetlobni tok  $j_0 \cdot \pi (1/4 R)^2 \sigma$ . V razdalji  $r$  pade na Zemljo tok z gostoto  $j_0 \cdot \pi (1/4 R)^2 \sigma / 2\pi (60R)^2 = 1400 \text{ W/m}^2 (1/4)^2 \cdot 0,12 / 2 \cdot 3600 \approx 1,46 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$ . To je osvetljenost Zemljinega površja ob polni luni zaradi svetjenja Lune.

Dobili smo vrednosti energijskega toka na kvadratni meter, kar lahko vzamemo za osvetljenost Luninega oziroma Zemljinega površja, seveda v energijskem smislu. Če preračunamo, Zemlja v tem primeru osvetluje Luno približno tako, kot 100 W žarnica osvetluje predmete na razdalji okoli 12 m. Luna pa osvetluje Zemljo približno tako, kot 100 W žarnica osvetluje predmete na razdalji okoli 74 m. Razlika je očitna.

Količnik osvetljenosti Luninega površja ob mlaju in osvetljenosti Zemljinega površja ob ščipu je  $[j_0 \cdot R^2 \cdot \delta / 2 (60 R)^2] : [j_0 \cdot (1/4 R)^2 \sigma / 2 (60 R)^2] = 16 \cdot \delta / \sigma = 16 \cdot 0,3 / 0,12 = 40$ .

Odgovor

Zemlja ob mlaju osvetljuje Luno 40-krat močneje kot Luna ob ščipu osvetljuje Zemljo.



**Pepelnata Lunina svetloba; levo - po mlaju, desno - pred mlajem.  
Ob ali zelo blizu mlaja Zemlja osvetljuje Lunino površje z okoli 0,06 W/m<sup>2</sup>.**

**Pepelnata Lunina svetloba nastane zato, ker od Sonca osvetljena Zemlja osvetljuje Luno ali, je posledica odboja Sončeve svetlobe na Zemlji, ki pade na Lunino od Sonca neosvetljeno stran. Pojav lahko različno povemo. Pomembno je, da vemo, kaj je pravzaprav pepelnata svetloba Lune.**

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 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 opazujemo pepelnato svetlobo, bi od tam na Luninem nebu videli našo Zemljo kot veliko svetlečo okroglo ploskvico, ki je okoli 4-krat večja, kot mi vidimo polno luno. Polna zemlja bi tudi svetlila dosti močneje 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 svetila še dosti svetlejšo.

Poskusite opazovati pepelnato Lunino svetlobo. Izberete primeren kraj in čas opazovanja. Opazujete mlado luno blizu mlaja ali pa staro luno blizu mlaja, jo skicirate in dopolnite z njenim obrisom pepelnate svetlobe.

Še to! Kadar je pri opazovanju proti Luni obrnjen celinski del Zemlje (Evropa, Azija, Afrika, Avstralija), je pepelnata svetloba bolj rumenkaste barve, ko pa je proti Luni obrnjena večina vodnega dela (Tihi in Indijski ocean), je bolj modrikaste. Morda opazite barvno razliko. O opazovanju napišete kratko poročilo, lahko tudi zgodbo.

### Naloge

1. Izračunajte težišče sistema Jupiter-Saturn, če sta v Osončju med seboj oddaljena 5 a.e. (astronomskih enot, to je razdalj Zemlja-Sonca), masa Jupitra je 315 mas Zemlje, masa Saturna pa 95 mas Zemlje. [Težišče je oddaljeno 1,2 a.e. od središča Jupitra.]
2. 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  $100 R$ , če je  $R$  radij Zemlje. [Iz točke, ki je 2,13 radija Sonca oddaljena od središča Zemlje, zorni kot pa je  $0,54^\circ$ ]
3. 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 zanemarimo. [Kar okoli 40-krat; če bi upoštevali absorpcijo (vpojnost) svetlobe v ozračju, pa okoli 30-krat.]
4. S kolikšno osvetljenostjo osvetljuje polna luna Zemljino površje? [Med eno in dvema tisočinkama  $W/m^2$ .]

### **5. Naloga o zadevi med Luno in Zemljo, ki se ne more zgoditi v vesolju**

Od Sonca osvetljeni Zemlja in Luna delujeta kot svetili. V prostor oddajata svetlobni tok in tako osvetlujeta druga drugo. Na primer, Zemlja v mlaju osvetljuje k Zemlji obrnjeno temno, od Sonca neosvetljeno Lunino stran, Luna v ščipu pa k Luni obrnjeno temno, od Sonca neosvetljeno Zemljino stran.

Zdaj si izberimo osnovne podatke za rešitev naše naloge. Poznamo gostoto svetlobnega toka, ki jo Zemlja sprejema od Sonca  $j_0 = 1\,400\, W/m^2$  (solarna konstanta), radij Zemlje  $R$ , radij Lune  $\frac{1}{4} R$ , razdaljo Lune od Zemlje  $r = 60 R$ , albedo (odbojnost) Zemlje  $\delta = 0,3$  in albedo Lune  $\sigma = 0,12$ . Oddaljenost Lune od Zemlje zanemarimo glede na oddaljenost Zemlje od Sonca (1:390), tudi ekstinkcijo svetlobe v našem ozračju.

Vzemimo, da bi Luna in Zemlja hkrati osvetljevali druga drugo, Luna v ščipu Zemljo, Zemlja v mlaju pa Luno. Katero točko med Luno in Zemljo bi obe vesoljski telesi hkrati enako osvetljevali in kolikšna bi bila ta osvetljenost?

Ta točka bi ležala na zveznici središč Zemlje in Lune. Naj bo  $x$  razdalja te točke od središča Zemlje. S Sonca pada na Zemljo gostota svetlobnega toka  $j_0$ . Od Zemlje se odbije tok  $j_0 \cdot \pi R^2 \cdot \delta$ , v točko na oddaljenosti  $x$  pa pade tok z gostoto  $j_0 \cdot \pi R^2 \cdot \delta / 2\pi x^2$

Gostota svetlobnega toka, ki ob polni luni pade s Sonca na Luno, je glede na gostoto svetlobnega toka, ki pade na Zemljo, praktično enaka  $j_0 = 1400 \text{ W/m}^2$  (razlika je le za  $4 \text{ W/m}^2$ , kar zanemarimo). Od Lune se odbije svetlobni tok  $j_0 \cdot \pi (\frac{1}{4} R)^2 \sigma$  in v razdalji  $(60 R - x)$  pade tok z gostoto  $j_0 \cdot \pi (\frac{1}{4} R)^2 \sigma / 2\pi (60R - x)^2$ .

Obe gostoti svetlobnega toka izenačimo  $j_0 \cdot \pi R^2 \cdot \delta / 2\pi x^2 = j_0 \cdot \pi (\frac{1}{4} R)^2 \sigma / 2\pi (60R - x)^2$ . Dobimo  $\delta/x^2 = (\frac{1}{4})^2 \sigma / (60R - x)^2$  in od tod:  $x = [(4\sqrt{\delta}/(\sqrt{\sigma} + 4\sqrt{\delta})) \cdot 60 R = 52 R$ .

