

Univerzitet u Novom Sadu | Prirodno-matematički fakultet  
DEPARTMAN ZA GEOGRAFIJU, TURIZAM I HOTELIJERSTVO

*dr Dragan Dolinaj*

# MATEMATIČKA GEOGRAFIJA

Novi Sad, 2024.

Univerzitet u Novom Sadu | Prirodno-matematički fakultet  
DEPARTMAN ZA GEOGRAFIJU, TURIZAM I HOTELIJERSTVO

*dr Dragan Dolinaj*

# MATEMATIČKA GEOGRAFIJA

ISBN 978-86-7031-655-3

**Glavni i odgovorni urednik (PMF)**  
*Prof. dr Milica Pavkov-Hrvojević, dekan*

**Glavni i odgovorni urednik (DGTH)**  
*Prof. dr Lazar Lazić*

**Uredništvo**  
*dr Aleksandra Dragin  
dr Milena Nedeljković  
dr Mladen Jovanović*

**Recenzenti**  
*dr Biljana Basarin  
dr Aleksandar Petrović*

**Lektor i korektor**  
*Simonida Stanković*

**Izdavač**  
*PMF, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, Novi Sad  
Trg Dositeja Obradovića 3, tel: 021/450-104  
www.dgt.uns.ac.rs*

*Odlukom broj 0602-07-447/23-6 Nastavno-naučnog veća Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu sa sednice održane 18. 01. 2024. rukopis je prihvaćen za štampu kao univerzitetski udžbenik*

CIP - Каталогизација у публикацији  
Библиотеке Матице српске, Нови Сад

51:91(075.8)

**ДОЛИНАЈ, Драган, 1977-**

Matematička geografija [Elektronski izvor] / Dragan Dolinaj. - Novi Sad :  
Prirodno-matematički fakultet, Departman za geografiju, turizam i hotelijer-  
stvo, 2024.

Način pristupa (URL): <http://www.dgt.uns.ac.rs/udzbenici/>. - Opis zasnovan  
na stanju na dan 20.09.2024. - Nasl. s naslovnom ekrana. - Bibliografija.

ISBN 978-86-7031-655-3

a) Математичка географија

COBISS.SR-ID 152567561

# SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| PREDGOVOR .....                               | VI |
| PREDMET I ZADACI MATEMATIČKE GEOGRAFIJE ..... | 1  |
| ZEMLJA U SVEMIRU .....                        | 4  |
| ZVEZDE .....                                  | 4  |
| SAZVEŽĐA .....                                | 10 |
| PROSTORNE JEDINICE .....                      | 11 |
| OPŠTE ODLIKE SUNČEVOG SISTEMA .....           | 13 |
| SUNCE .....                                   | 13 |
| STENOVITE PLANETE .....                       | 15 |
| Merkur .....                                  | 15 |
| Venera .....                                  | 16 |
| Zemlja .....                                  | 17 |
| Mesec .....                                   | 17 |
| Mars .....                                    | 18 |
| Asteroidi .....                               | 19 |
| GASOVITE PLANETE .....                        | 21 |
| Jupiter .....                                 | 21 |
| Saturn .....                                  | 23 |
| Uran .....                                    | 24 |
| Neptun .....                                  | 25 |
| PATULJASTE PLANETE .....                      | 26 |
| Ceres .....                                   | 26 |
| Pluton .....                                  | 27 |
| Haumea .....                                  | 27 |
| Makemake .....                                | 27 |
| Eris .....                                    | 27 |
| METEORI I KOMETE .....                        | 28 |
| Meteori .....                                 | 28 |
| Komete .....                                  | 29 |
| HIPOTEZE O POSTANKU SUNČEVOG SISTEMA .....    | 32 |
| MAGLINSKE HIPOTEZE .....                      | 32 |
| ALTERNATIVNE HIPOTEZE .....                   | 36 |
| UNIVERZALNI SISTEM .....                      | 39 |
| GEOCENTRIČNI SISTEM .....                     | 39 |
| Ptolomejev sistem .....                       | 40 |

|  |     |
|--|-----|
| HELIOCENTRIČNI SISTEM .....                                      | 42  |
| OBLIK I VELIČINA ZEMLJE .....                                    | 49  |
| OBLIK ZEMLJE .....   | 49  |
| VELIČINA ZEMLJE .....  | 55  |
| POSLEDICE LOPTASTOG OBLIKA ZEMLJE .....                          | 61  |
| ORIJENTACIJA .....   | 65  |
| GEOGRAFSKI KOORDINATNI SISTEM .....                              | 68  |
| ROTACIJA .....   | 74  |
| DOKAZI ZA ROTACIJU ZEMLJE .....                                  | 75  |
| POSLEDICE ROTACIJE ZEMLJE .....                                  | 79  |
| Pravidno dnevno kretanje nebeskih tela .....                     | 79  |
| Smena obdanice i noći .....                                      | 80  |
| Zonsko vreme, svetsko vreme i datumska granica .....             | 81  |
| ODREĐIVANJE POLOŽAJA NEBESKIH TELA .....                         | 85  |
| Koordinatni sistem horizonta .....                               | 86  |
| Ekvatorijalni koordinatni sistem .....                           | 86  |
| Pomeranje Zemljinih polova .....                                 | 87  |
| REVOLUCIJA .....   | 90  |
| PRIVIDNO GODIŠNJE KRETANJE SUNCA .....                           | 90  |
| Pravidno godišnje kretanje Sunca na horizontu .....              | 90  |
| Pravidno godišnje kretanje Sunca u odnosu na Zemlju .....        | 91  |
| Pravidno godišnje kretanje Sunca u odnosu na nebesku sferu ..... | 92  |
| Karakteristike Zemljine revolucije .....                         | 93  |
| DOKAZI ZA ZEMLJINU REVOLUCIJU .....                              | 94  |
| Godišnja paralaksa zvezda .....                                  | 94  |
| Aberacija svetlosti (astronomski aberacija) .....                | 95  |
| Pomračenje Jupiterovih satelita .....                            | 96  |
| Pojava meteora .....   | 96  |
| POSLEDICE ZEMLJINE REVOLUCIJE .....                              | 97  |
| Smena godišnjih doba na Zemlji .....                             | 97  |
| Razlike u dužinama obdanice i noći .....                         | 99  |
| Toplotni pojasevi .....  | 102 |
| OSTALA ZEMLJINA KRETANJA .....                                   | 103 |
| Precesija .....  | 103 |
| Nutacija .....   | 105 |
| Kolebanje nagiba ekliptike .....                                 | 105 |
| Promene ekscentriteta ekliptike .....                            | 105 |
| MESEC .....  | 109 |
| FIZIČKE OSOBINE MESECA .....                                     | 109 |
| MESEČEVA ROTACIJA .....  | 111 |
| MESEČEVA REVOLUCIJA .....  | 112 |
| MESEČEVE MENE .....  | 114 |
| POMRAČENJA .....   | 116 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| Pomračenje Meseca .....        | 116 |
| Pomračenje Sunca.....          | 117 |
| <br>                           |     |
| RAČUNANJE VREMENA .....        | 120 |
| OSNOVNE JEDINICE VREMENA ..... | 120 |
| MERENJE VREMENA .....          | 121 |
| KALENDARI.....                 | 122 |
| Rimski kalendar .....          | 123 |
| Kalendar Rimske republike..... | 123 |
| Julijanski kalendar.....       | 124 |
| Gregorijanski kalendar .....   | 124 |

# PREDGOVOR

Matematička geografija je nauka o planetarnim svojstvima Zemlje i kao takva predstavlja osnovu od izuzetne važnosti za razumevanje geografskih pojava i procesa. Matematička geografija se izučava u okviru predmeta Matematička geografija sa osnovama astronomije na osnovnim studijama Departmana za geografiju, turizam i hotelijerstvo, Univerziteta u Novom Sadu. Iskrena mi je želja da studenti, uz pomoć ovog udžbenika, uspešno savladaju sadržaj i usvoje znanja iz oblasti Matematičke geografije koja će, nadam se, dalje prenosi mladim generacijama kao profesori i nastavnici geografije u osnovnim i srednjim školama.

Ljubav prema geografiji počinje Matematičkom geografijom!  
Recenzentima, za korisne savete, primedbe i sugestije, toplo se zahvaljujem.

*Autor*  
Novi Sad, 2024.

# PREDMET I ZADACI MATEMATIČKE GEOGRAFIJE

**M**atematička geografija je uvodna disciplina geografskih nauka (Đere et al., 1984). Ona izučava Zemlju kao planetu ali i geosferu, ceo geografski omotač kao i geozone. Generalno, matematička geografija je fizičkogeografska disciplina koja proučava Zemlju kao nebesko telo, njen položaj i kretanje u vasioni, kao i posledice tog položaja i kretanja na geografska obeležja Zemlje. Može se tumačiti kao i primena matematičkih metoda u geografiji (Mastilo, 2005). Da li je matematička geografija nauka? Većinsko mišljenje je da je ona geografska disciplina jer nema svoje istraživačke metode, ciljeve i zadatke, već koristi informacije, rezultate i metode iz drugih nauka, na prvom mestu astronomije. Tako je bilo vekovima, astronomi su bili primarni istraživači planetarnih osobina Zemlje. Kako su se razvijale nauke, tako se naučno interesovanje za planetarne osobine Zemlje proširilo, a ovom tematikom je počela da se bavi i geografija pre svih uz pomoć matematičke geografije. Sa druge strane, astronomija se brzo razvijala u poslednjih par stotina godina i njena interesovanja su se širila na udaljene delove prvo Sunčevog sistema, a danas i mnogo šire, pa je bilo prirodno da geografija preuzme interesovanja za planetarne osobine Zemlje. Astronomska saznanja matematički geografi koriste u svojim istraživanjima i povezuju ih sa geografskim procesima i pojivama.

Termin "matematička geografija" se javlja u XVIII veku. Prvi put se pominje 1738. godine u knjizi "Kurze Einleitung zur mathematischen Geographie" G. W. Krafta koja je objavljena u Sankt Petersburgu, gde iznosi osnove matematičke geografije. Slična publikacija, sa brojnim definicijama i objašnjenjima iz oblasti matematičke geografije, izlazi iz štampe 1765. godine u Lajpcigu, autora Johana Kristofa Feninga (Johan Christoph Pfenning), pod naslovom "Einleitung in die Mathematische und Physikalische Geographie nach den neuesten Beobachtungen". Iz ovog ranog perioda matematičke geografije važne su i publikacije Johana Isaje Zilberšaga (Johann Esaias Silberschlag) koji je tokom druge polovine XVIII veka definišao zadatke matematičke geografije. Značajno za razvoj matematičke geografije je i delo Aleksandar fon Humbolt (Alexander von Humboldt), a posebno njegov "Kosmos – Entwurf einer physischen Weltbeschreibung" koji je pisao dvadesetpet godina (Lee, 2001). Objavljeno je 1845. godine u više knjiga, a u prvoj knjizi dela Kosmos, Humbolt objašnjava i definiše astronomsku geografiju koja po svojim opisanim karakteristikama predstavlja matematičku geografiju. Humboltov Kosmos je imao značajan uticaj na naučni napredak, kao i na brojne naučnike i autore širom Evrope i Ame-

rike. Krajem XIX veka, 1888. godine, objavljena je "Geonomie (mathematische Geographie) gestützt auf Beobachtung und elementare Berechnung" Tiobalda Epštajna (Theobald Epstein). Osim već definisanih pojmove i dodatnih objašnjenja matematičko-geografskih pojava, Epštajn predlaže i novi naziv ove discipline. Početkom XX veka se intenzivira rad na matematičko-geografskim problemima, a pojavljuju se i brojne nove publikacije kao što je i "Mathematische Geographie für Lehrerbildungsanstalten" Ervina Eggerta (Erwin Eggert).

Brojni naučnici sa naših prostora su dali značajan doprinos u razvoju matematičke geografije. Pavle Vujević (1881-1966) je bio pozнати srpski geograf i meteorolog, a bio je i član Srpske akademije nauka. Predavao je Matematičku geografiju, Klimatologiju i Meteorologiju na Univerzitetu u Beogradu. Njegova knjiga "Osnove matematičke i fizičke geografije" umnogome je uticala na razvoj matematičke i fizičke geografije na prostoru Balkanskog poluostrva. Njegov blizak prijatelj, Milutin Milanković (1879-1958), ostavio je trag u nauci na svetskom nivou i to ne samo u razvoju matematičke geografije, već i na polju matematike, astronomije, astrofizike, geofizike, klimatologije i paleoklimatologije. Njegov "Kanon osunčavanja Zemlje", kao i poznati Milankovićevi ciklusi,

rezultat su istraživanja na polju karakteristika planete Zemlje i njenih kretanja to jest, na polju matematičke geografije. Profesor Univerziteta u Beogradu i Departmana za geografiju na Prirodno-matematičkom fakultetu u Beogradu, Tomislav Rakićević (1930-1997), u svom univerzitetskom udžbeniku "Opšta fizička geografija" detaljno piše o matematičkoj geografiji i postavlja je u položaj nezaobilazne uvodne discipline - Fizičke geografije. Osnivač i profesor na Institutu za geografiju u Novom Sadu, Branislav Bukurov je napisao 1970, a potom i izdanje iz 1974. godine prvi udžbenik iz Matematičke geografije za studente Univerziteta u Novom Sadu. Profesori Departmana za geografiju na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Novom Sadu, Kornel Đere i Dragoljub Bugarski, 1984. godine izdaju univerzitetski udžbenik "Matematička geografija" koji je četrdeset godina bio osnovna literatura za studente geografije u Novom Sadu. Milutin Tadić, profesor na Geografskom fakultetu Univerziteta u Beogradu je 2004. godine napisao udžbenik "Matematička geografija" koji se i danas koristi kao udžbenik na Geografskom fakultetu u Beogradu. "Matematičku geografiju Republike Srbije", Milutin Tadić objavljuje 2010. godine.

Predmet izučavanja matematičke geografije se može definisati kroz više stavki:

- proučavanje položaja Zemlje u Sunčevom planetarnom sistemu i generalno u sve-miru i utvrđivanje planetarno-kosmičkih posledica na planetu i čoveka, a koje proizilaze iz takvog kosmičkog položaja;
- proučavanje mehaničkih planetarnih odlika Zemlje, oblik i kretanja Zemlje, kao i prividna pomeranja vidljiva sa Zemlje;
- proučavanje svih uticaja koji proizilaze iz mehaničkih osobina Zemlje kao i objašnjenje njihovih delovanja na geografski omotač, geosferu i geozone.
- proučavanje svih posledica oblika i kretanja Zemlje.

