

Majo Prosen

## Pojavi ob ekliptiki

*Kolegu in prijatelju, profesorju Cirilu Velkovrhu (1935–2017) –  
ob prvi obletnici smrti.*

*Na številne astronomske pojave sploh ne pomislimo, da se dogajajo ob kakšnih značilnih točkah ali krivuljah na nebu. Ena taka značilna, zelo znana, a očem seveda nevidna nebesna krivulja, je ekliptika – velika krožnica na nebesni sferi. Predstavlja navidezno letno pot Sonca. Ob njej se dogaja več pomembnih astronomskih pojavov. O njih na kratko v tem prispevku.*

### Najprej o ekliptiki

Izraz ekliptika je izpeljan iz grške besede ékleipsis (έκλειψις - izostanek, izpuščanje, mrk; ekleiptikos - mesto, kjer je izostanek, kjer je oziroma se pojavi mrk). Tako je ekliptika neposredno povezana z mrki, z Luninimi in Sončevimi.

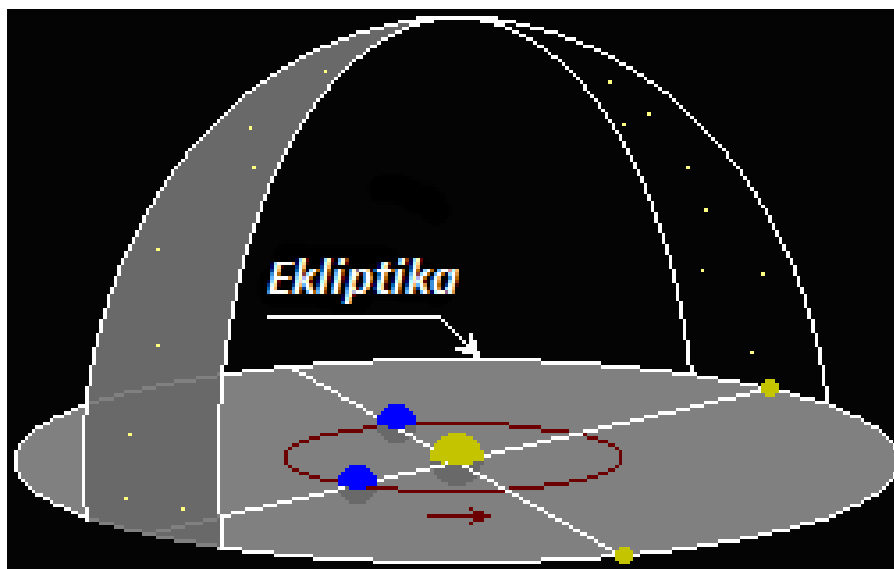
Mrki torej nastajajo na ali pa tik ob ekliptiki, navidezni letni Sončevi poti. Pravzaprav se dogajajo hkrati na dveh Sončevih poteh, saj poznamo dve njegovi navidezni poti: dnevno in letno. Dnevno pot od vzhoda proti zahodu zaradi vrtenja Zemlje od zahoda proti vzhodu in letno pot proti vzhodu zaradi kroženja Zemlje okrog Sonca. Prva, ki jo zlahka opazimo, se odigra v enem dnevu (v 24 urah), druga, ki jo težje opazimo, pa v enem letu (v 365 dneh).

Ekliptiko različno pojasnjujejo, celo z Zemljino krožno potjo v vesolju, kar ni prav. Ekliptika je samo na nebu. No, povezava je že. Je projekcija Zemljine poti okrog Sonca na nebesno sfero. Tako posredno pridelamo veliko krožnico na nebesni sferi, ki predstavlja letno pot Sonca na nebu.

Definicija ekliptike je preprosta. To je: navidezna letna pot Sonca ali letna pot Sonca na nebu ali letna pot Sonca glede na zvezde ali pot, ki jo na nebu naredi (opravi, opiše) Sonce v enem letu zaradi kroženja Zemlje. Vse štiri opredelitve za ekliptiko so sprejemljive in so popolnoma v redu.

