

Slika Lune



JOŽE RAKOVEC

→ Pogosto vidimo sliko Lune, ki je svetla zgoraj, čeprav je Sonce dosti nižje na nebu, morda celo pod obzorjem. Tak je bil videti zadnji krajec 4. januarja 2020 zjutraj ob 07:52, ko je Sonce ravno vzšlo nad obzorje.



SLIKA 1.

Takrat je bil v ljubljanskem krajevnem krogelnem koordinatnem sistemu (izhodišče v točki 46,03° N, 14,49° E) azimut Sonca $A_{\odot} = 122,03^{\circ}$, njegova elevacija pa $\varepsilon_{\odot} = 1,17^{\circ}$, in azimut Lune $A_{\text{L}} = 261,95^{\circ}$ ter elevacija $\varepsilon_{\text{L}} = 23,53^{\circ 1}$. (Te podatke in še kaj o položajih na nebu lahko dobite na www.suncalc.org/ in www.mooncalc.org/.²) Luna je bila torej po azimutu za okrog 140° »pred Soncem« ter po višini za 22° »nad Soncem«.

Na spletnih astronomskih in fizikalnih forumih pravijo, da je Luna osvetljena od zgoraj takrat, ko je elevacija Sonca večja od elevacije Lune. Naš primer pa je ravno obraten! Kako to?

Razložimo torej! Če je polobla Lune na jugozahodnem delu neba videti osvetljena od zgoraj, potem pri taki podobi nanjo vpada svetloba od Sonca poševno navzdol, tako, kot je s puščico prikazano na povečani sliki zadnjega krajca: nekoliko od zgoraj pravokotno v sredino osvetljene površine Lune (slika 2).

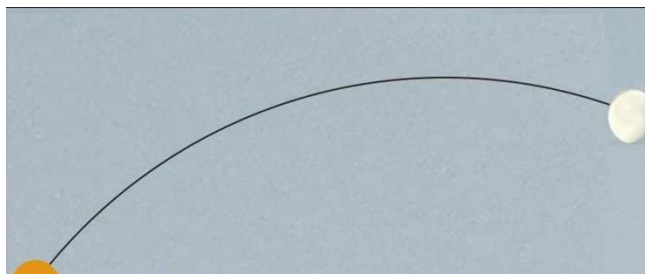
Ker je vzhajajoče Sonce bolj na vzhodu in nizko blizu obzorja, potem gredo pri taki podobi žarki od Sonca najprej navzgor, celo nad elevacijo Lune in potem nazaj navzdol do Lune. Očitno so ti žarki ukrivljene črte po nebu. Če pomislimo na to, da zelo oddaljene podobe na nebu gledamo, kot bi bile prikazane na nebesni polkrogli, potem so te ukrivljene črte od Sonca do Lune loki na krogelnem »projekcijskem platnu« neba.

¹Z azimutom označujemo smeri neba; to je kot po horizontalni ploskvi, štet od severa v smeri obračanja kazalcev na uri. Tako ima smer proti vzhodu azimut 90° , smer proti jugu 180° itd. Elevacija je kot, ki meri višino na nebesnem svodu. Elevacija je torej od 0° za točke na obzorju do 90° za zenit.

²Večina navedenih virov s spleta je (žal) v angleščini – sem in tja se najde kaj z vezi z našo obravnavo v slovenščini, npr. o krivuljah, ploskvah ter o krivuljah na krogli ter nekaterih projekcijah na spletni stani meteorologa Marjana Divjaka: diameter.si/scimath/ch16.htm#15. Seveda pa tudi v učbenikih in drugih knjigah.



SLIKA 2.



SLIKA 3.

Ker se svetloba širi premočrtno, se zavemo, da je ukrivljena pot le izgled ravne poti skozi prostor, kot je projicirana na nebesno polkroglo – torej je lok na površini krogle. Gre za perspektivno projekcijo³ ravne črte, kot jo vidimo iz svojega gledišča na sredi dna nebesne polkrogle – podobno kot so videti ukrivljene sicer ravne sledi letal na nebu – te za razliko od namišljenih žarkov lahko tudi zares vidimo.