Pored ovih, najvažnijih polja istraživanja, matematička geografija se interesuje i za Mesec, Sunce, sve članove Sunčevog sistema kao i za zvezde. Interesovanje za ove, udaljene objekte, potiče od njihovog direktnog uticaja na planetarne osobine Zemlje. Takođe, matematička geografija se bavi i orientacijom kako u prostoru tako i u vremenu. Važno je naglasiti da ovakav pristup temama proučavanja potiče od aspekta i ugla gledanja na naučni problem u okviru istraživanja matematičke geografije. A naučni pristup matematičke geografije je upravo geocentričan i antropocentričan što u dobroj meri objašnjava i način izlaganja rezultata u matematičkoj geografiji. Pri istraživanjima, kao i pri izlaganju naučnih rezultata, matematička geografija se služi metodama drugih nauka, pre svega iz astronomije ali i iz fizike, matematike, geofizike kao i iz geografije.

Problem naziva matematičke geografije je rano primećen. Ovaj naziv implicira metodu ali ne i predmet istraživanja pa su mnogi naučnici predlagali druge nazive. Humbolt je predložio astronomsku geografiju. Ovaj naziv je dobar jer ukazuje na sadržaj ali je preopširan. Posebno danas kada astronomija ima brojna nova saznanja i kada znamo da postoje brojne planete ne samo u Sunčevom sistemu nego i van njega, pa bi ovakav naziv bio neodgovarajući sa aspektom geocentričnosti matematičke geografije. Zilberšag krajem XVIII veka predlaže naziv geognija, Epstein predlaže, u drugoj polovini XIX veka, naziv geonomija, pa ipak ni jedan od ovih naziva nije šire prihvaćen u naučnim krugovima. Kornel Đere i Dragoljub Bugarski u udžbeniku "Matematička geografija" iz 1984. godine predlažu naziv planetarna geografija.

Do danas, matematička geografija nije promenila svoj naziv i bez obzira na njeniime, njen značaj je veliki u razumevanju osnova prirodnoprostornih nauka, a posebno geografije.

## LITERATURA

- Bukurov, B. 1970. Matematička geografija. Institut za geografiju, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad.
- Đere, K., Bugarski, D. 1984. Matematička geografija. Institut za geografiju, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad.
- Tadić, M. 2004. Matematička geografija. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd.
- Tadić, M. 2010. Matematička geografija Republike Srbije. EON, Beograd.
- Sachs, A. 1995. Humboldt's legacy and the restoration of science. *World Watch*. 8 (2): 28.
- Lee, J. 2001. Alexander von Humboldt. American Geographical Society, New York.
- Mastilo, N. 2005. Rečnik savremene srpske geografske terminologije. Geografski fakultet, Beograd.

# ZEMLJA U SVEMIRU

Svemir (kosmos, vasiona, univerzum) je nepregledan skup materije, energije i praznog prostora. Nekada se verovalo da je svemir Mlečni put (galaksija u kojoj se nalazi planeta Zemlja), a tek u XX veku je astronomija iznela dokaze o neshvatljivoj veličini svemira. Nama vidljivi deo svemira uglavnom čine zvezde grupisane u galaksije. Prema savremenim procenama, galaksija ima više od sto milijardi. Galaksije mogu biti ogromne kada sadrže više hiljada milijardi zvezda, dok uobičajene galaksije imaju nekoliko milijardi zvezda. Između galaksija nalaze se prazni prostori koji se nazivaju kosmičke praznine. Prema poslednjim proračunima, svemir je nastao pre oko 13,8 milijardi godina u ogromnoj eksploziji. Pre velike eksplozije, postojala je singularnost to jest jedinstvo prostora, vremena i materije u jednoj tački koja je predstavljala prasvemir. Bio je izuzetno mali, verovatno manji od atoma, izuzetno gust i izuzetno vreo, a onda je pre oko 13,8 ( $\pm 200$  miliona) milijardi godina počelo njegovo naglo širenje.

Širenje svemira prvi je predložio Džordž Lemetr 1927. godine, a kroz posmatranje galaksija i njihovo udaljavanje je ustanovio i potvrdio Edvin Habl 1929. godine. I pored toga, model statičnog svemira se održao još nekoliko decenija. Posle početne skepse pa čak i odbacivanja, širenje svemira je kasnije potvrđeno u brojnim nezavisnim analizama. Teorija velikog praska – eksplozije (naziv smislio britanski astronom i fizičar Fred Hojl kao sarkazam, zastupao je stav statičnog svemira) postepeno je postala dominantna teorija postanka univerzuma posle nekoliko eksperimentalnih

potvrda, merenja pozadinske mikrotalasne radijacije, merenja rane nuklosinteze, Sunajev-Zeldovica anizotropija... Struktura i građa svemira su izuzetno komplikovani i dobrim delom i dalje nepoznati. Ali, matematički i fizički modeli postavljaju pretpostavke koje se vremenom potvrđuju. Po savremenom i opšteprihvaćenom kosmološkom L-cdm (Lambda - hladna tamna materija) modelu, svemirsku gustinu mase-energije čini tamna energija 68%, tamna materija 27% i poznata materija (atomi, svi poznati hemijski elementi, gasovi i plazma) sa 5% (Tanabashi et al., 2019).

## ZVEZDE

Od svog nastanka, ljudi su općinjeni zvezdama, koje su svakako najdominantniji objekti na nebeskom svodu Zemlje. One su jedan od osnovnih gradivnih blokova galaksija i univerzuma. Postoji mnogo definicija šta su zvezde. Zvezde su usijana, gasovita nebeska tela sa sopstvenom svetlošću, sjajem i unutrašnjom proizvodnjom energije (Đere, Bugarski, 1996). Zvezda je sfera gasa koju drži sopstvena gravitacija (NASA). Zvezda je svako masivno samoosvetljeno nebesko telo sačinjeno od gasa koji emituje zračenje koje potiče od unutrašnjeg izvora energije (Britannica). Paul M. Sutter – zvezda je svaki objekat koji ima dovoljno veliku masu koja može da pokrene fuzionu reakciju između elemenata u

njegovom jezgru kao posledica gravitacionog pritiska unutar samog objekta.

Zvezde su obično sferoidnog ili loptastog oblika, građene su od visokojonizovanih gasova (većinom vodonika i helijuma) na visokim temperaturama u stanju plazme, kao i mnogih drugih elemenata čije je učešće u građi zvezda znatno manje. Termonuklearnim reakcijama zvezde stvaraju energiju, a taj proces se odvija isključivo u jezgrima zvezda. Nastala energija se prenosi konvekcijom, česticama i elektromagnetskim zračenjem i širi se daleko od zvezda.

U jezgrima zvezda nastaje poznata materija. Svi hemijski elementi teži od litijuma (Li)

i većina hemijskih elementa težih od helijuma (He) koji postoje u vasioni, nastali su u procesu nukleosinteze u jezgrima zvezda.

Zvezde se razlikuju po karakteristikama. U drugom veku pre nove ere, grčki astronom Hiparh (190-120) je napravio prvi katalog vidljivih zvezda sa 850 opisanih zvezda. Hiparhov rad na posmatranju i kategorizaciji zvezda sačuvan je, između ostalog i zahvaljujući Klauđiju Ptolomeju (85-165) koji je, u svom kapitalnom delu Almagest, dopunio Hiparhov katalog zvezda koji je sada činilo 1.022 zvezde. Takođe, nastavio je rad Hiparha na podeli zvezda po sjaju. Sve zvezde su svrstane u jednu od šest klase. Prvu klasu - magnitudu (1) su činile najsjajnije zvezde na nebu dok su poslednju, šestu (6) klasu – magnitudu, činile zvezde koje su bile jedva vidljive oku. U XVII veku izmišljen je teleskop, a Galileo Galilej je jedan od prvih astronomova koji su koristili teleskop za astronomski posmatranja. Još tada, Galilej predlaže sedmu magnitudu u kojoj bi bile zvezde koje je primetio uz pomoć teleskopa. Oksfordski astronom Norman Pogson je 1856. predložio precizno definisanje svake magnitude. Svaka magnituda je sjajnija od sledeće za  $2,512^{\sqrt{100}}$ , objekti u 1. magnitudi sjaje sto puta jače od objekata u 6. magnitudi. Dalji razvoj optike i teleskopa, omogućio je da se registruju zvezde slabijeg sjaja. Danas, teleskop Habi može da registruje objekte koji imaju 31. magnitudu sjaja. Sa druge strane, skala je proširena i na sjajnije objekte, pa tako Sirijus, kao najsjajnija zvezda ima sjaj -1,46, Venera -4,4, Mesec -12,7, a Sunce - 26,7 magnituda. Međutim, zvezde su na različitim udaljenostima od Zemlje. Posmatrajući sjaj zvezda sa Zemlje, govorimo o prividnom sjaju, to jest, o sjaju zvezda kako nama izgleda sa naše planete. Svaka zvezda ima svoj sjaj koji nazivamo apsolutni sjaj ili apsolutna magnituda. Apsolutna magnituda je sjaj zvezde koji je vidljiv na udaljenosti od 10 parseka ili 33 svestlosne godine.

Empirijski podaci vezani za fizičke osobine zvezda dobijaju se merenjem i analizom zračenja zvezda koje one emituju. Spektralne karakteristike zvezda daju nam najprecizniju sliku karakteristika zvezda. Prvu podelu zvezda na osnovu njihovog spektra (boje) napravio je italijanski astronom P. A. Seki 1860. godine i imala je samo četiri grupe zvezda. Savremena spek-

tralna podela zvezda je zasnovana na Harvardskom sistemu koji je bio osnov za MK klasifikaciju, koju su napravili američki astronomi Morgan i Kinan. Ovaj sistem ima dve oznake, prva definiše spektralnu klasu, a druga emisivnost zvezde. Svaka spektralna klasa je podjeljena na 10 (0-9) podklasa:

|           |             |
|-----------|-------------|
| O (Oo-O9) | plave       |
| B (Bo-B9) | plavo-bele  |
| A (Ao-A9) | bele        |
| F (Fo-F9) | belo-žute   |
| G (Go-G9) | žute        |
| K (Ko-K9) | narandžaste |
| M (Mo-M9) | crvene      |

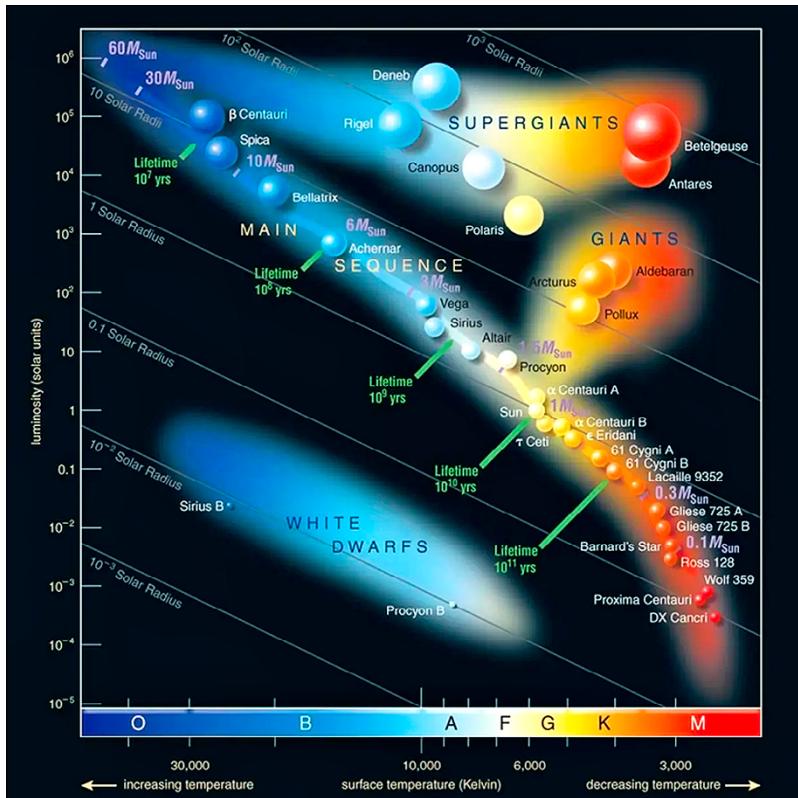
Ova klasifikacija je dopunjena sa R, N i S grupama.

Emisivnost zvezda određena je količinom energije kojom one zrače. Zvezde iste spektralne klase mogu se razlikovati po emisivnosti. Po emisivnosti, zvezde su podjeljene u sedam klasa koje su označene rimskim brojevima:

|     |               |
|-----|---------------|
| I   | super divovi  |
| II  | svetli divovi |
| III | divovi        |
| IV  | poddivovi     |
| V   | patuljci      |
| VI  | podpatuljci   |
| VII | beli patuljci |

Prema MK klasifikaciji, Sunce je zvezda G2V, što znači da se Sunce nalazi u spektralnoj klasi G (žute zvezde) i u emitivnoj klasi V (obični patuljci). Veza između apsolutne magnitude i boje zvezda je uspostavljena u Hertzsprung-Raselovom (HR) dijagramu koji su konstruisali danski astronom Hertzsprung i američki astronom Rasel.

Temperatura zvezda je u direktnoj vezi sa masom zvezde. Uslov za opstanak svake zvezde je balans između dve primarne sile kod zvezda. Sila gravitacije teži da uruši zvezdu, a u sabijanju dolazi do termonuklearnih reakcija i proizvodnje energije. Proizvedena energija se širi i svaka zvezda uspostavlja balans između te dve sile. Veće zvezde imaju veću gravitacionu silu, da bi se održale moraju da proizvedu



#### ► Prilog 1.

Hertzsprung-Russell dijagram  
Izvor: [nasa.com](http://nasa.com)

više energije kako bi se uspostavila ravnoteža između sila. Time su i njihove temperature (u jezgru i na površini) veće u odnosu na zvezde koje imaju manje mase. Plave zvezde su najveće sa najviše mase i njihove temperature su više nego kod drugih zvezda. Očigledno je da je boja zvezda u vezi sa njihovom emitovanom energijom. Vilhelm Vin (Wilhelm Wien) je zakonom (Vinov zakon) pokušao da dovede u vezu boju sa emisijom energije, a nešto kasnije je

Maks Plank (Max Planck) u objašnjenu radijacije crnog tela doveo u direktnu vezu frekventni spektar sa energetskom emisijom. Plankovim kvantnim zakonom iz 1901. godine uspostavljena je veza između energije zračenja i frekvencije, veza je linearna, a proporcionalnost je Plankova konstanta.