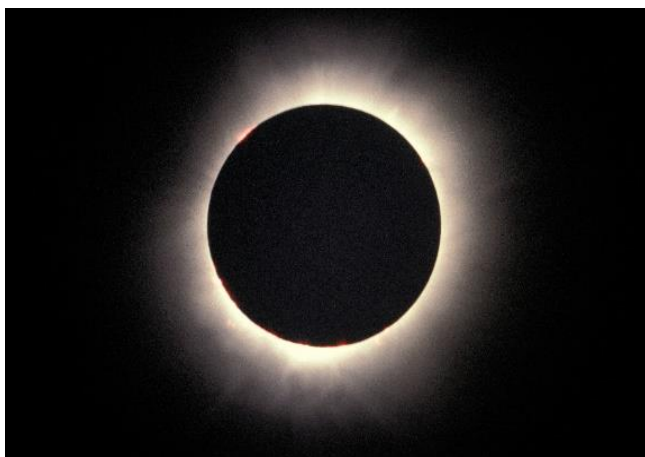
Čeprav mrki nastopajo na (ob) ekliptiki, jih tukaj ne bomo posebej obravnavali, saj je to preveč splošno znana in tako velikokrat obravnavana astronomska vsebina, da bi se tukaj lahko ponavljali in postali nezanimivi. Preveč zguljena tema. Temu se bomo izognili. Povedali bomo le bistveno.

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 ni nikjer tako čudovito lepih Sončevih mrkov kot pri nas. Vzrok Sončevih mrkov je znan. Njihova posebnost na Zemlji pa se kaže 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 v mejah med 29,4' in 33,5'. 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.



**Nastanek ekliptike; z Zemlje (leva modra kroglica) projiciramo Sonce na nebesno sfero - kroglo (česar seveda ne vidimo, saj se to dogaja podnevi). Tako nastane navidezna lega Sonca na sferi, natančneje, na ekliptiki. Ker se Zemlja na svojem tiru okrog Sonca giblje oz. premika (gl. puščico) in z Zemlje stalno projiciramo Sonce na nebesno sfero, se navidezno, to je na nebu premika tudi Sonce po ekliptiki. Ko Zemlja obkroži Sonce, Sonce opiše svojo navidezno pot na nebesni sferi - ekliptiko. Sonce pride spet v svojo prvotno navidezno lego po enem letu, to je ravno v času, kolikor je obhodni čas Zemlje okrog Sonca.**

Sončev mrk je zelo 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 razmeroma pogosti, saj se v ciklu 18. let zvrsti kar 43 različnih tipov Sončevih mrkov.



**Popolni Sončev mrk in kolobarjasti Sončev mrk – edinstvena naravna pojava pri planetih v Osončju, vendar vidna samo z Zemlje.**

Toliko glede Sončevih mrkov. Zdaj obrnimo našo pozornost pojavom, ki so podobni Sončevemu mrku in se prav tako dogajajo ob ekliptiki. Gre za *zakritja* ali okultacije in *navidezne prehode* ali navidezna prečkanja ali navidezne tranzite vesoljskih teles. Glavni igralci v teh ob ekliptičnih pojavih so spet Luna in Sonce, pridružijo pa se jima še zvezde, planeti, planetoidi,..., in tudi vsa vesoljska družčina, ki biva ali pa kakorkoli in kadarkoli pride v neposredno navidezno bližino ekliptike. Glavni opazovalci teh pojavov pa smo mi – Zemljanke In Zemljani.

**Kaj je zakritje?**

Zakritje je pojav, ko z Zemlje (lahko pa tudi z drugega vesoljskega telesa) opazujemo, da prvo vesoljsko telo zakrije ali okultira drugo. Prvo telo je med nami in drugim telesom, kar pomeni, da drugo, to je zakrito ali okultirano telo, leži od nas dlje kot prvo. Zakritega telesa ne moremo opazovati, saj ga ne vidimo. Ta pojav večkrat navajajo kot dokaz, katero od dveh vesoljskih teles pri zakritju je od nas bolj oddaljeno, ali prvo ali drugo.