Gostota svetlobnega toka v točki  $x = 52 R$  je  $j_0 \cdot \pi R^2 \cdot \delta / 2\pi x^2 = 1400 \text{ W/m}^2 \cdot 0,3/2 \cdot 52^2 = 0,08 \text{ W/m}^2$ .

### Odgovor

Luna in Zemlja bi hkrati enako osvetljevali točko, ki bi bila  $52 R$  oddaljena od središča Zemlje ( $8 R$  od središča Lune), osvetljenost pa bi bila  $0,08 \text{ W/m}^2$ .

Naloga je zanimiva in poučna. Pove, kako močneje Zemlja osvetljuje Luno kakor Luna Zemljo, kar 40 krat močneje, česar človek ne bi pričakoval.

## **6. Zelo dobra ocena za zorni kot Lune ob ščipu**

Luna je oddaljena od Zemlje za okoli  $r = 60 R$ , njen radij pa je približno  $\frac{1}{4} R$ , če  $R$  pomeni radij Zemlje. Iz teh podatkov izračunajmo zorni kot  $\alpha$  Lune pri pogledu z Zemlje.

Ker je Luna zelo oddaljena od Zemlje in vidna v majhnem kotu, lahko uporabimo enačbo  $\alpha/360^\circ = 2R/2\pi r$ , od koder za zorni kot Lune dobimo:  $\alpha = 2 \cdot \frac{1}{4} R \cdot 360^\circ / 2\pi \cdot 60 R = 90^\circ / \pi \cdot 60^\circ = 0,5^\circ$ , kar je približna vrednost. Srednja ali natančna vrednost zornega kota Lune pa je  $32'$ .

Luna se giblje po elipsi okrog Zemlje, ki leži v enem od gorišč elipse. Zato se oddaljenost Lune od Zemlje spreminja, s tem pa tudi njen zorni kot pri opazovanju z Zemlje. Spreminja se od  $29,3'$  do  $34,1'$ .

Pri računanju Luninega zornega kota bi morali torej vedno dobiti vrednost  $\alpha$ , ki leži med omenjenima skrajnima vrednostma; zapisano matematično v intervalu  $29,3' \leq \alpha \leq 34,1'$  ali  $[29,3', 34,1']$ .

Zanimalo me je, ali je možno iz splošnih astronomskih podatkov, ki jih imamo vedno pri roki in jih znamo na pamet, z računom, ki povezuje nekaj fizikalnih zakonov, posredno izračunati ali primerno oceniti zorni kot Lune ob opoziciji s Soncem, to je ob polni luni, ne da bi pri tem poznali njen radij in njeno oddaljenost od Zemlje. Gre za orientacijsko oceno Luninega zornega kota, ki naj bi bila čim bližje srednji vrednosti ali naj bi se ne razlikovala od nje za več kakor  $\pm 5'$ , najbolje pa bi bilo, da bi izračunana vrednost padla znotraj intervala  $[29,3', 34,1']$ , kar je zelo ostro postavljena zahteva in jo je težko uresničiti.

Nalogo želimo rešiti za splošni (ne posebni) primer, saj je polna luna različno oddaljena od Zemlje in od Sonca. Zato bo rezultat naloge bolj ocena,



približna vrednost za Lunin zorni kot, ki je seveda ob vsaki polni luni nekoliko drugačen, vendar naj bi njegova vrednost padla znotraj ali vsaj blizu navedenega intervala.

Torej, gre za to, ali s posrednim računom pridemo do dobre ocene za zorni kot Lune ob ščipu, ne da bi poznali njen radij  $R$  in njeno oddaljenost  $r$  od Zemlje. Če ju poznamo, seveda ni nobenega problema. Zorni kot izračunamo preprosto kar neposredno iz razmerja  $2R/r$ .

Za reševanje te naloge sem si izbral naslednje osnovne podatke: sprejeta gostota svetlobnega toka s Sonca na Zemlji (solarna konstanta)  $j_0 = 1\,400\text{ W/m}^2$ , ki je praktično taka kot na Luni (razlika je le za  $4\text{ W/m}^2$  (manj), kar zanemarimo glede na vrednost  $1\,400\text{ W/m}^2$ ), sij polne lune (opozicija s Soncem)  $m = -12,75$  magnitude (srednja vrednost) in albedo (svetlobna odbojnost) Lune  $\delta = 0,14$  (približna vrednost\*). Upoštevamo še ekstinkcijo (ok. 25% vpojnost) svetlobe v Zemljinem ozračju.

.....  
 \* Zelo zanimivo, prav medtem, ko sem sestavljal to vsebino, so na svetovnem spletu albedo Lune spremenili oziroma popravili od 0,12 na 0,14, kar je za nekaj kotnih minut izboljšalo dobljeni rezultat za splošni zorni kot Lune ob povprečnem ščipu.

Lunin zorni kot  $\alpha$  pri opazovanju z Zemlje izračunamo iz znane zveze  $\alpha/360^\circ = 2R/2\pi r$ , kjer pomeni  $R$  radij Lune in  $r$  oddaljenost Lune od Zemlje in je v kotnih enotah:  $\alpha = 57,3^\circ \cdot (2R/r)$ . V bistvu želimo kvocient  $2R/r$  izraziti z izbranimi osnovnimi podatki. To naredimo v nekaj korakih takole.

Za gostoto svetlobnega toka, ki pade s Sonca na Luno ob polni luni, vzamemo kar gostoto svetlobnega toka, ki pade na Zemljo:  $j_0 = 1400\text{ W/m}^2$ .

Gostoto svetlobnega toka  $j$ , ki pade s polne lune na Zemljo, izračunamo iz osnovne astrofotometrične Pogsonove enačbe  $j/j' = 10^{-0,4(m-m')}$ , kjer je  $j' = 10^{-8}\text{ W/m}^2$  pri  $m' = 1$  magnituda. Pri 25% vpojnosti je  $j = (3/4) \cdot 10^{-8} \cdot 10^{-0,4(-13,75)}\text{ W/m}^2 = 24 \cdot 10^{-4}\text{ W/m}^2$ .

Od Lune se odbije svetlobni tok  $j_0 \cdot \pi R^2 \cdot \delta$ . V razdalji  $r$  pade na Zemljo tok z gostoto  $j_0 \cdot \pi R^2 \cdot \delta / 2\pi r^2$  (upoštevamo le od Sonca osvetljeno Lunino polkroglo ob polni luni, obrnjeno proti Zemlji). Ta kvocient je enak gostoti svetlobnega toka  $j$ . Iz enakosti  $j_0 \cdot \pi R^2 \cdot \delta / 2\pi r^2 = j$  dobimo  $2R/r = \sqrt{(8 \cdot j / j_0 \cdot \delta)} = \sqrt{(8 \cdot 24 \cdot 10^{-4} / 1\,400 \cdot 0,14)} = 0,99 \cdot 10^{-2}$  radiana in  $\alpha = 0,57^\circ = 34'$ .