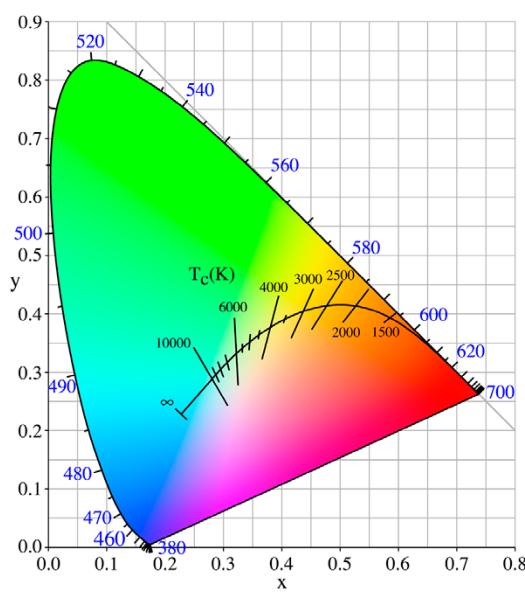
Zvezde se kreću. Posmatrajući ih sa Zemlje možemo registrovati dve komponente njihovog kretanja u odnosu na Sunce, radikalna (radikalna brzina -  $R$ ) koja se definiše kao kretanje u pravcu našeg posmatranja i registruje se kao približavanje ili udaljavanje zvezde. Precizna vrednost radikalne brzine može biti utvrđena na osnovu pomeranja linije zvezdanog spektra na osnovu Doplerovog efekta. Pozitivna vrednost znači da se zvezda udaljava, a negativna znači da se zvezda približava Suncu. Druga komponenta je tangencijalna (tangencijalna brzina -  $T$ ) i ona definise zvezdano kretanje normalno u odnosu na vidni radijus gde se zvezde kreću gore, dole, levo, desno, dijagonalno..., na dvodimenzionom nebeskom svodu. Tangencijalna komponenta se uočava kao spora promena u poziciji zvezde, a registrovana promena u toku jedne godine se označava kao sopstveno godišnje kretanje zvezde i izražava se u uglovim sekundama. Prosечно pomeranje zvezde je oko  $0,1''/\text{god.}$  dok je kod Bernardove zvezde izmereno najveće do sada registrovano pomeranje i iznosi  $10,25''/\text{god.}$  Posledica ovih pomeranja su spore promene oblika sazvezđa. Pa ipak, proces je i suviše spor da bi se registrovao tokom jednog ljudskog veka.

Iako se u odnosu na Sunce sve zvezde ovako kreću, to je privid. Zvezde se kreću jedinstvenim pravcem koji je definisan uglom ( $q$ ) i brzinom ( $V$ ), a koji je proizvod tangencijalnog i radikalnog kretanja.

$$V = (R^2 + T^2)^{1/2}$$

$$\tan q = T / R$$

Mnoge zvezde nisu usamljene, one se veoma često nalaze u dvojnim sistemima. Prva posmatranja i katalogizaciju sistema zvezda izvršio je u drugoj polovini XVIII veka Vilijam Heršel (Frederick William Herschel) koji je 1772. objavio svoj prvi katalog poznatih zvezda sa opisom zvezdanih binarnih (dvojnih) i složenih



#### ► Prilog 2. Plankov hromatsko-energetski dijagram

nih zvezdanih sistema. Zvezde u njima mogu biti udaljene stotinama astronomskih jedinica, ali mogu biti i toliko blizu da međusobno ostvaruju kontakt, a u tom slučaju često materija, usled jakog gravitacionog uticaja, prelazi sa jedne zvezde na drugu. Ovakvi zvezdani sistemi mogu da sadrže i više od dve zvezde. Takođe, prilikom formiranja zvezda, oko njih mogu da se formiraju i planete. Neke zvezde su u dvojnim sistemima, a imaju i planetarne sisteme.

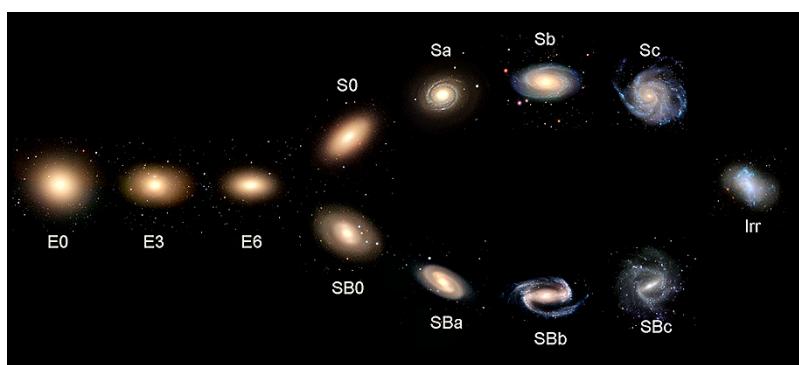
Zvezde se razlikuju i po masi. Većina poznatih zvezda ima masu između 0,3-3 mase Sunca (Britannica). Do sada otkrivena zvezda sa najvećom masom je R136a1 sa 265 sunčevih masa, a imala je oko 320 sunčevih masa prilikom formiranja.

Zvezde se menjaju. Od svog nastanka pa do nestanka, u životnom veku svake zvezde se dešavaju promene. Te promene mogu biti postepene kao što su gubitak mase, radijusa, promene u sastavu i druge, ali mogu biti i iznenadne, momentalne promene. Nove su eksplozije zvezda u njihovom površinskom delu. Obično se dešavaju na zvezdama patuljcima u dvojnom sistemu, a posledica su prelaska gasova sa jedne zvezde na drugu. Eksplozija dovedi do toga da sistem na kratko vreme zasija čak i do milion puta snažnije nego što je to uobičajeno. Supernove su nasilne eksplozije zvezda koje mogu da zasijaju sjajem čitave galaksije od milijardu zvezda. Astronomi dele Supernove na dva tipa, I i II. Supernove I nastaju kao posledica prelaska suviše gasova pri pojavi Nove. Tada zvezda patuljak, koja je preuzela previše gasova od svoje dvojne zvezde, proizvede suviše energije i dolazi do nasilne eksplozije posle koje od zvezde ne ostane ništa. Ovo su najsjaj-

nije pojave u vaskoni i mogu da služe astronomima za merenje udaljenosti između galaksija. Supernova II je poslednji stadijum u životu zvezda koje imaju najmanje osam sunčevih masa. Kada zvezda potroši većinu vodonika i nema više uslova za dalje termonuklearne reakcije u svom jezgru, dolazi do poremećaja ravnoteže sila. Više nema emisije energije koja je u ravnoteži sa silom gravitacije, gravitacija postaje dominantna sila i zvezda počinje da se urušava, skuplja u jednu tačku. Spoljni delovi zvezde eksplodiraju, dok ostatak zvezde posle urušavanja formira neutronsku zvezdu ili crnu rupu.

Sunce je nama najbliža zvezda. Ona je jedna od 200 do 400 milijardi zvezda u spiralnoj galaksiji Mlečni put. Galaksije su ogromne grupacije milijardi zvezda, njihovih planetarnih sistema, gasova i prašine (NASA). Pretpostavlja se da ih ima između 100 i 200 milijardi. Unutrašnja gravitacija održava svaku galaksiju i rotira je oko centra galaksije. Vilijam Heršel je napravio prvi katalog svetlih objekata (preko 5.000) na nebeskom svodu iako nije znao da se radi o galaksijama već ih je smatrao za svelte magline. Edvin Habl je 1925. godine napravio i prvu podelu galaksija. On je podelio galaksije na eliptične (E0-7), spiralne (S0 - Sa, Sb, Sc) i spiralno-prečkaste (S0 - SBa, SBb, SBc) galaksije.

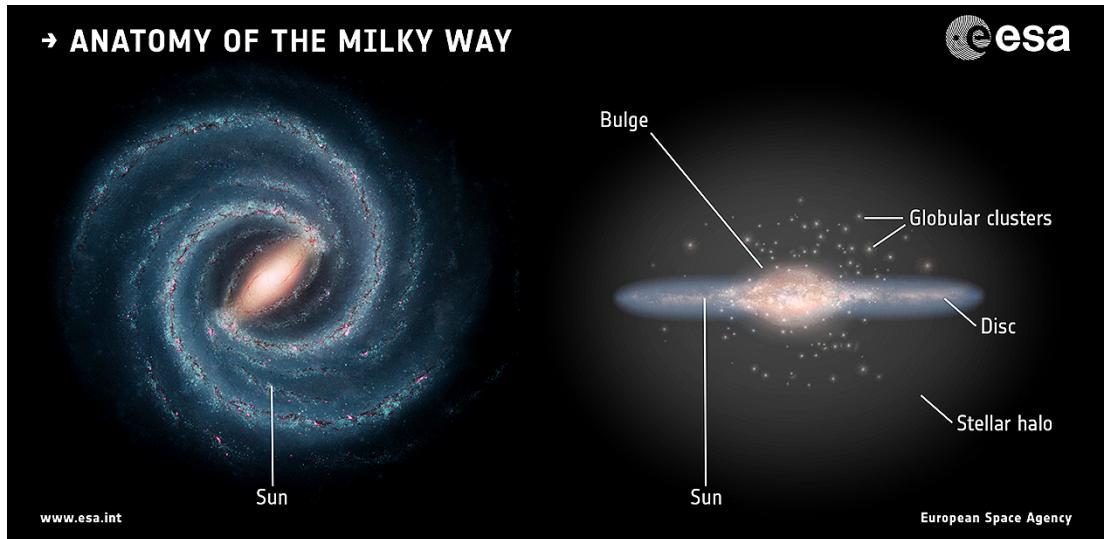
Danas se koristi malo izmenjena Hablova podela pa se galaksije dele prema obliku na eliptične, spiralne i nepravilne (čudne) galaksije (NASA). Naša galaksija, Mlečni put (kod nas i Kumova slama), je spiralna galaksija, a u Hablovoj podeli, Mlečni put se nalazi u grupi SBb - premošćene spiralne galaksije sa srednje razmaknutim kracima. Procenjuje se da je stara oko 13,6 milijardi godina koliko su stare najstarije zvezde u njoj, a absolutna magnituda je -20,9. U centru naše galaksije se nalazi masivna crna rupa koja svojom gravitacijom pokreće galaksiju da rotira u indirektnom pravcu (smer kazaljki na satu) gledano sa severnog galaktičkog pola. Ugaona i linearna brzina rotacije nisu isti za sve delove galaksije, delovi bliži centru brže rotiraju. Mlečni put se sastoji iz zvezdalog galaktičkog diska i galaktičkog hala. Zvezdani disk čini galaktičku ravan čiji je prečnik 100.000 svetlosnih godina. U okviru diska postoje četiri veća i dva manja spiralna kraka, u



Prilog 3. Hablov viljuškasti dijagram galaksija

Izvor: [nasa.com](http://nasa.com)

• **Prilog 4.** Galaksija  
Mlečni put  
Izvor: esa.com



njima je najveća zvezdana gustina u galaksiji (30 puta veća od okolnih delova). U kracima su mlađe zvezde i puno međuzvezdane materije koju čine gasovi, prašina, kosmički zraci, elektromagnetno zračenje, magnetne i gravitacione sile. Unutar prstena od 4 do 8 kpc. od centra galaksije nalaze se gigantski molekulski oblici - oblici molekulskog vodonika ( $H_2$ ). Galaktički zvezdani halo je sfera koja obavija galaktički, ravanski disk. Zvezdani halo čine stare zvezde (i preko 13 milijardi godina) i globularna jata zvezda. Pretpostavlja se da oko 95% mase Mlečnog puta čini tamna materija. Između ostalog, ona gradi tamni (nevidljivi) halo koji je mnogo veći od vidljivog zvezdanog hala.

Osnovni gradivni element svemira su galaksije. Pa ipak, i galaksije mogu da čine veće skupine. Lokalna grupa galaksija je najmanji skup galaksija. Na stotine galaksija mogu da čine klaster galaksija, nama najbliži je Virgo klaster galaksija koji sadrži na hiljadu galaksija. Desetina hiljada klastera čine jedan super klaster galaksija, a svi super klasteri galaksija čine poznati svemir.

Unutar svake galaksije, postoje manje grupacije zvezda. Zvezdana asocijacije su veoma labava veza do sto, ponekad i nešto više zvezda koje se i dalje zajedno kreću i dele isto poreklo ali je svaka zvezda gravitaciono nezavisna. Postoje OB, T i R tipovi zvezdanih asocijacija. OB su mlade asocijacije koje obično imaju 10-100 masivnih zvezda O i B spektralne klase. Ove zvezdane asocijacije okružuju oblici prašine i gasova. Kada se oduvaju prašina i gasovi, zvezde gube labavu vezu i ove asocijacije se raspa-

daju. Veruje se da je većina zvezda u Mlečnom putu nastala u OB asocijacijama. T asocijacije čine zvezde koje su još u procesu formiranja. Ove asocijacije su česte u molekularnom obliku Mlečnog puta. R asocijacije osvetljavaju refleksione magline. Zvezde u njima osvetljavaju okolne oblake prašine i gasova koje reflektuju njihov sjaj. Zvezdano jato je skup zvezda koje na okupu drži uzajamna sila gravitacije, zajedno se kreću kroz galaksiju. Po pravilu, sve zvezde u jatu imaju zajedničko poreklo, slične su starosti i sličnog sastava. Iako su slične po ova dva aspekta, moguća je različita masa zvezda u jatu što je posledica različitih evolutivnih faza svake zvezde. Postoje dva tipa zvezdanih jata, rasejana ili otvorena i globularna ili zbijena zvezdana jata. Rasejana zvezdana jata imaju malu zvezdanu gustinu (do 20 zvezda po  $pc^3$ ) i grade ih od nekoliko desetina do nekoliko stotina većinom mlađih zvezda. Nepravilnog su oblika, kreću se po skoro kružnim orbitama oko galaktičkog centra i nalaze se u blizini galaktičke ravni. Zemlji najbliža rasejana zvezdana jata su Hijade (46 pc) i Plejade (115 pc). Globularna zvezdana jata imaju veću zvezdanu gustinu (i preko 200 zvezda po  $pc^3$ ) i grade ih nekoliko desetina hiljada do nekoliko stotina hiljada većinom starijih zvezda. Obično su pravilnog, sferoidnog oblika, kreću se po eliptičnim putanjama oko centra galaksije i nalaze se u oba podsistema galaksije ali sa tendencijom ka centru galaksije. Zemlji najbliža su Kentauri (5 kpc) i M13 u Herkulu (10 kpc).