Najpreprostejši, skoraj banalni primer zakritja je, da z roko zakrijemo Luno. Ni potrebno razlagati, kaj je dlje, Luna ali roka.

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.

Tudi planeti lahko pri svojem gibanju na nebu zakrijejo zvezde, bližnji planeti celo zakrijejo oddaljeneje. Prvo se dogaja zelo redko, drugo pa še redkeje. Lahko bi navedli še kak drug primer, npr. kometno zakritje zvezde, a naj bo to za zdaj dovolj.



**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.**

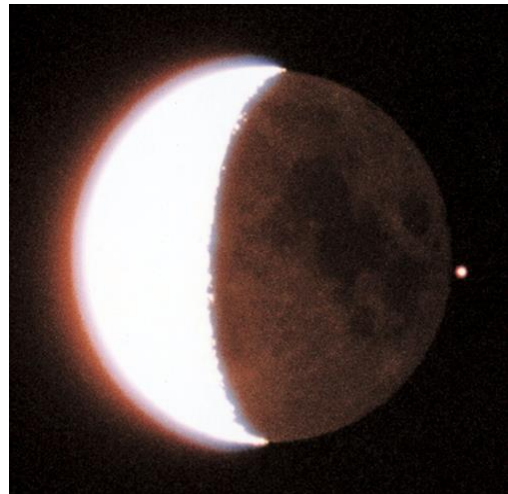
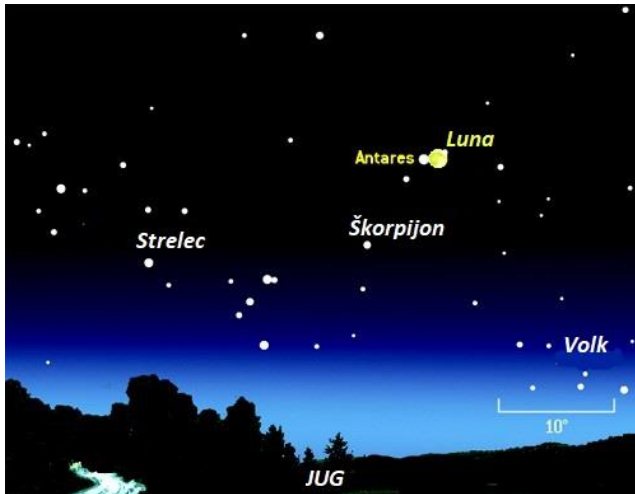
**Ko se Luna giblje na nebu, občasno pride pred kakšno zvezdo. Zakrije zvezdo in nam začasno prepreči, da bi jo opazovali. Ker Luna skoraj nima atmosfere, ki bi počasi slabila zvezdino svetlobo, zvezda v hipu zaide (izgine - zakritje) ali v hipu vzide (se pojavi - odkritje). Lunino mesečno gibanje glede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

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.



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

Lunino zakritje zvezde se zgodi v nekaj stotinkah sekunde. Pojav lahko posnamemo na filmski trak, s TV kamero, fotocelico, 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 predno izgine za Lunin rob, zelo narahlo oslabi, zvezda nekako šibko «zamigota» oziroma »obledi«, predno zaide za Luno.



**Levo - Lunino zakritje zvezde Antares zgodaj zjutraj 24.5.2005; desno – Antares kmalu po tem zakritju. .**

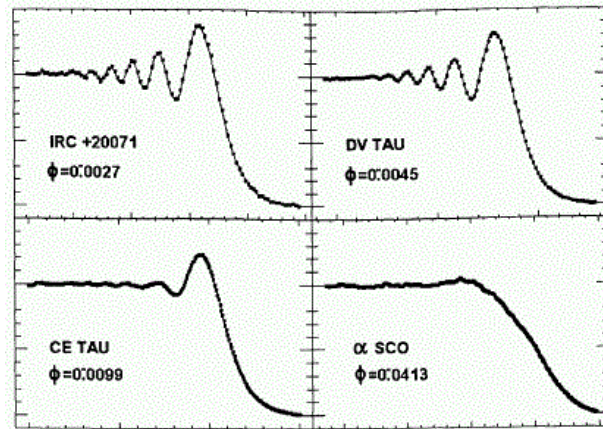
Iz Luninega zakritja zvezd je mogoče celo izmeriti skrajno majhne zorne kote zvezd, nekaj stotink kotne sekunde, kakor npr. zorni kot  $0,041''$  za zvezdo Antares, in nato pri njihovi znani oddaljenosti izračunati njihove radije.