Dobili smo rezultat, ki pade v zelo zahtevno postavljen interval in je blizu srednje vrednosti (samo 6 % relativna napaka). To je odlična vrednost za oceno. Za šolo je zelo sprejemljiva, posebno še zato, ker vliva veliko zaupanje v uporabljeno logiko, fizikalne zakone in matematični izračun.

Je pa z reševanjem takšne naloge takole. Iz približnih podatkov ne moremo dobiti natančne vrednosti računane količine. Solarna konstanta  $j_0$  je podana kar natančno, pri  $j$  je nekoliko vprašljivo podan sij  $m$ , vprašljiva je tudi  $\delta$ , ki so jo popravili. Vsak netočen podatek vpliva na končni rezultat. A tu smo

se zelo potrudili, da smo izbrali najprimernejše in trenutno najnatančnejše podatke. Uspeh ni izostal. Zaupanje v fiziko in matematiko v astronomskih računih ostaja neomajno in trdno za zdaj in vse čase naprej.



**Mladenič in mladenka na vrhu hriba pred ščipom ali polno luno; slikano s teleobjektivom. Koliko je vrh hriba oddaljen od nas (fotografa), če je mladenič visok 180 cm in je zorni kot Lune okoli  $0,5^\circ$ ? [Približno 1,2 km.]**

## 7. Sij polne zemlje na Luninem nebu

Z Lune bi lahko opazovali Zemljine mene. Sij Zemlje na črnem Luninem nebu se spreminja, kot se spreminja tudi sij Lune na Zemljinem nebu. Sij Zemlje je največji ob mlaju. Takrat od Sonca obsijana Zemljina polovica najmočneje osvetljuje od Sonca neosvetljeno polovico Lune. V tem času sveti Zemlja na Luninem nebu kot *polna zemlja*\* (angl. *full earth*). Ugotovimo *sij polne zemlje*.

Izračunali smo že, da ob mlaju Zemlja osvetljuje Lunino površje z okoli  $0,06 \text{ W/m}^2$ . Poglejmo, kolikšnemu siju Zemlje ustreza ta gostota svetlobnega toka na površju Lune.

Uporabimo Pogsonovo enačbo. Sij polne zemlje označimo z  $x$ . Iz nastavljene enačbe  $0,06/10^{-8} = 10^{-0,4(x-1)}$  sledi:  $-1,22 = -8 - 0,4(x-1)$  in  $x = -15,95$  magnitude  $\approx -16$ . magnituda.

### Odgovor

Sij polne zemlje na Luninem nebu je (po tem računu) okoli  $-16$ . magnitude.

.....  
\* Tukaj smo uvedli v astronomsko prakso nov izraz: *polna zemlja*; dogovorimo se, da obe besedi izraza pišemo z malo začetnico, tako kot že od davna pišemo izraz *polna luna*. Do zdaj smo dajali ta izraz pod narekovaj, od zdaj dalje pa ga pišemo prosto, brez navedkov.



**Dobra polovica polne zemlje je že zlezla izza obzorja na črno Lunino nebo.**

*Foto NASA*

### Nujna in pomembna pripomba

To naj bi bila neka povprečna vrednost (bolj spodnja meja) za sij polne zemlje. Sicer pa je sij polne zemlje odvisen od več stvari: od trenutnega albeda od Sonca osvetljene polovice Zemlje, kar se zelo spreminja (vpliv oblakov, ledu, snega, puščav itn. nanese do  $\pm 0,2^m$ ), trenutne oddaljenosti Zemlje (vpliv  $\pm 0,1^m$ ) in celo trenutnega naklonskega kota, pod katerim padajo Sončevi žarki na osvetljeno Zemljino polkroglo ( $\pm 0,2^m$ ). Vse omenjeno vpliva na vrednost sija polne zemlje, ki ob posebnih podatkih lahko naraste tudi na okoli  $-16,5$  magnitudo. V tem primeru polna zemlja sveti na Luninem nebu  $10^{-0,4(-16,5+12,75)} = 10^{1,5} \approx 32$  – krat močnejše kot polna luna na našem nebu.

Po nekaterih ekstremnih podatkih lahko naračunamo za sij polne zemlje tudi  $-17$ . magnitudo in celo še malo več. Najpravilneje je, če rečemo, da ta sij leži med vrednostna  $-16^m$  in  $-17^m$ . Vrednost sija je odvisna od osnovnih podatkov, ki pa se v zadnjem času precej spreminjajo, samo ukvarjanje z Luno tako ali drugače pa je zahtevno, večinoma nikoli dokončano opravilo.

## **8. Luna in Zemlja, ki naj bi me privlačili z enakima privlačnima silama**

Zemlja in Luna zaradi svoje mase privlačita telesa, ki so na njih in/ali ob njih. Vzemimo, da me zanima, v kateri točki med Zemljo in Luno bi me Zemlja in Luna privlačili z enako silo. Zemlja bi me vlekla s svojo privlačno silo k sebi v eno smer, Luna s svojo privlačno silo tudi k sebi v nasprotno smer, jaz pa bi prosto mirno lebdel v vesolju, se ne premikal in čakal na odrešenje.

Privlačna (gravitacijska) sila  $F$ , s katero se dve telesi z masama  $m_1$  in  $m_2$  privlačita, je sorazmerna z zmnožkom obeh mas  $m_1 \cdot m_2$  in obratno sorazmerna s kvadratom njune medsebojne razdalje (med središčema mas)  $r^2$ . To zapišemo takole:

$$F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2;$$

$G$  je gravitacijska konstanta in ima svojo vrednost, a nam je za rešitev te naloge ni treba poznati. Zapisana enačba je Newtonov gravitacijski zakon (1687).

Razmerje mas Zemlje  $M$  in Lune  $m$  je  $M/m = 81/1$ , razdalja med njima pa je  $60 R$ , če je  $R$  radij Zemlje. Kje naj bi ležala točka, v kateri bi me obe telesi privlačili z enako privlačno silo?

Ta točka bi ležala nekje na zveznici središč obeh teles (mas), ne na sredini, ampak po občutku bližje Luni, ker je Zemljina privlačna sila močnejša kot Lunina.

Naj bo moja masa  $\mu$  in naj bom oddaljen od središča Zemlje  $x$ .

Zemlja bi me privlačila s silo  $F_1 = G \cdot M \cdot \mu / x^2$  v eno smer, Luna pa s silo  $F_2 = G \cdot m \cdot \mu / (60 R - x)^2$  v nasprotno smer. Sili sta nasprotno enaki,  $F_1 = F_2$ .