U blizini zvezda često se mogu primeti oblici koji su sačinjeni od prašine i gasova,

### ➊ Prilog 5. Plejade

Izvor: nasa.com



### ➋ Prilog 6. M13 u Herkulu

Izvor: nasa.com

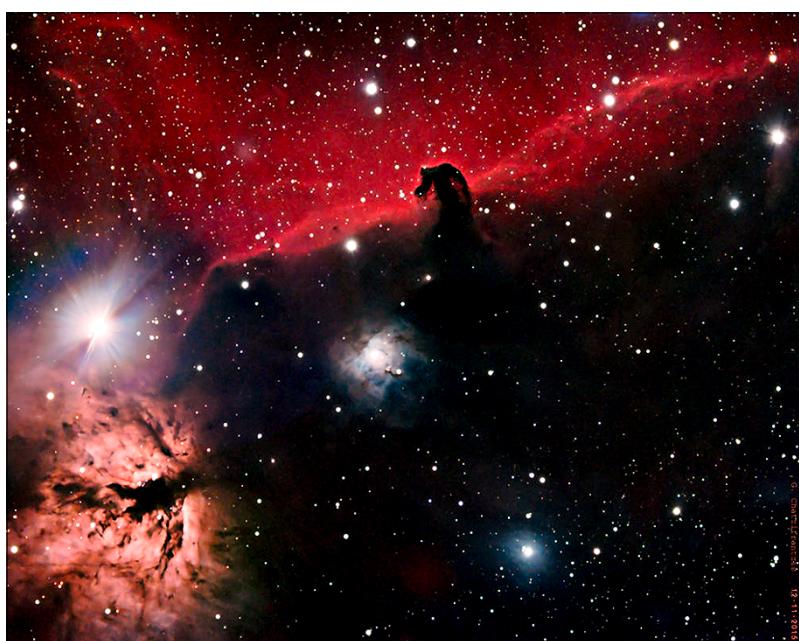
ove pojave se nazivaju maglinama. Magline se sastoje od vodonika, helijuma i brojnih drugih gasova kao i prašine različitog sastava. Magline mogu biti tamne ili svetle. Tamne magline su vidljive kao nepravilne, tamne mrlje na nebeskom svodu u kojima nestaje svetlost zvezda koje se nalaze iza njih. Tamne magline su veoma gusti i hladni većinom gasno-molekularni oblaci koji, po procenama naučnika, sadrže više od polovine sve međuzvezdane materije. Uobičajena gustina im se nalazi u rasponu od nekoliko stotina do milion ili više molekula vodonika po cm<sup>3</sup>. Tamne magline su mesta gde nastaju zvezde posle gravitacionih urušavanja delova ovih velikih, gasovitih oblaka. Svetle magline su vidljive kao svetlucavi nepravilni objekti koji emituju svetlost koja dopire iz njihove unutrašnjosti ili po svojoj površini reflektuju svetlost zvezda iz njihove blizine. Čine ih gasovi, njihova gustina je manja nego kod tamnih maglina. Po-

tipovi svetlih maglina su: reflektivne magline, H II regioni, difuzne magline jonizovanog gasea, planetarne magline i magline koje su ostaci supernova. Reflektivne magline svetle tako što se svetlost obližnjih zvezda odbija o gusto zbijene molekule gase na ivicama magline. Ove magline su hladne i bile bi vidljive kao tamne magline da nema obližnjih zvezda. H II regioni su oblaci jonizovanog vodonika u neposrednoj blizini masivne zvezde visoke temperature O ili B tipa. Ova zvezda stvara energiju neophodnu za proces jonizacije vodonika u oblaku H II regiona. Difuzne magline jonizovanog gasea su česte magline u sastavu galaksija. Odlikuje ih slaba emisija pozitivnih jona vodonika, azota i sumpora koji se registruju u svim pravcima. Ove emisije gasova zahtevaju mnogo više energije od svih emisija iz drugih maglina pa čak i spektakularnih H II regiona. Planetarne magline nastaju kao ostatak izbačenog materijala zvezde koja umire, a koja nije dovoljno masivna da postane supernova, obično je to materijal zvezda crvenih gigantata. Crveni giganti u poslednjoj fazi odbacuju materijal u vidu plašta koji ih obavija, a čitav događaj je značajno manje turbulentan i nasilan u odnosu na supernovu. Taj materijal se u vidu severnog prstena udaljava od zvezde brzinom od nekoliko desetina km/sec. Planetarne magline su vidljive kao okrugli objekti, svetli i relativno plavilni u čijem centru se nalazi matična zvezda. Upravo zbog svog položaja i oblika koji se znatno razlikuje od svih drugih, haotičnih tipova maglina, dobile su naziv planetarne magline. Magline koje su ostaci supernova su oblaci gasova koji se šire brzinom od nekoliko stotina do nekoliko hiljada km/sec od mesta relativno skore eksplozije masivne zvezde (supernove). Mogu se sastojati od gasova zvezde posle supernove ali i

### ➌ Prilog 7. IC434

Konjska glava,  
tamna maglina

Izvor: nasa.com



od međuzvezdanog gasa koji je ponešen posle zvezdane eksplozije (Britanica). Poslednje otkriveni tip svetle magline je galaktička emisiona maglina. Ova složena maglina se sastoji od binarnog sistema periodično promjenjivih zvezda koji čine narandžasti patuljak (K klase)

i vrući beli patuljak. Obe zvezde se nalaze u zajedničkom omotaču gasa poreklom sa zvezde koja je postala beli patuljak. Unutar ovog sistema zvezde odvojene evoluiraju, a energija zvezda osvetljava gasni omotač (Kimeswenger S. et al., 2021).

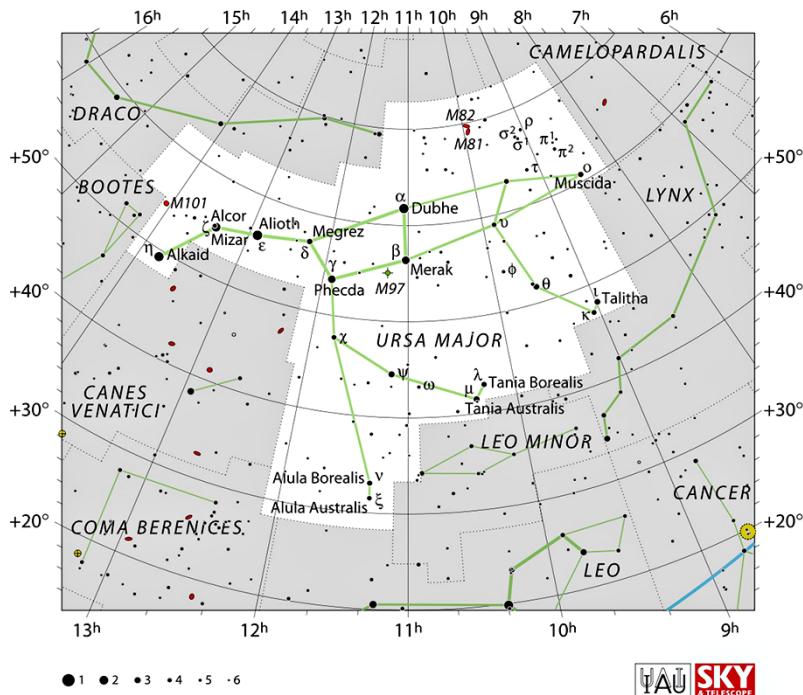
## SAZVEŽĐA

Od kada su ljudi počeli da lutaju Zemljom, najverovatnije od tada se pojавilo i interesovanje za objekte i njihove forme na nebeskom svodu. Forme koje čine zvezde, oblici i objašnjenja, zabeleženi su u brojnim kulturama širom planete Zemlje. Ove formacije poznate su pod nazivom sazvežđa. Prvi put čovek je ostavio slike delova sazvežđa (Vlašići i Hijade) na zidovima pećine Lascaux na jugu Francuske pre oko 17.300 godina kao dokaz o svesti i poznavanju zvezdanih formacija na nebu (Rappenglück, 1996). Interesovanje za sazvežđa je prisutno kroz čitavu istoriju čovečanstva. Više od polovine danas priznatih sazvežđa potiče iz antičkog grčkog perioda, a pretpostavlja se da su ih oni preuzezeli od Vavilonaca, starih Egipćana i Asiraca. U knjizi Almagest, Klaudije Ptolomej broji 48 sazvežđa koja se i danas koriste. Njihovo poreklo nije jasno utvrđeno ali se pretpostavlja da je na Ptolomejev rad imao jak uticaj Eudox koji je živeo i radio oko 350. godine pre nove ere. Tokom XVI i XVII veka, evropski astronomi opisuju i dodaju brojna nova sazvežđa koja su većinom otkrivena na južnoj hemisferi. Do-prinos otkrivanju ovih "novih" sazvežđa dali su: nemački astronom J. Hevelius (*Johannes Hevelius*), holandski kartografi F. Houtman (*Frederick de Houtman*), P. D. Kajzer (*Pieter Dirksz Keyser*), G. Merkator (*Gerard Mercator*), francuski astronom N. L. Lakal (*Nicolas Louise de Lacaille*), flamanski kartograf P. Plankus (*Petrus Plancius*) i italijanski moreplovac A. Vespuči (*Amerigo Vespucci*). Brojna nova sazvežđa unela su ne-poznanice i nedoumice oko definisanja granica sazvežđa na nebeskom svodu što je bilo od kru-cijalne važnosti za jasno i precizno definisanje položaja nebeskih tela.

Problem je rešen tek na I kongresu Međunarodne astronomске unije (IAU) u Rimu 1922. godine, kada su dogovorena 88 jasno

definisanih sazvežđa koja će biti u zvaničnoj astronomskoj upotrebi. Ovih 88 sazvežđa su činila 48 klasičnih i 40 novih sazvežđa. Zadatak da objedini sva sazvežđa i objavi njihov spisak i opis, dobio je belgijski astronom Eugen Delport (*Eugene Delporte*) koji je kao rezultat 1930. godine objavio delo pod nazivom "Zvanični atlas sazvežđa". Delport je podelio nebesku sferu na sferne površi koje pripadaju svakom sazvežđu. Njih odvajaju i definišu njihove granice, deklinacione kružnice i paralele (nebeske koordinate). Na ovaj način, svako sazvežđe obuhvata jasno definisan deo nebeske sfere sa svim nebeskim objektima koji su vidljivi svim mogućim metodama posmatra-nja.

Sazvežđa su prividne projekcije na nebeskoj sferi. I pored toga što kod pojedinih sazvežđa postoje veze među zvezdama koje ih čine (Plejade), većina sazvežđa je posledica perspektive kojom posmatramo zvezde i predstavljaju dvodimenzijski prikaz. Najčešće, između zvezda koje čine pojedina sazvežđa ne postoji nikakva veza, kako gravitacijska tako i genetska, a međusobno su znatno udaljene. Njihov različit sjaj, kao i udaljenosti, pozicioniraju ih i definišu njihov značaj u sazvežđu. Ovakvo naše viđenje sazvežđa je posledica nedostatka ostalih dimenzija u prostoru i vremenu pri posmatranju nebeskog svoda. I pored ove "manjkavosti" u shvatanju sazvežđa, ove prividne konstelacije zvezda su od nemerljivog značaja za orientaciju i pozicioniranje na nebeskom svodu. Svako sazvežđe ima svoj naziv i skraćenicu od tri slova koja je zvanično prihvaćena od strane Međunarodne astronomske unije (Andromeda - And, Veliki pas - CMa, Rak - Cnc, Kentaur - Cen, Hidra - Hya, Bik - Tau, Veliki medved - UMa...). Unutar sazvežđa, najsjanije zvezde imaju svoja



#### Prilog 8. Sazvežđe

Veliki medved

Izvor: iau.com

## PROSTORNE JEDINICE

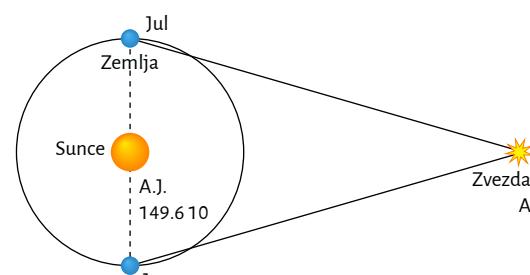
U svemiru su udaljenosti ogromne tako da bi upotreba dužinskih mernih jedinica kao što su metar ili kilometar bila besmislena. U prostoru Sunčevog sistema, razdaljine merimo jedinicom koja se zove astronomска jedinica (AU). Ova jedinica odgovara srednjem rastojanju Zemlje od Sunca, tj.  $149.597.870,700$  kilometara (približno 150 miliona kilometara).