Kot zgled izračunajmo radij Antaresa v radijih Sonca  $R/R_0$ , če je izmerjeni zorni kot 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:  $R/R_0 = \pi r \alpha / 360^\circ \cdot R_0 = \pi \cdot 620 \cdot 9,5 \cdot 10^{12} \text{ km} \cdot 0,041'' / 360 \cdot 60 \cdot 60'' \cdot 7 \cdot 10^5 \text{ km} \approx 840$ .

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 skrajno majhen, da v njem pri pravokotnem pogledu razločimo 2 mm dolgo daljico v oddaljenosti 10 km. Z Luninimi zakritji pa izmerijo še manjše zorne kote zvezd.



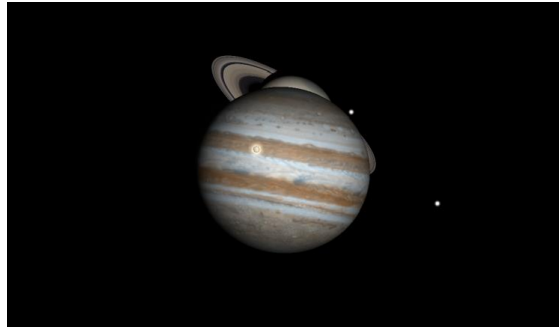
**Prikazani so rezultati štirih meritev naraščajočega zornega kota ( $\phi$ ) zvezd, med njimi tudi zvezde Antares z zornim kotom  $\phi = 0,0413''$ . Zorni kot zvezde ugotovijo iz značilne oblike svetlobne slike (uklonske krivulje) za posamezno zvezdo tik po zakritju zvezde. Čim manj hribčkov in dolinic ima slika, večji je zorni kot zvezde. Antaresova slika jih sploh nima, zato ima Antares med temi zvezdami največjega in sploh enega največjih zornih kotov zvezd. Ugotovijo ga kar iz izmerjenega skrajno kratkega časa zahajanja zvezde za Lunin rob, to je iz strmine krivulje. S tem načinom izmerijo zorne kote zvezd precej pod stotinko kotne sekunde, navajajo celo okoli tisočinke kotne sekunde.**

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 njegov 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 ploskve), ki jo na nebu zavzema Luna, to je za kot  $\frac{1}{2} \cdot 0,5^\circ = 15'$ .



**Jupiter pravkar zakriva velik del Saturna, kmalu pa bo zakril še dve zvezdi. Ali je to mogoče? Je. Naslednje Jupitrovo zakritje Saturna bo po nekih računih leta 7541, če verjamemo računu ali ne. Bomo to zakritje skupaj opazovali, se strinjate?**

Za vsa Lunina zakritja je odločilno Lunino mesečno gibanje na nebu, ki poteka v nasprotni smeri od dnevnega gibanja Lune. Poteka od zahoda proti vzhodu (v levo, če gledamo proti jugu ali proti Luni in je na naši desni strani zahod) in zvezda ali planet vedno zaide (izgine) za Luninim vzhodnim robom in vzide (se pojavi) izza njenega zahodnega robu.

Pri planetnih zakritjih pa ni vedno tako. Planet se na nebu nekaj časa giblje v levo (proti vzhodu), potem ima zastoj (stoji), potlej se premika v desno, nato ima spet zastoj in se začne ponovno premikati v levo, in tako naprej. Na nebu "dela" zanke oziroma, kot tudi rečemo, planet zanka. Tako lahko pride do planetnega zakritja zvezde ali na vzhodnem ali na zahodnem robu (strani) planeta. Enako velja za planetno odkritje zvezde.