Izenačimo izraza za sili:  $G \cdot M \cdot \mu / x^2 = G \cdot m \cdot \mu / (60 R - x)^2$ . Po krajšanju je  $M/x^2 = m/(60 R - x)^2$ , nadalje  $(60 R/x - 1)^2 = m/M$  in  $(60 R/x - 1) = 1/9$  ter končno  $x = 54 R$ .

### Odgovor

Točka, v kateri bi me Zemlja in Luna privlačili z enako silo, leži  $54 R$  oddaljena od središča Zemlje (ali  $6 R$  oddaljena od središča Lune).

## 9. Vrtenje Lune

Veliko jih misli, da se Luna ne vrti. Pa se. Brez težav lahko ugotovimo, da ob vsakem pogledu na Luno vidimo vedno ista območja njenega površja, da nam Luna vedno kaže svojo isto polovico (stran, poluto, pesniško lice, obraz).

Če se Luna ne bi vrtela, bi v času enega njenega obhoda okrog Zemlje videli vse njene strani, to je vse njeno površje. Če obkrožimo kak predmet, ga ves čas vidimo le v primeru, da smo stalno z obrazom obrnjeni proti njemu. Tako je tudi z Luno.

Luna se vrti razmeroma počasi. Enkrat se zavrti ravno v času, ko obkroži Zemljo, to je približno v enem mesecu. Zaradi tako počasnega vrtenja traja en Lunin dan dva naša tedna in prav toliko tudi noč na Luni. Sonce vzhaja in zahaja tudi za opazovalca na Luni, se počasi navidezno premika na Luninem nebu oziroma glede na Lunino obzorje. Na Luninem nebu se premika kar 30 krat počasneje kot na Zemljinem. Zato je sredi Luninega dneva v prisončnih točkah zelo vroče (okoli  $150^\circ \text{C}$ ), sredi noči pa v odsončnih (senčnih) predelih zelo hladno (okoli  $-150^\circ \text{C}$ ).

Vrtenje Lune lahko prikažemo v igri, kjer nastopata dve osebi. Prva oseba predstavlja Zemljo, druga Luno. Druga posnema gibanje Lune okrog Zemlje.

Luna kroži okrog Zemlje tako, da je vedno z isto stranjo obrnjena proti Zemlji, ki jo obkroži približno v enem mesecu (29,3 dni).

Oseba-Luna prikaže gibanje okrog osebe-Zemlja tako, da počasi kroži okrog nje z desne proti levi in je ves čas obrnjena proti osebi-Zemlja (nos gleda

proti osebi-Zemlja). Oseba-Zemlja naj v tem prikazu raje miruje (čeprav vemo, da se Zemlja giblje – kroži in se še vrti). V času, ko oseba-Luna enkrat obkroži osebo-Zemlja, se oseba-Luna tudi enkrat zavrti okrog svoje vrtilne (navpične) osi. Nos osebe-Luna se namreč v tem času zavrti za polni kot ( $360^\circ$ ). Da se oseba-Luna vrti, najbolje prikažemo tako, da oseba-Luna namesto nosu raje uporabi kratko debelo palico, ki je stalno usmerjena proti osebi-Zemlja.

Torej, ko pride oseba-Luna pri svojem kroženju iz svoje prvotne lege nazaj v prvotno lego, obkroži osebo-Zemlja in se tudi sama enkrat zavrti, kar v naravi traja približno en mesec.

## **10. Zakaj Luna vsak dan vzide ali zaide skoraj eno uro kasneje glede na prejšnji dan**

Luna obkroži Zemljo približno v 30 dneh (v enem mesecu). V enem dnevu naredi okoli  $1/30$  svoje poti okrog Zemlje, in sicer na nebu v smeri od zahoda proti vzhodu (v levo, če smo z obrazom obrnjeni k Luni ali proti jugu). Tako poteka njeno mesečno gibanje na nebu. Na nebu se torej dnevno premakne za okoli  $1/30$  polnega kota, to je za  $(1/30) \cdot 360^\circ$  na dan =  $12^\circ$  na dan proti vzhodu. Zato Luna vsak dan vzide oz. zaide toliko pozneje glede na prejšnji dan, kolikor časa potrebuje Zemlja, da se okrog svoje vrtilne osi zavrti za  $1/30$  svojega obrata, to je za  $(1/30) \cdot 24$  ur =  $(1/30) \cdot 24 \cdot 60$  minut = 48 minut. Od prvega do drugega Luninega vzida oz. zaida torej preteče približno 24 ur in 50 minut ali zelo okroglo, skoraj 25 ur.

Če na primer danes Luna vzide (zaide) ob 8. uri (20. uri), bo jutri vzšla približno ob 8. uri 50 min (zašla približno ob 20. uri 50 min). Tako pove račun. Toda Luna je zelo muhasto in nepredvidljivo nebesno telo. Večinoma se ravna po tem računu. Včasih pa se lahko zgodi, da Luna zaradi različnih vzrokov naslednji dan ne vzide (ne zaide) natančno ob napovedanem času, ampak pride do razlike nekaj minut. To velja za idealno obzorje. Hribovito in razgibano obzorje še dodatno spremeni čas vzida ali zaida Lune, ki med letom vzide in tudi zaide v različnih točkah danega obzorja. Vendar pa v povprečju večinoma velja, kar smo izračunali.

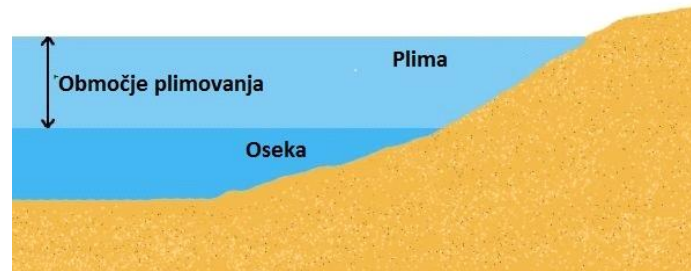
***Bistvo je:** Ker se Luna na nebu premika proti vzhodu (njeno mesečno gibanje zaradi kroženja okrog Zemlje), zato vsak dan vzide ali zaide skoraj eno uro kasneje glede na prejšnji dan.*

## **11. Plima in oseka**

Z Luno in njenim gibanjem okrog Zemlje je tesno povezan pojav plime in oseke, ki mu rečemo tudi plimovanje ali bibavica.

Pojav plime (dviganje morske gladine, visoka voda) in oseke (padanje morske gladine, nizka voda) na Zemlji je znan že od davna. Pojasnili pa so ga šele, ko so odkrili in dokazali, da se vsa telesa v vesolju privlačujejo, ko so fiziki odkrili zakon splošne privlačnosti ali gravitacije (Isaac Newton, 1687).

Plimo in oseko povzročata Lunina in Sončeva privlačna sila na Zemljo. Luna povzroča okoli  $\frac{3}{4}$ , Sonce okoli  $\frac{1}{4}$  plimovanja.