Međutim, izvan Sunčevog sistema rastojanja postaju enormna i potrebna je veća dužinska jedinica. Zbog toga se u međuzvezdanom prostoru koristi svetlosna godina. Svetlosna godina je rastojanje koje svetlost pređe za godinu dana (astronomski godina). Brzina svetlosti je  $2,997924580 \times 10^8$  m/s ( $299.792$  km/s) i pri toj brzini svetlost za godinu dana pređe put od  $9.460.730.472.580.800$  metara, odnosno nešto

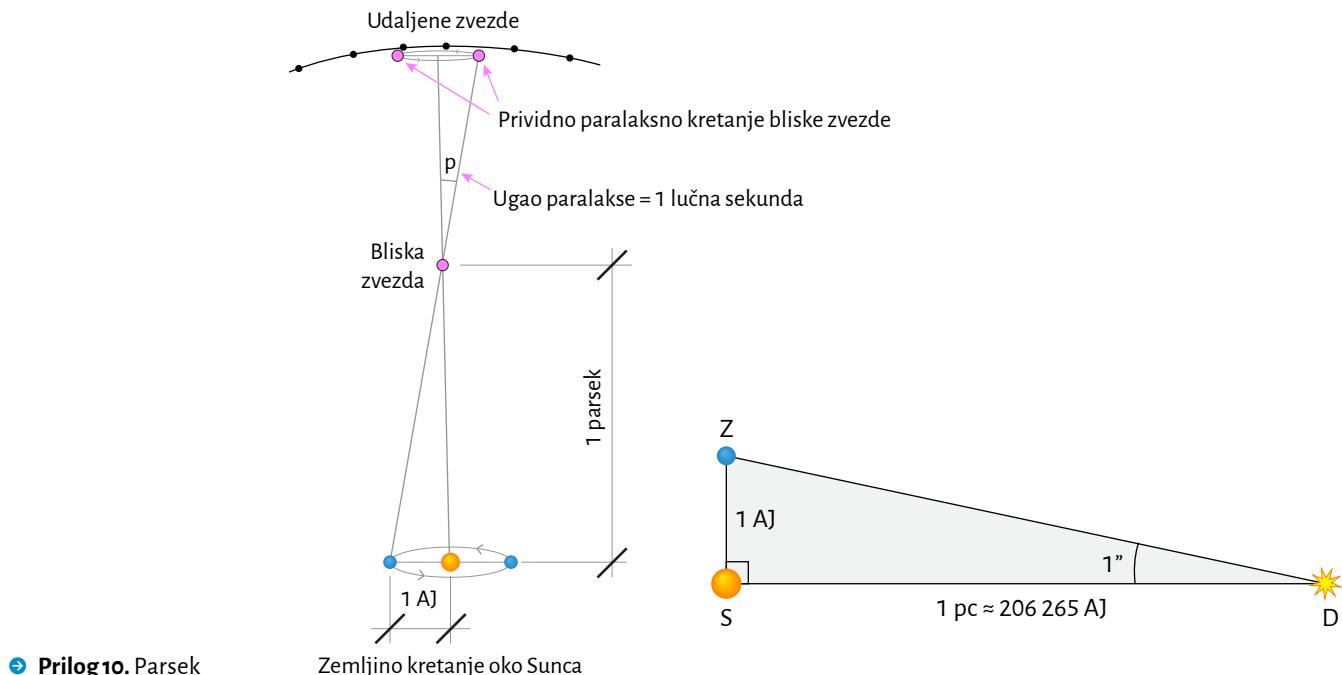
imenama, a dok se manje sjajne zvezde označavaju latinskim slovima, a zvezde najmanjeg sjaja, brojevima. Neke od najsajnijih zvezda su Sirijus (sazvežđe Veliki pas), Kanopus (sazvežđe Kobilica), a Kentaura (sazvežđe Kentaur), Aktur (sazvežđe Volar), Vega (sazvežđe Lira), Kapela (sazvežđe Kočijaš)... Sazvežđa su dobijala nazive po asocijacijama posmatrača, gde ga je neki deo sazvežđa ili najsajnija grupacija zvezda unutar sazvežđa asocirala na neki objekat ili životinju. Ovom tehnikom su se sazvežđa lakše pamtila, a i njihovo prepoznavanje i definisanje je bilo olakšano. Ponekad se, unutar sazvežđa, posebno ističe grupacija zvezda obično po obliku ili po sjaju i često ta grupacija nosi svoj naziv, na primer Velika kola samo su deo sazvežđa Veliki medved ili Vlašići (Plejade) su deo sazvežđa Bika. Ove manje grupacije unutar sazvežđa nazivaju se asterizmi.

#### Prilog 9.

Astronomска jedinica



malo manje od 9,5 biliona (hiljadu milijardi) kilometara, to je vrednost jedne svetlosne godine (ly). Jedna svetlosna godina je jednaka  $63.241$  astronomskoj jedinici ili  $0,3066$  parseka. Parsek (pc) je jedinica koja je veća od svetlosne godine. Koristi se za merenje velikih rastojanja daleko izvan Sunčevog sistema. Sam naziv "parsek" nastao je kao složenica početnih delova reči paralaksa i sekunda, a osmislio ga je britanski astronom Herbert Hall Turner 1913. godine. Vrednost jednog parseka jednaka je  $3,26$  svetlosnih godina ili  $206.265$  astronomskih jedinica što odgovara  $30,9$  biliona kilometara. Vrednost jednog parseka dobijena je trigonometrijskim proračunom uz upotrebu paralakse. Parsek je definisan kao rastojanje pri kom se jedna astronomski jedinica nalazi naspram ugla paralakse koji odgovara vrednosti od jedne sekunde stepena ( $1/3600$  od  $1^\circ$ ). Ovo odgovara  $648.000 / p$  au ili  $1 \text{ pc} = 1 / \tan(1^\circ)$  au (Cox, 2000; Binney 2008). Jasno određivanje parseka kao vrednosti dala je Međunarodna astronomski unija (IAU) 2015. godine kada je iznela stav da jedan parsek odgovara tačnoj vrednosti  $648.000 / p$  ili  $3,085.677.581.491.3673 \times 10^{16}$  metara.



### Prilog 10. Parsek

U upotrebi su i veće jedinice. Kiloparsek (kpc) odgovara vrednosti 1.000 parseka ili 3.260 svetlosnih godina. Megaparsek (Mpc) je jednak vrednosti milion parseka ili 3.260.000 svetlosnih godina. Gigaparsek (Gpc) je jednak vrednosti bilion parseka ili 3,26 biliona svetlosnih godina. U astronomiji i astrofizici se koriste i zapreminske jedinice, kubni parsek, kubni kiloparsek, kubni megaparsek i kubni gigaparsek.

**Tabela 1.** Zapreminske jedinice u Svetmiru

| Naziv            | Oznaka           | Vrednost                           |
|------------------|------------------|------------------------------------|
| Kubni parsek     | pc <sup>3</sup>  | $2,938 \times 10^{49} \text{ m}^3$ |
| Kubni kiloparsek | kpc <sup>3</sup> | $2,938 \times 10^{58} \text{ m}^3$ |
| Kubni megaparsek | Mpc <sup>3</sup> | $2,938 \times 10^{67} \text{ m}^3$ |
| Kubni gigaparsek | Gpc <sup>3</sup> | $2,938 \times 10^{76} \text{ m}^3$ |

### LITERATURA

- Cox, A. N. ed. 2000. *Allen's Astrophysical Quantities* (4th ed.). New York: AIP Press / Springer.  
 Binney, J., Tremaine, S. 2008. *Galactic Dynamics* (2nd ed.). Princeton, NJ: Princeton University.  
 Kornel Đ., Bugarski D. 1996. *Matematička geografija*, Novi Sad.  
 Tanabashi, M. et al., 2019. *Astrophysical Constants and Parameters*. *Physical Review D*. Particle Data Group. 98 (3): 030001.  
 Kimeswenger S. et al., 2021. YY Hya and its interstellar environment. *Astronomy and Astrophysics*.  
 Rappenglück, M. A. 1996. The Pleiades in the "Salle des Taureaux", Grotte de Lascaux (France). Does a Rock Picture in the Cave of Lascaux Show the Open Star Cluster of the Pleiades at the Magdalénien Era, ca. 15.300 B.C.? *Actas del IV Congreso de la SEAC/Proceedings of the IVth SEAC Meeting "Astronomy and Culture"*. C. Jaschek and F. Atrio Barandela (eds.). Salamanca, 1996, pp. 217-225.  
[www.britanica.com](http://www.britanica.com)  
[www.nasa.com](http://www.nasa.com)

# OPŠTE ODLIKE SUNČEVOG SISTEMA

Sunčev sistem čini Sunce i sva tela koja se nalaze pod njegovim gravitacionim uticajem. Uz Sunce, sistem čine planete, patuljaste planete, sateliti, asteroidi, meteoridi, komete, objekti u Kuiperovom pojasu, materijal u Ortovom oblaku kao i međuplanetarni materijal. Sva tela u Sunčevom sistemu se kreću po eliptičnim putanjama (orbitama) oko Sunca, a svako telo ima svoje vreme koje mu je potrebno da izvrši taj put, takozvana siderička revolucija.

Planete su najveća tela u Sunčevom sistemu. Na osnovu svojih fizičkih karakteristika mogu se podeliti na dve grupe, prvu grupu čine stenovite planete: Merkur, Venera, Zemlja i Mars. U njihovoј građi dominantni su stenoviti oblici i metali, same planete su manjih dimenzija ali imaju veću gustinu. Drugu grupu čine ogromne planete koje bi se mogle podeliti u dve podgrupe, prvu čine Jupiter i Saturn koje još nazivamo i gasovitim džinovima, a drugu čine Uran i Neptun, ledeni džinovi Sunčevog sistema. U građi prvih dominiraju vodonik i vodonična jedinjenja, a u građi druge podgrupe dominira helijum, metan i amonijak u različitim agregatnim stanjima. Pored planeta, u Sunčevom sistemu se nalaze i patuljaste planete. U grupu patuljastih planeta spadaju Ceres, Pluton, Haumea, Makemake i Eris.

Oko mnogih planeta, kao i patuljastih planeta, orbitiraju od njih manja tela, sateliti. Pojedini sateliti Jupitera i Saturna su veći od nekih planeta u Sunčevom sistemu tako da njihova masa u Sunčevom sistemu nije zanemarljiva. Najveći sateliti u Sunčevom sistemu su Ganimed (Jupi-

ter), Titan (Saturn) i Kalisto (Jupiter). U Sunčevom sistemu se nalaze i asteroidi, većina se nalazi u pojasu između Marsa i Jupitera koji nosi naziv pojas asteroida, ali ih ima i u drugim delovima sistema. Posebnu grupu čine tela u Kuiperovom pojasu. To su većinom ledena tela koja se nalaze daleko van Neptunove orbite.

U Sunčevom sistemu imamo i komete, tela sastavljena od leda, stenskih čestica i prašine, većina ima poreklo iz Oortovog oblaka, široke sferne zone koja obavija Sunčev sistem. Sunčev sistem čine i meteoroidi, međuplanetarna tela različitog sastava, manjih dimenzija od asteroida, međuplanetarna prašina ali i čestice koje sačinjavaju prstenove planeta. Od XX veka, sastavni deo Sunčevog sistema je i svemirski otpad, materijal različitog sastava ali istog, antropogenog porekla. Brojna tela čine Sunčev sistem, njihova brojnost i raznovrsnost je daleko od zanemarljive, ali njihova ukupna masa je skoro zanemarljiva. U Sunčevom sistemu 99,86% ukupne mase nosi Sunce, ostatak mase, 0,14% grade sva poznata i još nepoznata tela u Sunčevom sistemu.

## SUNCE

Sunce je zvezda prosečne veličine, a svojim karakteristikama kategorisana je kao žuto-naranđasta zvezda G2V. Ona je jedna od 200 do 400 milijardi zvezda u galaksiji Mlečni put i nalazi se kraj malog, delimičnog Orion kraka koji je smešten između spiralnih krakova Sigitarius i Perseus. Sunce, zajedno sa drugim zvezdama vrši revoluciju oko centra galaksije, a za jednu orbitu potrebno mu je 200 miliona godina.

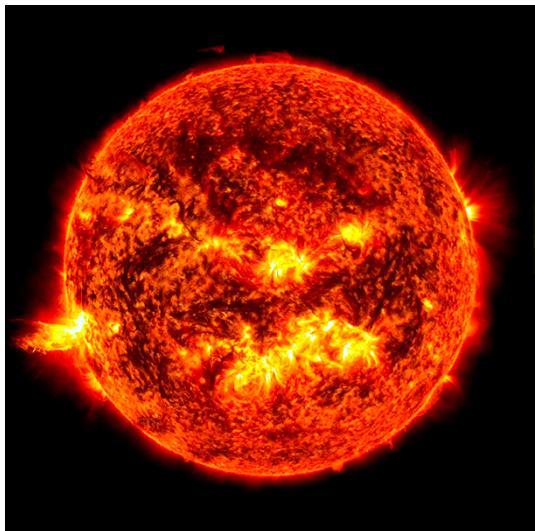
U sastavu Sunca dominiraju vodonik sa oko 91,2% i Helijum sa 8,7%. Spektralnom analizom je registrovano i prisustvo kiseonika, karbona, azota, magnezijuma, neon-a, gvožđa i drugih elemenata. U strukturi Sunca razlikujemo šest zona, u unutrašnjosti se nalaze: jezgro, radiaciona zona i konvektivna zona. Na površini su fotosfera, hromosfera i korona.

U jezgru Sunca, termonuklearnom fuzijom, nastaje energija. Ostali slojevi Sunca

ne proizvode energiju. Jezgro zauzima svega 1,6% ukupne zapremine Sunca, a temperature dostižu i 15 miliona stepeni Celzijusa. Kada se proizvede, energija se iz jezgra prenosi ka spoljnim slojevima, prvo u radijacionu zonu pa u konvektivnu zonu. Prenošenje energije u Suncu vrši se zračenjem i konvekcijom. U samom jezgru prenos energije se odvija putem zračenja, a zračenje je zaslužno i za prenos energije u radijacionoj zoni. U radijacionoj zoni, idući od granice sa jezgrom ka gornjim slojevima, temperature polako opadaju dok u udaljenijim delovima radijacione zone temperatura naglo opada. Iznad radijacione zone, usled pada temperature i turbulentnih kretnanja, energija počinje da se prenosi konvekcijom. Taj pojas Sunca se naziva konvektivna zona. Odlikuje je izražena dinamika masa, toplice i lakše mase se izdižu ka površini, a hladnije i teže padaju dole u niže slojeve konvektivne zone.

Unutrašnje sfere Sunca su obavijene površinskim slojem debljine do 500 kilometara i koji se naziva fotosfera. Fotosfera je najgušći spoljni omotač Sunca ali je mnogo ređa od Zemljine atmosfere. Temperature u fotosferi dostižu do  $5.500^{\circ}\text{C}$ , a energija se većim delom prenosi zračenjem, a delimično i konvekcijom. Fotosfera je dinamična zona na Suncu i na njoj su vidljive brojne pojave. Često se pojavljuju mlažovi gasova koji stižu u fotosferu iz nižih slojeva Sunca. Imaju veću temperaturu od fotosfere, a na površini fotosfere se raspoznaju kao svetlijia zrna, za oko 20% svetlijia od ostatka fotosfere i nazivaju se granule. Na fotosferi su vidljive i super granule koje imaju veličinu oko 30.000 kilometara, one su česte pojave i u svakom trenutku na Suncu ima oko 2.000 super granula koje karakteriše veća konvekциja energije. U njihovim centralnim delovima se pregrejani gasovi izdižu ka površini fotosfere, a na obodnim delovima, hladniji gasovi se spuštaju u niže delove.