³Razne projekcije spoznamo že v osnovi šoli. Perspektivno projekcijo z enim očiščem v 9. razredu osnovne šoli pri likovnem pouku, pravokotne in nekatere druge projekcije pa postopoma pri tehniki (in manj pri geometriji), ko rišemo telesa ob pogledih iz različnih smeri. Razne kartografske projekcije srečamo pri geografiji.

Kakšna bi bila obratna projekcija – krožnega loka v ravno črto? Krogelne površine ne moremo brezhibno predstaviti na ravni sliki, lahko pa brezhibno razvijemo plašč valja na ravnino. Za ta primer je Chris Jones⁴ pripravil animacijo postopne pretvorbe krivega žarka na plašču stožca v ravno črto. Njegova animacija kaže, kako se postopno deformira razvita ploskev plašča valja in kako pri tem ukrivljena črta med Soncem in Luno postaja vse bolj ravna. Le kliknite na chrisjones.id.au/MoonIllusion/ in ko se animacija odpre, kliknite še na prikaz, pa se vam bo hitro posvetilo za kaj gre.

Pretvorbe krive črte s krogelne površine na ravno ploskev ni mogoče brezhibno narisati – ker pač na ravnini ne moremo brezhibno upodobiti ploskve krogle. Obstajajo pa razne projekcije, ki jih poznamo iz kartografije. Polarni predeli Zemlje so največkrat narisani v polarni stereografski projekciji, pri kateri je projekcijska ploskev tangentna ravnina ob enem polu (ali tudi kaj odmaknjena od pola), izhodišče-očišče pa točka na nasprotnem polu – torej je ta projekcija perspektivna. Pri njej poldnevnik, ki so sicer na zemeljski krogli krogi, postanejo ravne črte iz sredine karte navzven. Za naš primer opazovanja Lune na nebu, ko nebo gledamo iz središča osnovne ploskve polkrogle, je še bolj ustrezna gnomonska kartografska projekcija, kjer očišče ni na nasprotnem zemeljskem polu, ampak v sredini Zemlje. (Glej npr. www.winwaed.com/blog/2010/01/11/polar-maps-and-projections-part-1-overview/).

Da ne zaidemo predaleč od opisa slike Lune: tudi Todd Lockwood⁵ je opazil, da je pogosto videti svetel zgornji del Lune tudi kadar je Sonce nizko, ob horizontu ali celo pod njim. Njegovo razlago s pomočjo ukrivljenega loka na krogli se zelo splača ogledati: www.muddycolors.com/2011/06/todd-lockwood-curvilinear-perspective-part-1/, pa tudi nekatera nadaljevanja, pri katerih razlaga, kako je tre-

⁴V Avstralijo preseljeni Anglež Chris Jones je predvsem raziskovalec na področju prepoznavanja govora – a očitno zna razložiti marsikaj, ne samo nenavadni izgled Lune na nebu: chrisjones.id.au/MoonIllusion/

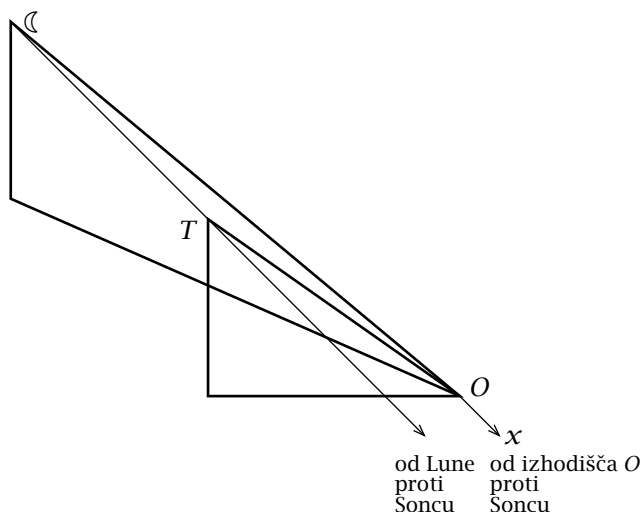
⁵Američan Todd Lockwood je predvsem ustvarjalec nenavadnih fantazijskih podob – glej še njegove druge spletne objave: www.toddlockwood.com/, pri razlagah ukrivljenih perspektiv pa nadomesti zadnjo enico z 2: namesto ...-part-1/ torej ...-part-2/-

ba upodobiti prizore iz 3D sveta, da tudi na sliki na ravnem papirju ali platnu izgledajo tridimenzionalni.