Privlačnost (privlačna sila) enega vesoljskega telesa na drugo se zelo hitro manjša z oddaljenostjo teles (s kvadratom razdalje med njima). Predstavljajmo si, da Zemljino kroglo prekriva enakomerno debela plast vode. Luna različno močno privlači posamezne dele Zemlje. Najbližje vodne dele privlačuje bolj, najoddaljeneje pa manj kot osrednje. Zato Zemljin vodni plašč nabrekne na delih, ki so Luni najbližje in najdlje. Tam je plima oziroma plimska nabreklina.

Zaradi vrtenja Zemlje in gibanja Lune okrog Zemlje plimska nabreklina obhodi vso Zemljino kroglo. V času 24 ur in 50 minut (okoli en dan in eno uro), ko se na primer na Zemlji zvrstita dva zaporedna vzida Lune, nastopita dve plimi in dve oseki.

Ena plima in ena oseka se tako zvrstita v času 12 ur in 25 minut. Plimi sledi oseka, oseki plima in plimi spet oseka in oseki spet plima in tako dalje. Od plime do oseke po računu torej preteče 6 ur in 12,5 minut, vendar pa ne naredimo velike napake, če kar rečemo, da med njima preteče dobrih 6 ur. Tako bi se plime in oseke morale vrstiti druga za drugo po računu, a večkrat ni tako. Zaradi različnih vzrokov (trenja morske vode z morskim dnom, viharjev, neurij, itn) se ne ravna po računu in bolj ali manj kasnijo. Podrobnosti izpustimo.

V nekaterih zalivih, predvsem v dolgih ustjih velikih rek, ki se zlivajo v oceane, je lahko razlika med najvišjo višino plime in najnižjo višino oseke včasih tudi več kot 20 m. To morajo upoštevati mornarji, ko vplujejo v določena pristanišča in raztovarjajo ladje le ob plimi (poznati morajo tako imenovani pristaniški čas), da ladje ne nasedejo.

### ***Opazovanje plime in oseke***

Plimo in oseko najprimerneje in sproščeno opazujemo v poletnih počitnicah na razsežnih obmorskih plitvinah. Otrok potrebuje pri tem opazovanju pomoč.

Morsko gladino opazujemo ves dan ali več dni zapored. Zabeležimo čas nastopa plime in pogledamo, ali vidimo Luno. Na plitvini tam, do kamor sega voda ob plimi, zabijemo kol ali postavimo velik kamen.

Kraj:..... Datum:.....  
Prva plima nastopi v času  $t_1 = \dots$  ura  $\dots$  min. V plitvino zabijemo prvi kol.  
Druga plima nastopi v času  $t_2 = \dots$  ura  $\dots$  min. V plitvino zabijemo drugi kol.  
Tretja plima nastopi v času  $t_3 = \dots$  ura  $\dots$  min. V plitvino zabijemo tretji kol.  
In tako naprej.

.....  
Čas med dvema zaporednima plimama je  $t_2 - t_1 = \dots$  ur  $\dots$  minut;  $t_3 - t_2 = \dots$  ur  $\dots$  minut, itn.

Opazujemo več zaporednih plim, zabeležimo čase nastopa plim in čase med dvema zaporednima plimama primerjamo med seboj in tudi s teoretičnim računom. Ne smemo biti preveč razočarani, če se časi ne ujemajo z računom (s teorijo).

### Opomba

Podobno lahko beležimo tudi čase nastopa osek med plimama. Če še zabijemo količke tam, do kamor na plitvini sega vodna gladina ob osekah, lahko ugotavljamo še razliko v višini morske gladine ob plimi in oseki itn. Ugotavljamo lahko tudi čase med zaporednimi plimami in osekami. Še sami si lahko kaj izmislimo, kako bi drugače opazovali plimo in oseko.

## **12. Lunino zakritje**

Zakritje ni samo nebesni, ampak je pojav iz navadnega življenja, ko opazujemo, da prvo (vesoljsko) telo zakrije ali okultira drugo. Prvo telo je med nami in drugim telesom, kar pomeni, da je drugo, zakrito ali okultirano telo, dlje od nas, kot je oddaljeno prvo. Zakritega telesa ne moremo opazovati, saj ga ne vidimo. Ta pojav večkrat navajajo kot dokaz, katero od dveh vesoljskih teles je pri zakritju od nas bolj oddaljeno, ali prvo ali drugo.

Najpreprostejši primer zakritja je, da z roko zakrijemo Luno. Ni potrebna razlaga, kaj je dlje.

Luna pri svojem gibanju na nebu lahko zakrije zvezde, planete, planetoide, glave kometov, radijske vire itn. To, da jih zakrije, pomeni, da so vsa omenjena vesoljska telesa od nas bolj oddaljena kot Luna.

Najbolj znana, številna, raziskana in tudi pomembna so Lunina zakritja zvezd. Pri tem zakritju zvezda v hipu zaide za vzhodni Lunin rob in v hipu tudi vzide izza zahodnega.

Lunino zakritje zvezde se zgodi v nekaj stotinkah sekunde. Pojav lahko posnamemo na filmski trak, s TV kamero, posebnim fotometrom, videom. Zelo natančni pregledi teh posnetkov kažejo, da Luno obkroža skrajno redka

atmosfera, tako zelo redka, da bi lahko rekli, da je sploh nima. Pri izredno skrbnem vizualnem opazovanju sij zvezde dve do tri sekunde preden izgine za Lunin rob zelo narahlo oslabi, zvezda nekako šibko «zamigota» oziroma »oblodi«, predno zaide za Luno.



**Zvezda Spika, dne 30.11.1994 zjutraj, tik pred Luninim zakritjem (levo zgoraj). To bo Lunino zakritje Spike (rečemo lahko tudi: To bo zakritje Spike z Luno.).**

**Ko se Luna giblje na nebu, občasno pride pred kakšno zvezdo. Zakrije zvezdo in nam začasno prepreči, da bi jo opazovali. Ker Luna skoraj nima atmosfere, ki bi počasi slabila zvezdino svetlobo, zvezda v hipu zaide (izgine - zakritje) ali v hipu vzide (se pojavi - odkritje). Lunino mesečno gibanje glede na zvezde poteka v vzhodni smeri. Zato se zaid (izginjenje) zvezde vedno dogodi na vzhodnem Luninem robu, vzid (pojav) zvezde pa na zahodnem.**



**Luna je prišla med Venero in Zemljo. Venera je pravkar vzšla (prišla, prilezla) izza zahodnega Luninega roba. Pred kratkim se je zgodilo Lunino zakritje Venere (zakritje Venere z Luno).**



Iz Luninega zakritja zvezd je mogoče tudi izmeriti skrajno majhne zorne kote zvezd, nekaj stotink kotne sekunde, kakor npr. zorni kot  $0,041''$  za zvezdo Antares, in nato pri njihovi znani oddaljenosti izračunati njihove radije.