Veoma atraktivnu pojavu na fotosferi Sunca je uočio još Galileo Galilej, takozvane Sunčeve pege. Intenzitet ove pojave je promenljiv, može se desiti da Sunce bude prekriveno stotinama pega ali se isto tako dešava da nema nijedne. Kada se pojave pojedinačno, traju od deset do dvadeset dana, dok je pojava u grupama trajnija, oko pedeset dana. Pege se sastoje



↑ **Prilog 11.** Sunčeve baklje, 20.6.2013. godine

Izvor: [science.nasa.gov](http://science.nasa.gov)

iz dva dela, centralni deo je taman i naziva se umbra ili senka, a obavija ga nešto svetlijii deo polusenke ili penumbre. Prečnik pega je velik, sama senka ima prečnik 10.000-20.000 kilometara, a prečnik polusenke je oko 40.000 kilometara. Pege predstavljaju tamnije delove fotosfere koje odlikuje i niža temperatura. Sjaj senke je za 80% manji od ostataka fotosfere, a temperatura joj je oko  $4.200^{\circ}\text{C}$ . Polusenka ima za oko 30% manji sjaj i temperaturu od oko  $5.200^{\circ}\text{C}$ . Utvrđeno je da se pege pojavljuju i nestaju u ciklusima, dostižu svoj maksimum na svakih jedanaest godina.

Osim ovih, u fotosferi su registrovane i druge pojave na Suncu kao što su: baklje, fakule, spikule i solarne erupcije.

Iznad fotosfere se nalazi hromosfera. U donjim slojevima ima nižu temperaturu od fotosfere, emituje veoma malo svetlosti i teško ju je posmatrati zbog velikog sjaja fotosfere. Posmatranje je moguće prilikom pomračenja Sunca kada je fotosfera prekrivena Mesecom. U višim slojevima hromosfere temperaturre drastično rastu pa dostižu i  $9.500^{\circ}\text{C}$ . I hromosfera je dinamična, na nekoliko minuta dolazi do erupcija solarnih gasova, spikula, koji paraju hromosferu. To su tanki, usijani mlažovi pregrajanih gasova sa temperaturama od preko  $14.000^{\circ}\text{C}$ , koji se sa površine fotosfere dižu u hromosferu do visine od nekoliko hiljada kilometara. Spikule se javljaju u svim delovima Sunca ali se najčešće pojavljuju na ivicama supergranula.

Hromosfera se prostire od oko 1.500 kilometara iznad fotosfere. Iznad 1.500 kilometara do 10.000 kilometara je tranzitna zona u kojoj naglo rastu temperature. Samo u trenućima potpunog pomračenja Sunca, kada Mesec pokrije fotosferu i hromosferu, može se videti Sunčeva korona, najviši sloj Sunca. Korona počinje na visini od oko 10.000 kilometara iznad fotosfere. Za koronu je karakteristična izrazito visoka temperatura od oko dva miliona stepena Celzijusa. Spektralnim analizama utvrđeno je da su atomi svih elemenata u koroni visoko ionizovani što je posledica izrazito visokih temperatura. U koroni se mogu uočiti lukovi, zraci, erupcije, šupljine i drugi oblici, kako jednim delom u vidljivom spektru, tako i u radio ili rengenskom spektru. Energija Sunca je ključna za razvoj života na Zemlji. Na Zemlju

(na površinu njene atmosfere) u svakom trenutku stiže  $1.367 \text{ W/m}^2$  energije, a ta količina energije se naziva solarna konstanta. Moguće su manje varijacije u vrednosti solarne konstante, a one zavise od aktivnosti na Suncu.

**Tabela 2.** Osnovni podaci za Sunce

|                        |                                      |
|------------------------|--------------------------------------|
| Nagib prema orbiti     | $7,25^\circ$                         |
| Poluprečnik            | 695.508 km                           |
| Obim                   | 4.370.005,6 km                       |
| Zapremina              | $1.40927 \times 10^{18} \text{ m}^3$ |
| Masa                   | $1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$    |
| Specifična gustina     | $1.409 \text{ g/cm}^3$               |
| Gravitaciono ubrzanje  | $274,0 \text{ m/s}^2$                |
| Period rotacije        | 25,38 z. dana (609,12 sati)          |
| Površinska temperatura | 5.500 °C                             |

## STENOVITE PLANETE

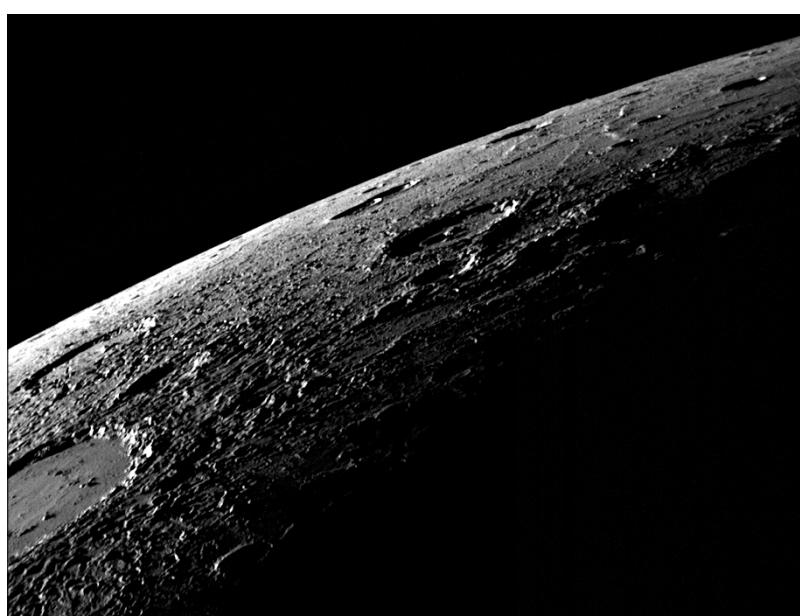
### Merkur

Merkur je najmanja planeta u Sunčevom sistemu, a njegova orbita je na 0,39 AU od Sunca. Blizina Sunca je uticala i na njegova kretanja pa je rotacija usporena što za posledicu ima da jedan Merkurov dan traje 59 zemaljskih dana. Sa druge strane, ista ta blizina Sunca je uticala na brzu revoluciju ove planete pa jedna godina na Merkuru traje samo 88 zemaljskih dana. Merkur ima čvrstu, stenovitu

površinu koja je prekrivena kraterima. Pojedini krateri su ogromnih dimenzija, posebno kada se uzme u obzir veličina same planete. Najveći krater je Kaloris (Caloris) sa prečnikom od 1.550 kilometara. Dugo je ovaj krater zbunjivao naučnike, mnogi su smatrali da mu nije mesto na Merkuru jer svojom veličinom asocira na katastrofalni događaj koji je svojom silinom trebalo da uništi celu planetu. Noviji modeli su objasnili na koji način je najverovatnije nastao ovaj veliki krater. Naučnici prepostavljaju da je u prošlosti Merkur imao ogromnu sreću da je veliko telo (najverovatnije asteroid) koji je privučen gravitacijom Sunca promašio Merkuru ali ga je "očešao". To ćešanje je imalo za posledicu formiranje ogromnog kratera Kaloris, ali i naboranog izdignutog terena tačno sa suprotne strane planete za koji se prepostavlja da je nastao izdizanjem kore planete što je posledica seizmičkih talasa izazvanih udarom. Raspad planete je sprečila izuzetno kompaktna unutrašnja građa Merkura. Daleko manji je sledeći po veličini krater, Rahmanjinov (Rachmaninoff) sa prečnikom od 306 kilometara. Položaj Merkura je uslovio stalne udare tela koja, privučena gravitacijom Sunca, mogu na svom putu pogoditi maleni Merkur. Na Merkuru postoje

### Prilog 12. Površina Merkura

Izvor: science.nasa.gov



**Tabela 3.** Osnovni podaci za Merkur

|                                  |                             |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Srednja udaljenost od Sunca      | 57.909.227 km (0,39 AU)     |
| Perihel*                         | 46.001.009 km (0,31 AU)     |
| Afel**                           | 69.817.445 km (0,47 AU)     |
| Period revolucije                | 0,24 z. godina (88 z. dana) |
| Nagib orbite                     | 7°                          |
| Nagib planete prema orbiti       | 0°                          |
| Poluprečnik                      | 2.439,7 km                  |
| Obim                             | 15.329,1 km                 |
| Specifična gustina               | 5.427 g/cm <sup>3</sup>     |
| Gravitaciono ubrzanje            | 3,7 m/s <sup>2</sup>        |
| Period rotacije                  | 58,6 z. dana (1.407,5 sati) |
| Površinska temperatURA (min/max) | -173/427 °C                 |

\* tačka na orbiti gde je planeta najbliža Suncu

\*\* tačka na orbiti gde je planeta najudaljenija od Sunca

i uravnjeni delovi velike površine čije su ivice po pravilu pod kosim nagibima ili čak odsečima nekada visokim i preko jednog kilometra. Pretpostavlja se da su ovi uravnjeni delovi Merkura nastali još u periodu formiranja planete kada se jezgro i unutrašnjost Merkura hladila, a spoljni omotač planete skupljao i uravnjavao.

Ova planeta ima izraženu specifičnu gustinu sa 5,427 g/cm<sup>3</sup> i samo Zemlja ima veću u Sunčevom sistemu. Pretpostavlja se da unutrašnjost planete sačinjava veliko jezgro sastavljeno od metala sa prečnikom preko 2.000 kilometara što je oko 80% prečnika planete. Upotrebom radara, 2007. godine, istraživači sa Zemlje su utvrdili da je spoljni deo velikog metalnog jezgra planete delimično rastopljen, dok je unutrašnji deo jezgra u čvrstom stanju. Takođe, utvrđeno je da je spoljni stenoviti omotač koji obavlja jezgro, debljine svega 400 kilometara. Izrazito razređena atmosfera, koju čine atomi kiseonika, natrijuma, vodonika, helijuma i kalijuma, obavlja ovu planetu. Merkur nema satelite ni prstenove.

● **Prilog 13.** Površina Venere, sonda Venera 14, 1981. godine  
Izvor: roscosmos.com

## Venera

Venera je druga planeta od Sunca, od njega je udaljena 0,72 AU, a po veličini, malo je manja od Zemlje. Ova planeta je po mnogim osobinama slična Zemlji, po građi, veličini, masi, gustoći i gravitaciji. Venera ima izrazito sporu, retrogradnu rotaciju. Jedan Venerin dan traje 243 zemaljska dana i duži je od njene godine, period revolucije (Venerina godina) traje 225 zemaljskih dana. Venera je obavijena gustom atmosferom koju većinom čini ugljen dioksid, unutar atmosfere formiraju se oblaci sastavljeni od kapljica sumporne kiseline. Samo u travgovima je u atmosferi registrovano prisustvo vodene pare. Velika gustina kao i sam sastav atmosfere uticali su da energija Sunca ostaje pri površini planete (efekat staklene baštice) što rezultira izrazito visokom temperaturom na površini planete, preko 460 °C. Efekat staklene baštice predstavlja takvu pojavu pri kojoj kratkotalasno Sunčeve zračenje relativno lako (uz slabu apsorpciju u atmosferi planete) dosegava površine planete ali se dugotalasno (infracrveno) zračenje, koje se reemituje sa površine, u velikoj meri apsorbuje u planetarnoj atmosferi, dovodeći do porasta srednje temperature na površini planete. Čitava atmosfera je veoma dinamična, oblaci u atmosferi se veoma brzo kreću, a njihova brzina je uslovljena njihovom visinom. Najviši delovi atmosfere obidi krug oko planete za samo četiri zemaljska dana, a njihova uraganska brzina se procenjuje na preko 360 km/h. Sa opadanjem visine, brzine u atmosferskim slojevima se smanjuju, a procena je da se na površini planete atmosferski slojevi kreću brzinama od svega nekoliko km/h. U svim slojevima atmosfere su stalno prisutna električna pražnjenja, a za razliku od Zemlje gde su izvor ovakvih pražnjenja oblaci vodene pare, na Veneri su to oblaci sumporne kiseline. Abrazavni sastav atmosfere, njena gustina kao i brzina kretanja, ima izrazito ero-



**Tabela 4.** Osnovni podaci za Veneru

|                                   |                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Srednja udaljenost od Sunca       | 108.209.475 km (0,723 AU)       |
| Perihel                           | 107.476.170 km (0,718 AU)       |
| Afel                              | 108.942.780 km (0,728 AU)       |
| Period revolucije                 | 0,615 z. godina (224,7 z. dana) |
| Nagib orbite                      | 3,39°                           |
| Nagib planete prema orbiti        | 177,3°                          |
| Poluprečnik                       | 6.051,8 km                      |
| Obim                              | 38.024,6 km                     |
| Specifična gustina                | 5,243 g/cm <sup>3</sup>         |
| Gravitaciono ubrzanje             | 8,87 m/s <sup>2</sup>           |
| Period rotacije                   | -243,018 z. dana, retrogradno   |
| Površinska temperaturna (min/max) | 462 °C                          |

zionario delovanje na površinu planete. Na površini planete ne postoje krateri manji od 1,5 kilometara. Razlog toga je gusta atmosfera koju manji objekti ne mogu da probiju pa pri prolasku sagore. Venera spada u unutrašnje - stenovite planete.

U unutrašnjosti Venere je gvožđevito jezgro, poluprečnika 3.000 kilometara, ali i pored toga, Venera nema magnetno polje što je posledica male rotacione brzine planete. Oko gvožđevitog jezgra se nalazi stenski omotač, a iznad je tanka kora planete. Površina Venere je vulkanski pejsaž. Prekriva je preko hiljadu vulkanskih kupa ili izvora lave čiji je prečnik veći od 20 kilometara. Pretpostavlja se da je kompletna površina Venere izgrađena vulkanskom aktivnošću pre 300 do 500 miliona godina. Osim vulkanskih kupa na površini su prisutni i drugi karakteristični oblici za vulkanski

reljef, a najupečatljiviji su tokovi lave od kojih su neki dugi i po više stotina kilometara. Reljef na Veneri definišu i dve visoravni, Ištar (*Ishtar Terra*) koja se nalazi na prostoru severnog Venerinog pola, veličine je kao Australija i Afrodita (*Aphrodite Terra*) koja se nalazi na prostoru ekvatora, veličine Južne Amerike. Na istočnom obodu visoravni Ištar se nalazi planina Mak-svel (*Maxwell*), najviši vrh Venere. Venera nema satelite niti prstenove.