Pri planetnem zakritju zvezde lahko pred zakritjem opazujemo, kako gre zvezda skozi planetovo atmosfero in zvezdi slabi sij, s čimer lahko ugotavljamo značilne lastnosti (kakovost) atmosfere. Približno enkrat na petsto let na primer Mars zakrije kakšno svetlejšo zvezdo, vidno s prostimi očmi. Pri jasnem vremenu bi lahko z daljnogledom opazovali, kako na enem robu planeta zvezda zaide, je nato nekaj minut zakrita, potem pa vzide izza nasprotnega roba.

Tako je npr. Venera 11. 7. 1825 zakrila zvezdo Delta Bika podnevi in zakritje ni bilo vidno, bo pa vidno Venerino nočno zakritje zvezde Regul, dne 11. 10. 2044.

Medsebojna zakritja planetov so še dosti redkejša od planetnih zakritij zvezd. Venera je zakrila planet Mars 13. 10. 1590, kar je s prostimi očmi opazoval Keplerjev učitelj, nemški astronom Michael Maestlin (1550–1631) iz Heidelberga. Dne 21. 8. 2104 bo Venerino zakritje planeta Neptun, Merkur pa bo zakril Neptun 15. 7. 2067. Navedli smo le nekaj podatkov o medsebojnih zakritjih planetov, in to le zato, da bi opozorili na to, kako zelo, zelo redki pojavi so ta vrsta zakritij.

### **Kaj je navidezni prehod?**

Navidezni prehod se zgodi, ko gre prvo vesoljsko telo navidezno čez drugo, ko prvo telo navidezno prehodi (preide) ali prečka drugo. Prvo vesoljsko telo vidimo v majhnem zornem kotu, drugo vesoljsko telo pa v velikem (vsekakor v večjem kotu, kakor vidimo prvo). Z Zemlje opazujemo, kako prvo vesoljsko telo, ki ga vidimo v manjšem zornem kotu kakor drugo, navidezno gre (potuje, leze) čez (preko) drugega. Prvo telo projiciramo na drugo. V tem primeru nam je prvo telo bliže kakor drugo.

Razlikujemo navidezne prehode notranjih planetov Merkurja in Venere čez svetlo Sončevo navidezno okroglo ploskev (disk), kjer je zorni kot drugega telesa neprimerno večji od zornega kota prvega, in navidezne prehode planetov med seboj, kjer so razlike v zornih kotih prvega in drugega telesa manjše. Pri medsebojnih navidezni prehodih planetov imamo različne situacije, tako kot pri medsebojnih zakritjih planetov. Samo, kadar ima prvo vesoljsko telo manjši zorni kot od drugega vesoljskega telesa in ga projiciramo na drugo telo, se dogodi navidezni prehod, to je, da gre prvo telo navidezno čez (prečka) drugo. Navidezni prehod je torej odvisen od zornih kotov, v katerem sta telesi vidni z Zemlje, in njune oddaljenosti od Zemlje. Tudi Sončev mrk je v bistvu zakritje. Luna zakrije Sonce. (Opomba. Ne more npr. priti do navideznega prehoda Jupitra čez Sonce ali Neptunovega prehoda čez Jupiter, lahko pa do Marsovega navideznega prehoda čez Jupiter. Vsak primer posebej obravnavamo in obdelamo, če je le mogoče.). Tako bo npr. 11. 8. 2079 navidezni prehod Merkurja čez Mars (ponoči) in 7. 4. 2094 navidezni prehod Merkurja čez Jupiter (podnevi).