Kot zgled izračunajmo radij Antaresa v radijih Sonca  $R/R_0$ , če je izmerjeni zorni kot  $\alpha$  Antaresa  $\alpha = 0,041''$ , njegova oddaljenost od Zemlje  $r = 620$  sv. let (1 svetlobno leto je  $9,5 \cdot 10^{12}$  km), radij Sonca pa  $R_0 = 7 \cdot 10^5$  km.

To izračunamo kar z osnovnošolsko matematiko šestega ali sedmega razreda. Ker je oddaljenost  $r$  zvezde zelo velika in zvezdo povrh vidimo še v ekstremno majhnem zornem kotu  $\alpha$ , lahko upravičeno uporabimo enačbo za središčni kot  $\alpha$  in njemu pripadajoči lok, ki je kar enak tetivi  $t = 2R$ , pri krožnici z radijem  $r$ . Velja enačba:  $2R/2\pi r = \alpha/360^\circ$ , od koder sledi radij zvezde Antares v radijih Sonca:  $R/R_0 = \pi\alpha/360^\circ \cdot R_0 = \pi \cdot 620 \cdot 9,5 \cdot 10^{12} \text{ km} \cdot 0,041''/360 \cdot 60 \cdot 60'' \cdot 7 \cdot 10^5 \text{ km} \approx 840$ .

Zvezda Antares je rdeča nadorjakinja poznega spektralnega tipa, katere radij je približno 840-krat večji od radija Sonca in je med največjimi zvezdami v naši Galaksiji, kar jih poznamo. Je tako velika, da bi s svojim radijem dosegla skoraj Jupitrovo orbito, če bi Sonce postavili v njeno središče.

Mimogrede omenimo, da je kot  $0,041''$  tako ekstremno majhen, da v njem pri pravokotnem pogledu razločimo 2 mm dolgo daljico v oddaljenosti 10 km. Z Luninimi zakritji pa lahko izmerijo še manjše zorne kote zvezd.

Medtem ko zvezda zaide ali vzide v hipu, pa planet kar nekaj časa zahaja (leze) za Lunin rob ali vzhaja (se počasi prikazuje) izza njega. Iz izmerjenega časa zahajanja planeta za Lunin rob je mogoče ugotoviti zorni kot planeta in pri znani oddaljenosti izračunati še njegovo velikost – radij.



**Saturn po Luninem zakritju počasi vzhaja izza Lune - ponoči dne 14.5.2014.**

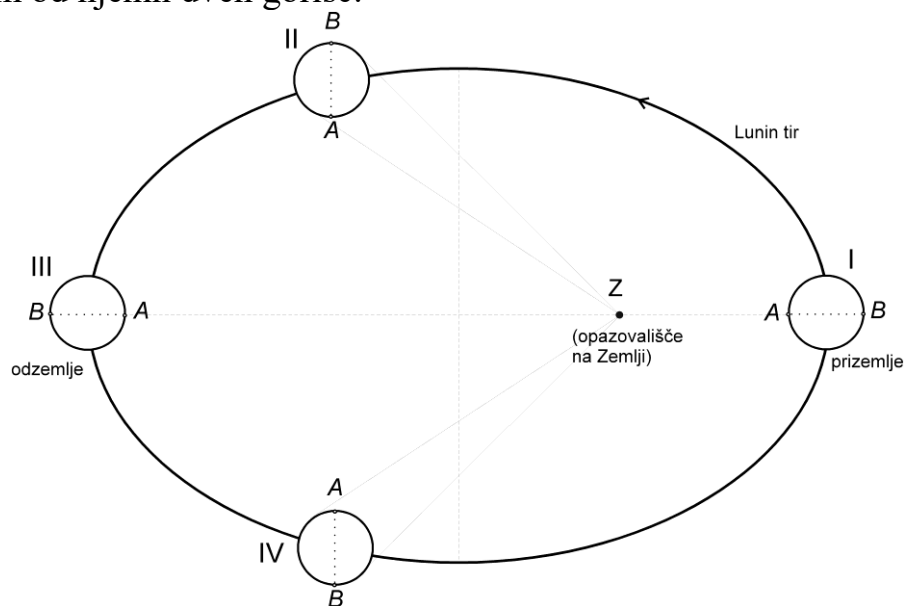
Z Luninimi zakritji zvezd ugotovijo tudi natančno lego Lune, za katero vemo, da ji je zaradi silno zamotanega gibanja zelo težko določiti, jo pa v raznih izračunih pogosto nujno potrebujejo. In Lunino zakritje zvezd je pravi način, ki to omogoča. Zakrite zvezde imajo namreč natančno izmerjeno ali izračunano nebesno lego. Natančna lega središča Lune na nebu pa je od natančne lege zvezde tik ob zakritju oddaljena samo za zorni kot polmera kroga (diska, okrogle ploskvice), ki jo na nebu zavzema Luna, to je za kot  $\frac{1}{2} \cdot 0,5^\circ = 15'$ .

### 13. Lunine libracije

Luna nam kaže vedno eno in isto polovico. Natančna opazovanja pa pokažejo, da je z Zemlje vidno več kot polovico Lune. Poglejmo, kako je s to zadevo.

Luna obide Zemljo v  $27 \frac{1}{3}$  dneva. V istem času se tudi zavrti okrog svoje vrtilne osi. Tako sta si obhodni čas in vrtilni čas Lune enaka. Prav zaradi tega je Luna k nam vedno obrnjena z isto stranjo.

Če bi Luna krožila, se pravi, da bi se gibala okrog Zemlje natančno po krožnici s središčem v središču Zemlje, bi nam res stalno kazala isto polovico. Toda Luna se giblje okrog Zemlje po elipsi in Zemlja ne leži v središču elipse, ampak v enem od njenih dveh gorišč.



**K razlagi Lunine libracije *levo in desno*; zaradi boljšega razumevanja smo sploščenost elipse prikazali pretirano. Vrisane so štiri Lunine lege za začetek vsake četrte meseca (vsakega 6,8 dneva). Zemlja je namenoma narisana kot točka Z, ki predstavlja kar opazovališče.**

Ko je Luna na svojem tiru v legi I, je Zemlji najbližje. To točko tira imenujemo *prizemlje*. Ko pa je v legi III, je od Zemlje najdlje. Ta točka se imenuje *odzemlje*. V prizemlju se giblje Luna z največjo hitrostjo 1,09 km/s, v

odzemlju pa z najmanjšo 0,97 km/s (v primerjavi s povprečno hitrostjo na tiru 1,02 km/s).

Luna se torej giblje okrog Zemlje neenakomerno, se pa skoraj enakomerno vrti okrog svoje vrtilne osi.