Poskusimo še mi malo poračunati. Za to moramo vedeti, kako sta povezana krogelni koordinatni sistem (A, ε, l) in kartezični koordinatni sistem (x, y, z) , ki imata isto izhodišče O . Iz krogelnega koordinatnega sistema (A, ε, l) v kartezični koordinatni sistem (x, y, z) je pretvorba: $x = l \cos \varepsilon \cos A$, $y = l \cos \varepsilon \sin A$ in $z = l \sin \varepsilon$.

Za kar najmanj dela izberimo čas točno ob vzhodu sonca, ko je elevacija Sonca ε glede na lokalno ravnino nič in zato višina z nad to ravnino tudi nič. Če izberemo glavno os x naše obravnave od izhodišča O , kjer stojimo, točno proti Soncu, je Sonce na tej osi in oddaljeno (zaokroženo) $L_S = 147$ milijonov kilometrov. Torej so njegove koordinate $x, y, z = (147 \text{ milijonov km}, 0, 0)$. Smerni kot Lune štet po ravnini opazovanja od smeri osi x je enak $A'_{\zeta} = 139^\circ$, elevacija Lune $\varepsilon_{\zeta} = 25^\circ$, za njeno oddaljenost od izhodišča vzamemo $l_{\zeta} = 400\,000$ km. Po kratkem računu dobimo za Luno njene kartezične koordinate (zaokroženo na tisoč km) $x_{\zeta} = -274\,000$ km, $y_{\zeta} = -239\,000$ km in $z_{\zeta} = 169\,000$ km. Razdalja od Lune do Sonca je za nekaj stotisoč kilometrov daljša, kot od izhodišča: $D_{LS} = 147,274$ milijona kilometrov, kar je v primerjavi s 147 milijoni kilometrov le malo več – samo za desetinko promila več. Po tej daljci se pomaknimo v točko T toliko proti Soncu, da je koordinata te točke x enaka nič: to pomeni za $\Delta = 274/147274 = 0,00186$ celotne razdalje do Sonca. Ob tem se zmanjšata tudi koordinati y in z na $(1 - \Delta) = 0,99814$ vrednosti pri Luni. Torej je $y_T = (1 - \Delta)y_{\zeta} = -238555$ km in $z_T = (1 - \Delta)z_{\zeta} = 168685$ km. Ko poznamo višino z_T točke T in njeno razdaljo od izhodišča do nje $d_{TO} = \sqrt{0 + y_T^2 + z_T^2} = 292\,170$ km, hitro izračunamo elevacijo iz $\sin \varepsilon_T = z_T/d_{TO}$ in dobimo $\varepsilon_T = 35,3^\circ$ – kar precej več od elevacije Lune. Na sliki je to prikazano v izometrični predstavitvi, pri kateri kaže os y v desno in os z navzgor (dolžine so vse v istem merilu, smeri in koti pa niso pravi).

V zvezi z računom: ali smo v tej točki T blizu največji elevaciji? Ali je morda najvišja elevacija na tej daljci morda kaj bližje Luni ali morda kaj dlje od Lune? Razmislite!



SLIKA 4.

Os x od izhodišča O ; razdalja do Sonca je $D_{OS} = 147,00$ milijona kilometrov, od Lune do Sonca je malce dlje: $D_{LS} = 147,274$ milijona kilometrov. Koordinate Lune glede na izhodišče so $x_{\zeta} = -274$ tisoč km, $y_{\zeta} = -239$ tisoč km, $z_{\zeta} = 169$ tisoč km in elevacija $\varepsilon_{\zeta} = 25^\circ$. Koordinate točke T na daljci od Lune do Sonca glede izhodišča O pa so $x_T = 0$, $y_T = -238,6$ tisoč km, $z_T = 168,7$ tisoč km in elevacija $\varepsilon_T = 35,3^\circ$.

Za konec. Morda bi morali tisti, ki po spletnih forumih pravijo, da je Luna osvetljena od zgoraj samo, kadar je elevacija Sonca večja od elevacije Lune, opozoriti, da pri tem mislijo na dejansko višino nad ravnino opazovanja, da pa podoba na nebu včasih izgleda tudi drugače.

× × ×

www.dmfa.si

www.obzornik.si

www.presek.si