## Zemlja

Zemlja je treća planeta od Sunca, spada u grupu unutrašnjih - stenovitih planeta. Za sada, jedina poznata planeta Sunčevog sistema na kojoj se razvio život. Udaljena je oko 150 miliona kilometara od Sunca ili jednu astronomsku jedinicu (AU). Rotacija Zemlje traje približno 24 sata, a revolucija oko 365 dana. Površina planete je stenovita, definisana radom unutrašnjih i spoljašnjih sila, a 70% površine planete pokriva voda. U unutrašnjosti planete se nalazi jezgro koje čini gvožđe i nikl. Unutrašnji deo je u čvrstom stanju dok je spoljni deo jezgra rastopljen. Ovakav sastav i struktura jezgra kao i relativno brza rotacija planete učinili su da Zemlja ima magnetno polje. Oko jezgra, formiran je stenoviti omotač sa stenovitom korom. Zemlja ima i atmosferu, gradi je azot sa 78%, kiseonik 21% i 1% atmosfere čine ostali elementi. Zemlja nema prstenove ali ima jedan satelit, Mesec.

## Mesec

Mesec je jedini Zemljin prirodni satelit. Smatra se da je nastao pre oko 4,5 milijardi godina kada je telo veličine Marsa udarilo u Zemlju. Kao posledica sudara u orbiti Zemlje je ostao materijal od tela koje je udarilo u Zemlju kao i materijal od same Zemlje od koga će kasnije da se formira Mesec. U početnim fazama formiranja, Mesec je bio u rastopljenom stanju, a nestabilna površina Meseca je tek posle sto miliona godina počela da se hlađi i formira koru. U periodu rastopljenog stanja, lava sastavljena od lakših elemenata i stena manje gustine je isplivavala ka spoljnim slojevima Meseca pa je upravo Mesečeva kora formirana njenim hlađenjem. Pretpostavlja se da je Mesec u ranoj fazi formiranja imao

**Tabela 5.** Osnovni podaci za Zemlju

|                                   |                              |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Srednja udaljenost od Sunca       | 149.598.262 km (1 AU)        |
| Perihel                           | 147.098.291 km (0,983 AU)    |
| Afel                              | 152.098.233 km (1,017 AU)    |
| Period revolucije                 | 1 z. godina (365,26 z. dana) |
| Nagib orbite                      | 0,00005°                     |
| Nagib planete prema orbiti        | 23,4393°                     |
| Poluprečnik                       | 6.371 km                     |
| Obim                              | 40.030,2 km                  |
| Specifična gustina                | 5,513 g/cm <sup>3</sup>      |
| Gravitaciono ubrzanje             | 9,807 m/s <sup>2</sup>       |
| Period rotacije                   | 0,997 z. dana; 23,934 sata   |
| Površinska temperaturna (min/max) | -88/58 °C                    |

**Tabela 6.** Osnovni podaci za Mesec

|                                  |                                 |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Srednja udaljenost od Zemlje     | 384.399 km                      |
| Perihel                          | 363.229 km                      |
| Afel                             | 405.400 km                      |
| Period revolucije                | 0,07 z. godina (27,322 z. dana) |
| Nagib orbite                     | 5,15°                           |
| Nagib planete prema orbiti       | 6,687°                          |
| Poluprečnik                      | 1.737,5 km                      |
| Obim                             | 10.917 km                       |
| Specifična gustina               | 3.344 g/cm <sup>3</sup>         |
| Gravitaciono ubrzanje            | 1,624 m/s <sup>2</sup>          |
| Period rotacije                  | 27,322 z. dana                  |
| Površinska temperatURA (min/max) | -171/140 °C                     |

sve uslove za postojanje vlastitog magnetnog polja. I tada kao i danas, Mesec ima izrazito razređenu atmosferu. Posledica toga je Meseče-va kora koja je milionima godina bila pogađana meteorima, asteroidima i kometama od kojih je svaki ostavio svoj trag. Zbog toga i ne čudi površina Meseca koja je u potpunosti prekrivena kraterima. Kao posledica stalnih udara o površinu, javlja se i specifična geološka građa Mesečeve kore. Čitava površina Meseca je prekrivena finom prašinom i sitnim ostacima stena koja u vidu prekrivača pokriva veće komade matičnih stena. Taj materijal je milionima godina akumuliran na površini, a nastao je kao posledica stalnih udara meteora, asteroida i komete. Njihovim raspadanjem ali i raspadanjem površinskih matičnih stena na Mesecu, formiran je ovaj fini materijal. Posmatrajući sa Zemlje, svetlij delovi Meseca su uzvišenja dok oni tamniji predstavljaju niže delove koji se nazivaju mora, to su nekadašnji krateri koji su u periodu od pre 4,2 do pre 1,2 milijarde godina ispunjeni lavom. Samim tim, tamniji i svetlij delovi Meseca predstavljaju stenske mase različitog sastava, nastanka i starosti, i predstavljaju ostatke procesa ranog formiranja Mesečeve kore još iz perioda hlađenja pramecevih površinskih okeana lave. Sa druge strane, krateri predstavljaju istorijski zapis o intenzitetu i snazi udara nebeskih tela tokom formiranja Meseca. Skoro potpuno odsustvo atmosfere je posledica Mesečeve relativno male mase (81 put manja od Zemljine) pri čemu njegovo gravitaciono polje nije dovoljno jako da spreči molekule gasova da odu u međuplanetarni prostor.

## Mars

Mars je četvrta planeta Sunčevog sistema, od njega je udaljen oko 1,52 AU. Period rotacije je sličan kao i na Zemlji, tako da jedan dan na Marsu traje nešto više od 24 sata. Godina (period revolucije) na Marsu traje 687 zemaljskih dana. Mars pripada grupi stenovitih planeta. Površina mu je stenovita i suva. Kao i kod drugih stenovitih planeta, površina Marsa je formirana pod uticajem vulkanizma, meteorskih, kometskih i asteroidskih udara kao i erozivnim procesima. Kao i na Zemlji, na Marsu ima vidljivih sezonalnih promena, što je posledica nagnutosti ose rotacije ka ekliptici. Najvidljivije sezonalne promene su na polarnim kapama, sa promenama sezone, polarne kape smanjuju svoju površinu ili je povećavaju. Brojne vulkanske kupe svedoče o izraženoj vulkanskoj aktivnosti u prošlosti Marsa. Vulkani na visoravnima na Marsu su stari oko tri milijarde godina. Niži vulkanski oblici su i mlađi, nastali su pre od jedne do dve milijarde godina. Na Marsu se nalazi i Olimpus (*Olympus Mons*) najveći vulkan u Solarnom sistemu, a u zoni ekvatora je ogromna dolina sa kanjonskim sistemom (*Valles Marineris*). Mars nema planetarno magnetno polje ali je na južnoj Marsovoj hemisferi utvrđeno prisutstvo jako nameagneti-sanih zona kore za koje se smatra da predstavljaju ostatke Marsovog magnetnog polja od pre četiri milijarde godina. Naučnici smatraju da su se kroz geološku istoriju Marsa klimatski, geološki i geomorfološki uslovi stalno menjali. Nekada je na Marsu bilo vode u tečnom stanju i to u tolikoj meri da je u jednom trenutku, pre oko 3,5 milijardi godina, došlo do poplava na planetarnom nivou. Nagli porast vode uticao je na bujična kretanja koja su opet svojom erozijom izgradile karakterističan fluvijalni reljef. Nije poznato zbog čega je došlo do nagle pojave velike količine tečne vode, odakle se pojavila, koliko je dugo trajalo njeno prisustvo, ni gde je i kada nestala ta voda. Posle nje, ostali su reliktni oblici fluvijalne erozije kao svedočanstvo o prisutnosti i snazi tečne vode na Marsu. U prošlosti, ti oblici, kanjoni, doline, kanali i čitavi sistemi fluvijalnih oblika budili su maštu istraživačima i astronomima o razvijenoj civilizaciji koja živi na Marsu ili pak o oblicima života koji naseljavaju ovu planetu. Istraživanja iz druge polovine XX veka su opovrgla ova



➊ **Prilog 14.** Površina Marsa, Curiosity Mars rover, 14.8.2023. godine  
Izvor: science.nasa.gov

shvatanja, a savremena istraživanja pokušavaju da pronađu osnov za potvrdu postojanja života na Marsu bar na nivou najprostijih mikroorganizama. Takva potvrda i dalje se čeka.

Za sada, 2002. godine potvrđeno je prisustvo velike količine vode u zaleđenom stanju ispod topografske površine Marsa na njegovim polovima. Kasnije je potvrđeno prisustvo zaleđene vode ispod topografske površine u skoro svim delovima Marsa. Analizom minerala sa Marsa 2004. godine je potvrđeno da je nekada na Marsu bilo vode u tečnom stanju. Potvrda je stigla i sa najmanje dve suprotno orijentisane lokacije na Marsu, što potvrđuje opšteplanetarno prisustvo tečne vode u prošlosti. Niske temperature i razređena atmosfera danas ne pružaju uslove za opstanak tečne vode na površini planete. Atmosfera na Marsu je razređena, a čine je ugljen dioksid, azot i argon.

Mars ima dva satelita, Fobos (*Phobos*) i Demos (*Deimos*). Spadaju među najmanje sa-

telite u Sunčevom sistemu. Fobosova orbita je na samo 6.000 kilometara visine u odnosu na površinu Marsa. Ni jedan drugi poznati satelit nije bliži matičnoj planeti. Fobos u toku jednog dana izvrši tri revolucije oko Marsa, dok je Deimosu potrebno oko 30 sati. Na svakih sto godina, Fobos se približi Marsu za 1,8 metara, a pretpostavlja se da će za 50 miliona godina ili pasti na Mars ili će se raspasti i formirati prsten oko planete. Oba satelita su stenovite građe, nepravilnog oblika, sa mnoštvom kraćera po površini. Oni su među najtamnjim objektima u Sunčevom sistemu. Pretpostavlja se da se sastoje od ugljenika, stena, leda i ostataka asteroida, sastav im je sličan kao C klasa asteroida. Fobos je veći, dimenzija  $27 \times 22 \times 18$  kilometara u prečniku. Deimos i Fobos nemaju atmosferu, a površinske temperature variraju od  $-4^{\circ}\text{C}$  do  $-112^{\circ}\text{C}$ . Deimos je manji satelit Marsa, dimenzija  $15 \times 12 \times 11$  kilometara u prečniku.

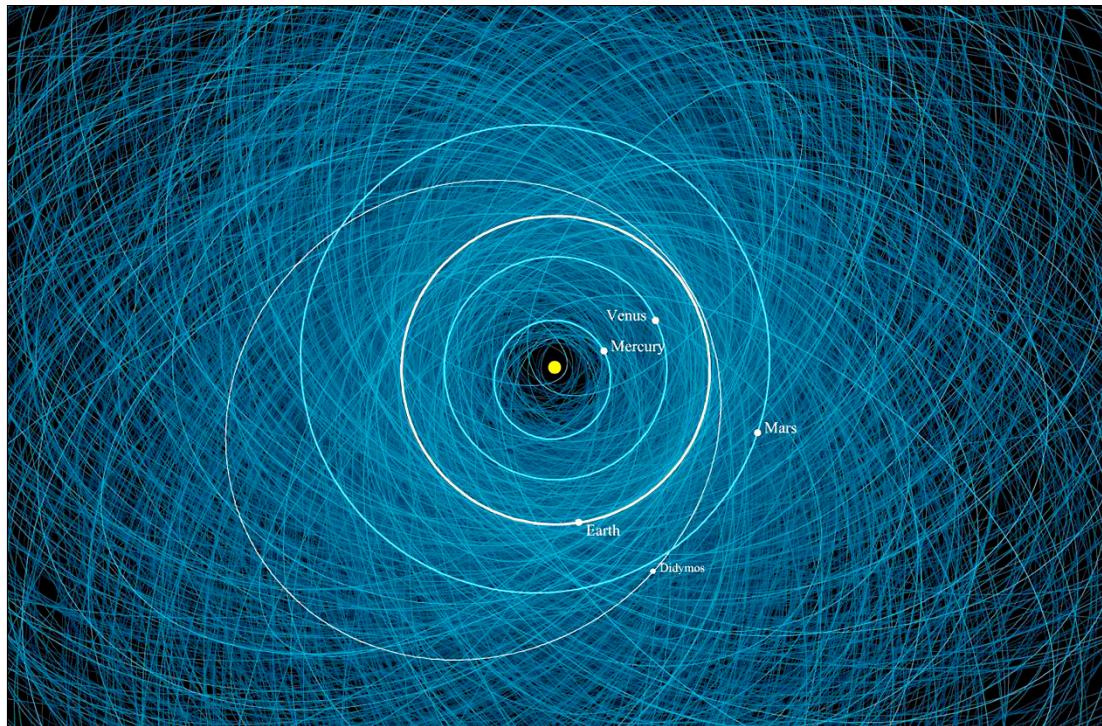
**Tabela 7.** Osnovni podaci za Mars

|                                  |                                 |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Srednja udaljenost od Sunca      | 227.943.824 km (1,52 AU)        |
| Perihel                          | 206.655.215 km (1,38 AU)        |
| Afel                             | 249.232.432 km (1,67 AU)        |
| Period revolucije                | 1,88 z. godina (686,98 z. dana) |
| Nagib orbite                     | 1,85°                           |
| Nagib planete prema orbiti       | 25,2°                           |
| Poluprečnik                      | 3.389,5 km                      |
| Obim                             | 21.296,9 km                     |
| Specifična gustina               | 3,934 g/cm <sup>3</sup>         |
| Gravitaciono ubrzanje            | 3,71 m/s <sup>2</sup>           |
| Period rotacije                  | 1,026 z. dana; 24,623 sata      |
| Površinska temperatura (min/max) | -87/-5 °C                       |