V legi I vidi opazovalec Z na Zemlji točko A v središču Lunine navidezne ploskvice. V prvi četrtini meseca prepotuje Luna več kot  $\frac{1}{4}$  elipse, saj je ob prizemlju njena hitrost največja. V tem času se Luna zavrti okrog svoje vrtilne osi za  $\frac{1}{4}$  polnega kota ( $90^\circ$ ).

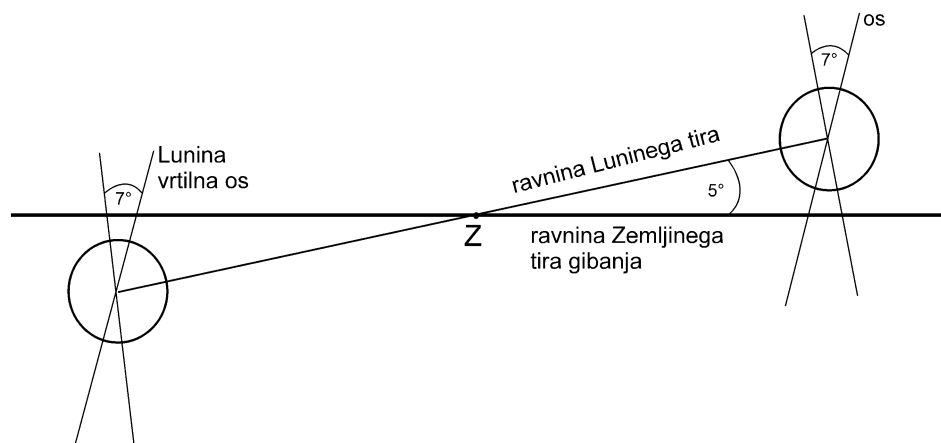
V legi II opazovalec Z ne vidi točke A več v središču Lunine navidezne ploskvice, ampak je od njega oddaljena navidezno nekoliko v levo. Ob desnem Luninem robu se mu odkrijejo območja, ki prej niso bila vidna.

V legi III čez pol meseca spet vidi točko A v središču Lunine navidezne ploskvice. V bližini odzemlja se Luna giblje počasneje. Zato naredi v tretji četrtini meseca krajšo pot do lege IV, ko je z Zemlje vidna točka A navidezno nekoliko desno od središča Lunine navidezne ploskvice, ob levem Luninem robu pa postanejo vidni prej nevidni predeli.

Tako razlagamo nihanje Lune levo in desno.

Luna se giblje po tiru, ki ne leži v ravnini gibanja Zemlje okrog Sonca. Njen tir je naklonjen k ravnini Zemljinega tira. Zato je enkrat nad to ravnino, drugič pod njo. Ko je Luna najvišje nad ravnino, z Zemlje vidimo nova območja ob njenem spodnjem robu, ko je najnižje pod ravnino, pa nova območja ob zgornjem robu.

To je razlaga zibanja Lune gor in dol.



### **K razlagi Lunine libracije gor in dol.**

Tem ponavljajočim se ali periodičnim gibanjem (nihanjem) Lune levo in desno ter gor in dol rečemo *Lunine libracije* (iz latinske besede *librare* - *zibati*, *gugati*, *nihati*).

Libracija levo-desno je posledica sploščenosti Luninega tira. Zaradi tega opazovalec na Zemlji malo več vidi čez zahodni oziroma vzhodni rob Lune.

Libracija gor-dol pa je posledica naklona ravnine Luninega tira k ravnini Zemljinega tira okrog Sonca. Zaradi tega opazovalec na Zemlji vidi malo več čez severni oziroma južni rob Lune. Je pa libracij več, kar bomo tu izpustili. Ti dve libraciji sta daleč največji in najpomembnejši, zato o njih pišemo.

Lunine libracije so odkrili v 17. stoletju poljski astronom J. Hevelij in Italijana G. B. Riccioli in G. Galilei.

Zaradi Luninih libracij je z Zemlje vidna več kot polovica Lune ali natančno 59% njenega celotnega površja. Po zaslugi vesoljskih sond, ki so fotografirale z Zemlje nevidno stran Lune, pa zdaj poznamo skoraj celotno Lunino površje.



**Posledica Luninih libracij - periodičnih nihanj Lune okrog njene ravnovesne lege levo in desno, gor in dol itn. Zato v daljšem obdobju vidimo več kot polovico, to je kar okoli 3/5 Luninega površja. Sliko si velja dobro ogledati in natančno preštudirati. *Slika s spleta.***

#### **14. Kraterji na Luni**

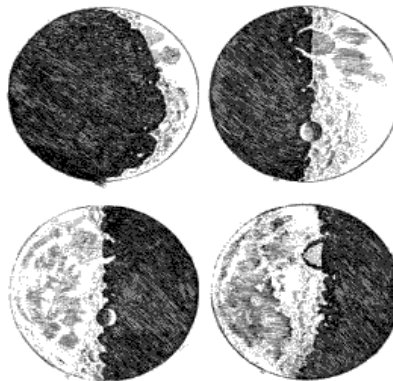
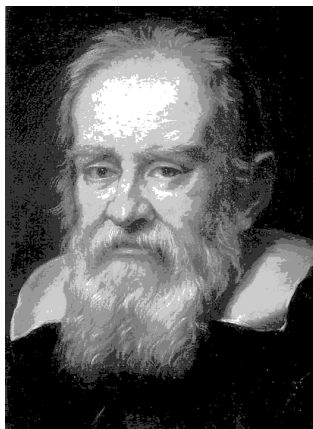
Selenografija ali lunepis opisuje in preučuje značilnosti Luninega površja. Ukvarja se s kartiranjem in tudi imenovanjem različnih reliefnih tvorb na Luni, to je morij, kraterjev, gor, gorskih vencev itn. Temni in svetli predeli na Luni so

vidni že s prostim očesom. Šele po odkritju daljnogleda (1610) so ljudje dobili resnično jasno sliko o Luninem površju.

Svetli predeli ali "celine" zavzemajo okoli 60% Luninega diska, temna območja ali "morja" pa 40%. Najznačilnejši za Lunino površje so kraterji, bolj ali manj okrogle vulkanskim žrelom podobne tvorbe (čšaše), ki so tudi na planetih in drugih lunah našega Osončja. Kraterje na Luni lahko opazujemo že z daljnogledom 5-kratne povečave in lovski daljnogled je za takšno opazovanje zelo primeren.

Na vidni strani Lune bi lahko našteali okoli 300 000 kraterjev s premerom od enega do sto kilometrov. Samo dvanajst kraterjev pa ima premer večji od 200 km.

Prvi selenograf je bil Galileo Galilei (1564–1642), saj nam je zapustil pet skic Lune.