### **Kakšna sta navidezni Venerin in navidezni Merkurjev prehod čez Sonce?**

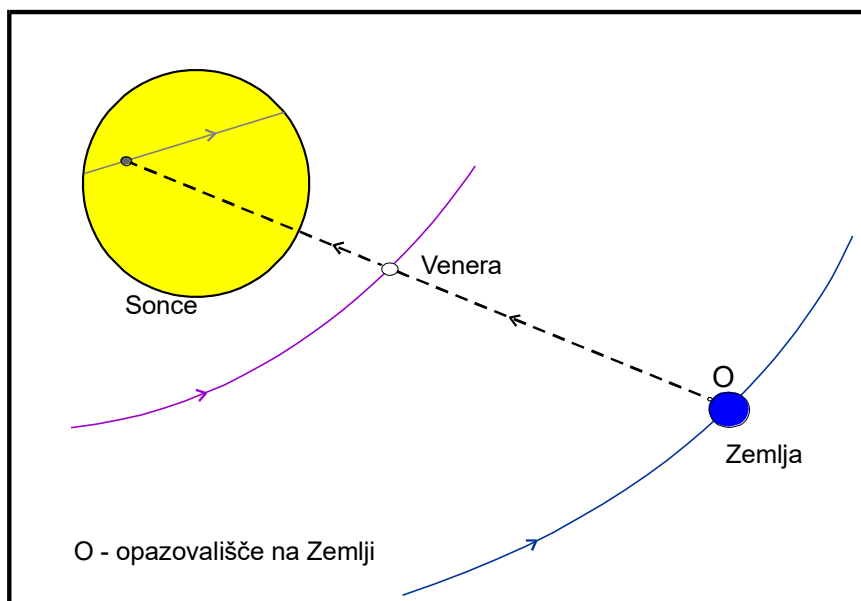
Pred kratkim, leta 2004 in leta 2012, sta se zgodila dva zaporedna navidezna Venerina prehoda čez Sonce. Zato posebej obravnavajmo ta tip prehoda. Kar spoznamo za prehod Venere čez Sonce, velja tudi za Merkur. Le zorni kot Merkurja ob prehodu je dosti manjši od Venerinega. V določenem časovnem razdobju se zgodi tudi veliko več Merkurjevih kot Venerinih prehodov čez Sonce (zakaj že?).



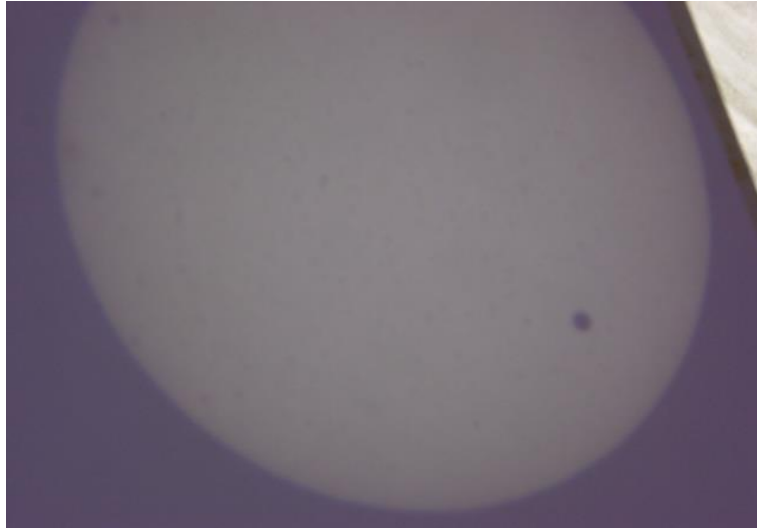
Venera je notranji planet. To pomeni, da kroži okrog Sonca v razdalji, ki je manjša od razdalje Zemlje od Sonca. Zelo, zelo redko se zgodi, da pride Venera na svoji krožni poti okrog Sonca natanko med Sonce in Zemljo. Ko pa pride, opazovalec *O* na Zemlji projicira Venero na Sonce in lahko opazuje, kako Venera kot majčkena okrogla temna pega (okrogel madež, packa) v smeri od vzhoda proti zahodu navidezno prečka svetlo Sončevo okroglo ploskev. Ta pojav imenujemo *navidezni Venerin prehod (prečkanje ali tranzit) čez Sonce*. Pojav lahko traja več ur. Opazovati ga je mogoče s površja Zemlje kot tudi iz vesolja, npr. iz vesoljskih sond. Najbolj varno za oči je, da ga opazujemo na zaslonu daljnogleda (gl. sliko).

Podobno poteka navidezni Merkurjev prehod čez Sonce, samo Merkur se ob prehodu prikazuje kot dosti manjša temna pega na Sončevi okrogli ploskvi kakor Venera.

Do danes so opazovali le sedem navideznih Venerinih prehodov čez Sonce, in to v letih 1639, 1761 in 1769, 1874 in 1882, 2004 in 2012. Zadnja dva smo množično opazovali tudi iz Slovenije. Naslednji, viden iz naših krajev, bo 10. 12. 2117. Le redki danes živeči ga bodo lahko opazovali. Merkujevih prehodov je zabeleženih neprimerno več in jih vseh ne morem tukaj naštet. Nimam celotnega pregleda.



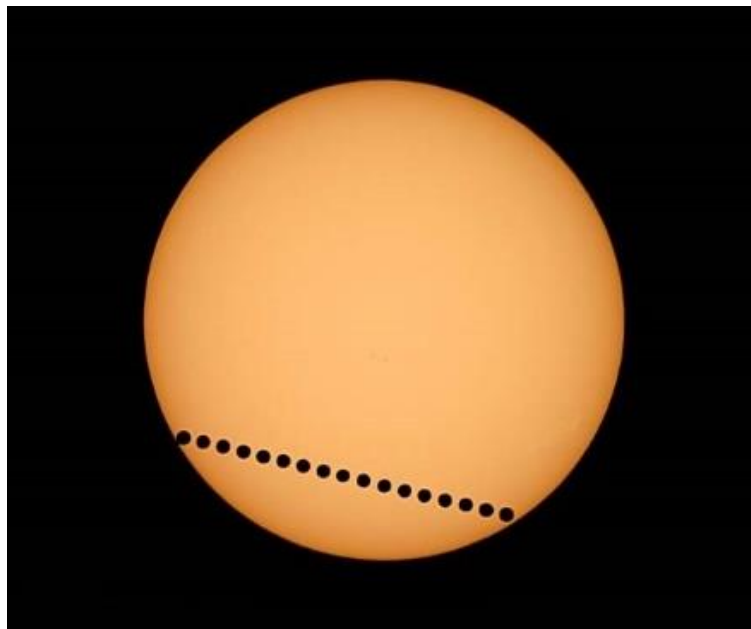
**Shematični prikaz navideznega prehoda Venere čez Sončevo okroglo ploskev. Venero z Zemlje projiciramo na Sonce in se kot drobna temna okrogla pega počasi premika po tetivi svetle Sončeve okrogle ploskve. Pojav se začne, ko se okrogla Venera z zunanje strani navidezno dotakne okrogle Sončeve ploskve, nato »Venerina pega« leze in zleze v Sončevo ploskev, po njej navidezno leze (potuje) nekaj ur, ko jo z zunanjim dotikom s Sončevo ploskvijo končno zapusti. Skica: Maja Prosen**



**Varno opazovanje navideznega prehoda, v tem primeru, Venere čez Sonce, na zaslonu daljnogleda; fotografija je nastala dne 8.6.2004 na OŠ Šenčur.**