**Prvi je z daljnogledom pogledal Luno veliki italijanski fizik in astronom Galileo Galilei. Na Luni je videl gore in doline. Tako je prvi ugotovil, da so v vesolju glede reliefa Zemlji podobna telesa. Zapisal je: "Kot se površje naše Zemljine krogle v glavnem deli na dva dela, celinsko in vodno, tako tudi na Luninem disku vidimo veliko razliko: eni deli so bolj svetli, drugi manj". Prikazane skice Lune je leta 1610 narisal Galileo Galilei po opazovanju s svojim prvim, v optičnem pogledu, zelo "skromnim" daljnogledom.**

Začetnik sistematične selenografije pa je bil Belgijec van Langren (1600–1675). V svoji *Karti Lune* (1645) je prvič dal imena objektom na Luninem površju. Uvedel je približno 300 imen, ki jih je vzel iz Biblije (svetniki, preroki), po članih kraljeve družine, po priimkih imenitnih dvorjanov in slavnih plemičev. Imena se niso obdržala. Na njegovi *Karti Lune* pa so se pojavila že tudi morja.

Po Langrenovi karti je izšla *Selenografija* (1647), ki jo je objavil poljski astronom Jan Hevelij (1611–1687). Na svoji lepi karti Lune je zbral okoli 250 imen. Na Luno je "prenesel" zemljepisna imena z Zemlje, npr. Alpe in Apenini.

Hevelij je uvedel "vodna imena" in s tem rešil poimenovanje temnejših predelov na Luninem površju. To, "morsko" poimenovanje, se je ohranilo do danes. Značilni izrazi so: oceanus (ocean), mare (morje), lacus (jezero), palus (močvirje), sinus (zaliv). Seveda vsa lunska imena niso vodna. Med značilnimi tvorbami Luninega površja so še gore, doline, hrbti, razpoke, brazde itn., najpomembnejši in najznačilnejši pa so kraterji

Tretji astronom, ki je "prideloval" imena na Luni, je bil Italijan Francesco Maria Grimaldi (1618–1663). Njegova *Karta Lune* (1651) je vsebovala okoli 300 imen. Ohranilo se jih je več kot 200. Največji uspeh Grimaldijeve karte je imenovanje kraterjev po priimkih učenjakov, v prvi vrsti astronomov. Luno je začel spreminjati v svetišče znanosti, saj je v svojo karto vnesel imena več kot 200 znanstvenikov

Tako se je nekako ustalilo poimenovanje tvorb na Luni. Hevelijeve Lunine gore so še naprej označevali z imeni Zemljinih gor. Za Alpami in Apenini so prišli Karpati, Pirineji, Kavkaz, Altaj itn. "Vodna" imena temnih predelov Lune so se nadaljevala po Grimaldijevem zgledu, pri čemer je izbor imen bolj svoboden (Centralni zaliv, Vzhodno morje, Južno morje), ali pa posvečen določenim osebam (Humboldtovo morje, Struvejevo morje). Število imen je vse bolj naraščalo. Z vse zmogljivejšimi daljnogledi so se pojavljala nova in nova imena.

Pomembno vlogo pri tem je odigral nemški ljubitelj astronomije, sicer pravnik J. H. Schroeter, ki je objavil zelo podrobno *Lunino karto* (1791), v katero je vnesel skoraj sto novih imen kraterjev. Lunina karta (1837) J. Maedlerja in W. Beera pa je k tem imenom dodala še 140 novih.



**Jurij Vega (1754–1802), eden najvidnejših znanstvenikov tedanje Avstrije (18. stoletje), še vedno naš najslavnejši matematik.**

Med številnimi kraterji na Luni sta tudi **Krater Vega** in **Krater Stefan**. Prvga sta vrisala Maedler in Beer v svojo *Karto Lune* (1837). Krater Vega v premeru okoli 75 km leži na južnem koncu Luninega diska ob Mare Australe (Južno morje). Drugega, okoli 120 km v premeru, pa so vrisali v Lunino karto v prejšnjem stoletju na nam nevidno stran Lune.

V 19. in 20. stoletju so Lunine karte izhajale vse pogosteje. Vsak sestavljaec si je zadal za nalogo, da navede čim več novih imen. Ponovila se je stara pesem, podobna tisti, ko so mrzlično ustvarjali nova ozvezdja.

Podobno kot je Mednarodna astronomska zveza (MAZ) naredila 1922 red pri sestavljanju in imenovanju ozvezdij, je zaradi splošne zmešnjave 1935 uredila tudi vprašanje imen na Luninem površju. Tega leta so potrdili seznam 672 imen največjih objektov, ki so vidni z Zemlje. Od tega leta dalje so vse nove uvedbe in spremembe imen na Luni izključno v rokah MAZ. Spisek imen se dopolnjuje z imeni znanih astronomov, ki so se v znanost zapisali po Grimaldiju, pa tudi z imeni pomembnih osebnosti iz drugih znanosti. Tako na Luninih kartah najdemo kraterje: Newton, Lalande, Lacaille, Piazzzi, Olbers, Gauss, Struve, Bessel, Encke, Schroeter in tudi Vega. Tam so ovekovečeni še tudi Amundsen, Scott, Marco Polo, Kolumb, Magellan, Cook, Vasco da Gama itn.



**Lega kraterja Vega na Luni.**

Novo poglavje glede imenovanja tvorb na Luni je prinesla avtomatska sonda Luna 3, ki je 1959 prvič fotografirala zadnjo stran Lune, z Zemlje nikoli vidne. Seveda so takoj začeli dajati imena objektom na nevidni strani našega satelita. Posebna komisija Akademije znanosti v tedanji Sovjetski zvezi je

predlagala lastna imena za nekatere novo odkrite (fotografirane ) tvorbe, kar so vnesli v *Atlas obratne strani Lune* (1960). To poimenovanje je potrdila MAZ. Med novimi imeni so npr. Sovjetski hrbet, Moskovsko morje, Morje sanj in okoli 15 kraterjev, med njimi Giordano Bruno, Lomonosov, Hertz, Kurčatov, Lobačevski, Maxwell, Mendeljejev, Pasteur, Popov, Sklodovskaja, Ciolkovski, Edison. Prehod k novi bolj široki izbiri imen za Lunine kraterje se nadaljuje in razvija.

Velik napredek pri proučevanju Luninega reliefa so omogočile številne sonde, natančne fotografije zadnje strani Lune, poleti in sprehodi človeka po njenem površju. Vse to je narekovalo, da vprašanje o imenih novo odkritih objektov rešijo boljše in natančnejše. Danes smo še daleč od tega, da bi imeli vsi objekti na Luni svoja imena. Na podrobni karti Lune so še vedno cela območja, kjer ni imena. Do 1981 se je na Luni "nabralo" že okoli 1300 novih imen, do danes pa jih je seveda že veliko več. Nimam pregleda. Na zadnji strani poleg astronomov kraljujejo številni naravoslovci, humanisti, pesniki, pisatelji, filozofi, jezikoslovci, arheologi, raziskovalci, astronauti, mitologi in dr.

\*\*\*

Prijetno se zdi človeku, da imamo tam gor med tako pomembnimi in slavnimi imeni ljudi tudi dva Slovenca. To je velika stvar.