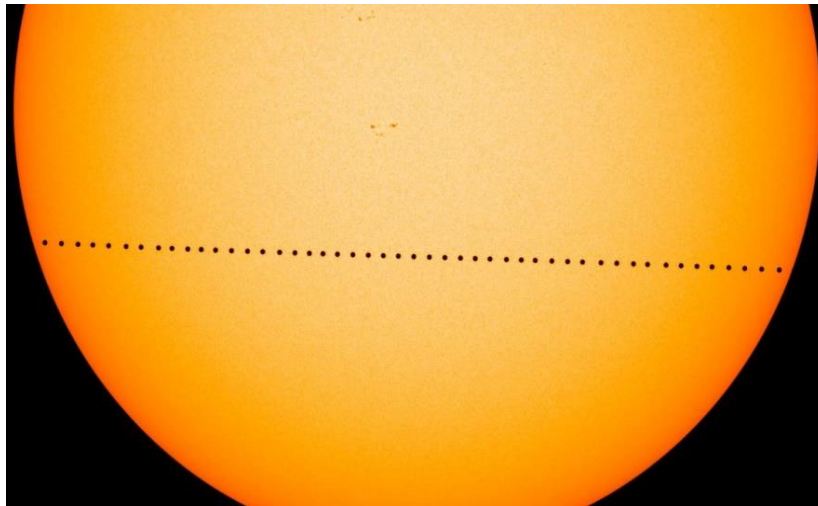
*Foto: Stana Prosen*

Prvo opazovanje Venerinega prehoda čez Sonce nosi zanimivo zgodbo o angleškem amaterskem astronomu Jeremiahu Horrocksu (1618-1641) in njegovi veliki natančnosti. Bil je duhovnik in domači učitelj v vaseh blizu Liverpoola. V svojem kratkem življenju se je zanimal za številna vprašanja astronomije. Kot samouk je preštudiral vsa temeljna astronomska dela preteklosti in tudi svoje sedanosti.



**Zadnji navidezni prehod Venere prek Sonca junija leta 2012. Zorni kot Venere ob prehodu čez Sonce je okoli  $1'$ , tako da je približno 30-krat manjši od zornega kota Sonca  $0,5^\circ$  (ocena).**

Bil je marljiv opazovalec nebesnih pojavov. Natančno je pregledal Keplerjeve tablice planetnih gibanj, v njih našel napake, jih popravil in s tem povečal njihovo natančnost. Ponovno je izračunal elemente planetnih tirov, med njimi tudi Venere. Iz računov je pravilno napovedal čas nastopa navideznega Venerinega prehoda čez Sončevo ploskev v začetku decembra 1639, kar je slavni Kepler spregledal. Tako je bil Jeremiah skupaj s svojim prijateljem prvi, ki je opazoval ta pojav.



**Navidezni prehod Merkurja čez Sonce 9. 5. 2016. Zorni kot Merkurja ob prehodu je približno 12" in je okoli 150-krat manjši od zornega kota Sonca (ocena).**

Prvo opazovanje Venerinega navideznega prehoda čez Sonce pri nas pa je opravil jezuit, matematik in astronom Janez Schöttl (Steyer 1724 – 1777), ki je jeseni leta 1759 prišel poučevat v Ljubljano. Tu je 6. 6. 1761 opazoval navidezni prehod Venere čez Sonce. O tem opazovanju je zapustil rokopis *Observationes Veneris per discum Solis an. 1761 die 6. Juni transeuntis factae Labaci*. Opazovanje mu je prineslo priznanje številnih pomembnih evropskih astronomov, celo s pariške akademije znanosti.

Oba navidezna Venerina prehoda čez Sonce, leta 1761 in leta 1769, je opazoval s pekinškega astronomskega observatorija tudi veliki slovenski astronom in misionar iz Mengša, pater Ferdinand Avguštin Hallerstein (Ljubljana, 1703 – Peking, 1774). O obeh opazovanjih je prav tako zapustil tiskani dokument.

### **Za zaključek**

Človek skoraj ne more dojeti, kaj vse se v vesolju skriva in hkrati dogaja ob ekliptiki, če ne bi vsega tega, vseh teh pojavov: mrkov, zakritij, prehodov in še marsikaj drugega zraven tudi sam opazoval, občudoval, doživljal, podoživljal,

o njih razmišljal, se o njih pogovarjal, se jih spominjal in, na koncu, o njih še pisal. Res, veliko opazovanj teh pojavov sem doživel. In z vso dušo in srcem se jih globoko in radostno spominjam. Svoja razmišljanja in prijetna občutja ob tem sem želel v tem prispevku čim bolj živo in pisano prikazati. Koliko mi je to uspelo, ne vem. O tem ne morem soditi. Ampak dobra volja je bila. Vse to vedeti, videti, občudovati, opazovati, zbrati, urediti, pojasniti in napisati ni kar tako nekaj, je pa vsekakor nekaj čudovito lepega.

Vesolje ostaja enkratno, mogočno, prijazno, sprejemljivo in lepo. Vendar, razumeti ga, je najlepše. Vsaj tako se mi zdi. Vendar pa je to bil le drobec pojavov ob ekliptiki in utrinek razmišljanj o njih.

*Kranj - Zlato Polje, 25. oktober 2018*