### Asteroidi

Asteroidi su većinom stenoviti ostaci za koje se pretpostavlja da potiču iz perioda formiranja Sunčevog sistema, njihova starost se procenjuje na oko 4,6 milijardi godina. Većina asteroida se nalazi u pojasu između Marsa i Jupitera na udaljenosti od 2 do 4 AU od Sunca. Ova zona se naziva pojas asteroida, svojim položajem deli Sunčev sistem na unutrašnji i spoljašnji. U pojasu asteroida se nalazi i Ceres, nekada klasifikovan kao najveći asteroid, a danas pripada grupi patuljastih planeta. Veličina asteroida varira od nekoliko stotina kilometara u prečniku do manje od jednog kilometra. Ukupna

• **Prilog 15.** Prikaz orbita oko 2.200 potencijalno opasnih asteroida po Zemlju  
Izvor: [jpl.nasa.gov](http://jpl.nasa.gov)



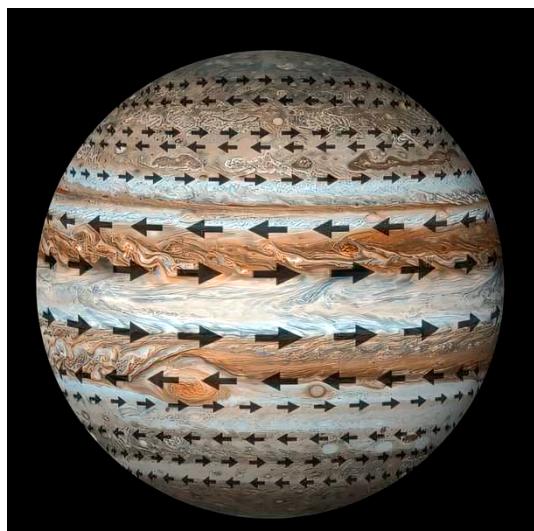
masa svih asteroida u ovom pojasu manja je od mase Meseca. Danas je poznato i registrovano oko pola miliona asteroida, raspoređeni su u širokom prostoru pojasa asteroida pa je međusobna udaljenost ovih objekata često velika, obično 1-3 miliona kilometara. Procenjuje se da većih asteroida (čiji je prečnik veći od jednog kilometra) ima između 1,1 i 1,9 miliona, a manjih od njih više miliona. Asteroidi imaju nepravilan oblik, a kod velike većine je površina prekrivena kraterima. Svi asteroidi se kreću po orbiti oko Sunca (vrše revoluciju) ali se isto tako i rotiraju oko svoje ose. Zbog različitih oblika i rasporeda masa, njihove rotacione brzine su različite, rotacija je kod nekih usklađena, a zbog oblika pojedinih asteroida, njihova rotacija podseća na teturanje. Poznato je da više od 150 asteroida ima satelite, a pojedini od njih imaju i po dva satelita. Pojedini asteroidi se kreću u dvojnim sistemima, a registrisani su i trojni sistemi. Po pravilu, asteroidi u sistemima imaju sličnu masu. Prema sastavu, svi asteroidi su klasifikovani u tri klase, klasa C, S i M. C klasu čine asteroidi koji su građeni od ugljenika, gline i silikata, tamne su boje sa niskim albedom. U S klasu spadaju svestri kameni, silikatni asteroidi, poseduju srednje vrednosti albeda. U M klasu spadaju aste-

roidi u čijem sastavu su gvožđe i nikl. Vesta je najveći asteroid u pojusu asteroida, a pored toga odlikuje je i specifičan sastav i način postanka. Prilikom formiranja, Vesta je bila pod uticajima visokih temperatura, došlo je do topljenja mase i izdvajanja slojeva po specifičnim težinama. Gvožđe i ostali metali su se spustili u centralni deo asteroida dok je na površinu isplivala bazaltna lava. Ovakav raspored masa unutar asteroida je poznat samo kod Veste. Na osnovu položaja asteroida u Sunčevom sistemu, mogu se podeliti na asteroide bliske Zemlji (Zemljini presretači), bliske Marsu (Marsovi presretači), asteroidi u prstenu asteroida, Trojanci, Kentauri, Trans-neptunski. Asteroidi čije putanje presecaju orbite Zemlje ili Marsa pripadaju grupi presretača. Trojanci su asteroidi koji se nalaze u orbitama planeta, takvih asteroida ima u orbitama Jupitera, Marsa, Neptuna, a od 2011. godine potvrđeno je i da Zemlja ima svog Trojanca. Između orbita Jupitera i Neptuna nalazi se grupa objekata sa nestabilnim putanjama koji se nazivaju Kentauri. Iza orbite Neptuna nalazi se Trans-neptunski pojas u kome se izdvajaju nekoliko zasebnih grupa asteroida. Prvi asteroid koji je registrovan je Ceres (sada patuljasta planeta), kasnije su otkriveni i Pallas, Juno, Vesta i mnogi drugi.

## GASOVITE PLANETE

### Jupiter

Jupiter je najveća planeta Sunčevog sistema. Masa Jupitera je dva puta veća od mase svih drugih objekata u Sunčevom sistemu izuzimajući Sunce. Prilikom formiranja Sunčevog sistema, od većine materijala koji nije ušao u sastav Sunca formirao se Jupiter, gasoviti džin. U atmosferi Jupitera vidljivi su oblaci amonijaka širokog spektra boja, koji rotiraju često u suprotnim smerovima. Vrtložna kretanja atmosfere su česta, a posledica su brže rotacije kao i nepostojanja čvrste površine planete. Jupiter je poznat i po svojoj velikoj crvenoj mrlji (pegii), to je vrtložno kretanje (oluja) koje naučnici posmatraju već poslednjih 300 godina. U sastavu atmosfere Jupitera su većinom vodonik i helijum. Atmosfera Jupitera je slojevita, u nižim



- **Prilog 16.** Jupiter, njegova slojevita atmosferska rotacija  
Izvor: [jpl.nasa.gov](http://jpl.nasa.gov)

**Tabela 8.** Osnovni podaci za Jupiter

|                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| Srednja udaljenost od Sunca | 778.340.821 km (5,20 AU)  |
| Perihel                     | 740.679.835 km (4,95 AU)  |
| Afel                        | 816.001.807 km (5,45 AU)  |
| Period revolucije           | 11,86 z. godina           |
| Nagib orbite                | 1,3°                      |
| Nagib planete prema orbiti  | 3,1°                      |
| Poluprečnik                 | 69.911 km                 |
| Obim                        | 439.263,8 km              |
| Specifična gustina          | 1,326 g/cm <sup>3</sup>   |
| Gravitaciono ubrzanje       | 24,79 m/s <sup>2</sup>    |
| Period rotacije             | 0,414 z. dana; 9,925 sati |
| Površinska temperatura      | -110 °C                   |

slojevima su visoka temperatura i pritisak, a u takvim uslovima vodonik prelazi u tečno stanje. Upravo zato Jupiter ima najveći okean u Sunčevom sistemu, okean sastavljen od tečnog vodonika. Još nije poznato kakav je sastav samog jezgra Jupitera.

Usled ogromne mase i brze rotacije, Jupiter ima izuzetno jako magnetno polje. Naučnici smatraju da u dubljim delovima, možda na pola puta do centra planete, pritisak postaje toliki da se elektroni istiskuju sa atoma vodonika, čineći tečnost električno provodljivom poput metala. Smatra se da Jupiterova brza rotacija pokreće električne struje u ovom delu Jupitera, stvarajući snažno magnetno polje planete. Još uvek nije jasno da li u svom centru Jupiter ima jezgro od čvrstog materijala ili je to gusta, super vruća masa. Njena temperatura bi trebala biti do 50.000 °C i napravljena uglavnom od gvožđa i silikatnih minerala (slično kvarcu). Godine 1979, otkriveni su prstenovi oko Jupitera. Sastavljeni su od sitnih, jedva primetnih, tamnih čestica. Pretpostavlja se da su nastali od materijala izbačenog pri sudaru asteroida sa satelitima Jupitera. Jupiter ima 95 do sada poznatih satelita.

Od 95 poznatih satelita, najveći su Io, Evropa (*Europa*), Ganimed (*Ganymede*), i Kalisto (*Callisto*). Njih je posmatrao još 1610. godine Galileo Galilej i zbog toga su i danas poznati kao Galilejevi sateliti. Osim ovih satelita oko Jupitera vrše revoluciju i Kale, Karpo (*Campo*), Kore, Metis, Temisto (*Themisto*), Teba (*Thebe*), Leda, Elara i drugi.

Io je vulkanski najaktivnije telo u Sunčevom sistemu. Po veličini Io je treći satelit u sistemu Jupiterovih satelita, a na petom je mestu po udaljenosti od Jupitera. Io je uvek okrenut istom stranom ka Jupiteru, a jake gravitacione sile Evrope i Ganimeda su učinile da Io ima izrazito eliptičnu orbitu oko Jupitera. Kad se Io približi Jupiteru, jake plimske struje utiču na površinu Ia i dolazi od plimskog izdizanja površine od čak sto metara. Ovo ritmičko-plimsko širenje i skupljanje Ia izaziva visoke temperature u gornjem delu stenskog omotača jezgra satelita pa je on većim delom u rastopljenom stanju. Rastopljena lava se širi i traži put ka površini, dolazi do čestih, skoro stalnih izlivanja,

erupcija, pucanja kore, stvaranja vulkanskih ploča i nove, mlade kore. Ispod kore, koja je debljine od 30 do 50 kilometara, nalazi se rastopljeni sloj lave koji obavija satelit. Pretpostavlja se da sloj rastopljene lave ima moćnost oko 50 kilometara. Ispod ovog sloja je omotač jezgra, sastavljen od stenskih masa u čijem sastavu ima dosta metala, većinom gvožđa i magnezijuma, nalazi se u čvrstom stanju, pod velikim pritiscima i temperaturom od preko  $1.200^{\circ}\text{C}$ . Jezgro Io se sastoji većinom od gvožđa, sa prečnikom od oko 600 do 900 kilometara.

Površina Evrope je svetla i glatka, a sastoji se većinom od vode u zaledenom stanju. U unutrašnjosti Evrope se nalazi gvožđevito jezgro koga obavija stenoviti omotač. Iznad ovog omotača se nalazi voden okean na čijoj površini je zaledeni sloj. Evropa završi revoluciju oko Jupitera na svaka tri i po dana, a jaka gravitacija Jupitera je učinila da je uvek ista strana Evrope okrenuta prema planeti. Blago elipsasta orbita utiče na pojavu plime i oseke na Evropi, prilikom prilaska Jupiteru, površina satelita se isteže ka masivnoj planeti, a udaljavanjem se skuplja. Ova kretanja ostavljaju tragove na zaledenoj kori Evrope, pa su vidljive brojne naprsline i pukotine. Moguće je da jake plimske sile izazivaju vulkansku ili hidrotermalnu aktivnost u gornjim slojevima stenskog omotača, tj. na dnu okeana.

Ganimed je najveći satelit u Sunčevom sistemu, veći je i od Merkura i od Plutona. Da ima svoju orbitu oko Sunca, bio bi klasifikovan kao planeta. Jezgro Ganimeda je formirano od metala, većinom gvožđa, obavija ga stenoviti omotač. Iznad njega, pa sve do površine planete je ledeni sloj u čijem sastavu ima i ko-

mada stena, čija se debljina procenjuje na oko 800 kilometara. Godine 1996. je potvrđeno postojanje izrazito tanke i razređene atmosfere u čijem sastavu je pretežno kiseonik. Unutar ledene omotače Ganimeda, 2004. godine su otkrivene velike formacije stenovitih masa. Oko 40% površine satelita je pokriveno tamnom zonom punom kratera. Pretpostavlja se da je stariji deo kore Ganimeda. Ostatak od 60% površine je svetlij deo, uravnjen, sa relativno malo kraterskih oblika. Smatra se da je on nastao širenjem leda ispod površine planete čime je uravnjena sama površina. Ovi oblici se smatraju za mlađe geomorfološke forme na Ganimedu.

Kalisto ima prečnik od 4.800 kilometara i treći je po veličini satelit Sunčevog sistema. On je najudaljeniji Galilejev satelit od Jupitera. Kalisto ima i najmanju specifičnu gustinu od Galilejevih satelita. Pretpostavlja se da mu je unutrašnji sastav sličan kao kod Ganimeda s tim da je stenoviti omotač nešto tanji, a spoljni zaledeni omotač nešto veće moćnosti nego kod Ganimeda. Površina Kalista je najtamnija od Galilejevih satelita. Kalisto je objekat u Sunčevom sistemu koji je najviše išaran kraterskim oblicima. Kalisto nema geološku aktivnost. Od njegovog nastanka, pre oko četiri milijarde godina, površina se nije menjala osim pod uticajem tela koja su udarala u Kalisto. Smatra se da je najstariji neizmenjen pejzaž u Sunčevom sistemu upravo površina Kalista.

Sve četiri velike gasovite planete imaju prstenove. Jupiterov sistem prstenova se sastoji od tri prstena. Najbliži planeti je Halo prsten i nalazi se u zoni između 100.000. i 122.800. kilometra od Jupitera. Drugi prsten je Glavni i

**Tabela 9.** Osnovni podaci za Io, Evropu, Ganimed i Kalisto

|                    | Io                      | Evropa                 | Ganimed                 | Kalisto                 |
|--------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Udalj. od Jupitera | 421.800 km              | 671.100 km             | 1.070.400 km            | 1.882.700 km            |
| Periapsis          | 420.071 km              | 664.792 km             | 1.069.008 km            | 1.868.768 km            |
| Apoapsis           | 423.529 km              | 677.408 km             | 1.071.792 km            | 1.896.632 km            |
| Period revolucije  | 1,769 dana              | 3,551 dana             | 7,155 dana              | 16,689 dana             |
| Poluprečnik        | 1.821,6 km              | 1.560,8 km             | 2.631,2 km              | 2.410,3 km              |
| Obim               | 11.445,5 km             | 9.806,8 km             | 16.532,3 km             | 15.144,4 km             |
| Specifična gustina | 3,528 g/cm <sup>3</sup> | 3,013                  | 1,942 g/cm <sup>3</sup> | 1,834 g/cm <sup>3</sup> |
| Gravitac. ubrzanje | 1,79 m/s <sup>2</sup>   | 1,315 m/s <sup>2</sup> | 1,428 m/s <sup>2</sup>  | 1,236 m/s <sup>2</sup>  |
| Period rotacije    | 42,456 sati             | 3,551 dana             | 7,155 dana              | 16,689 dana             |

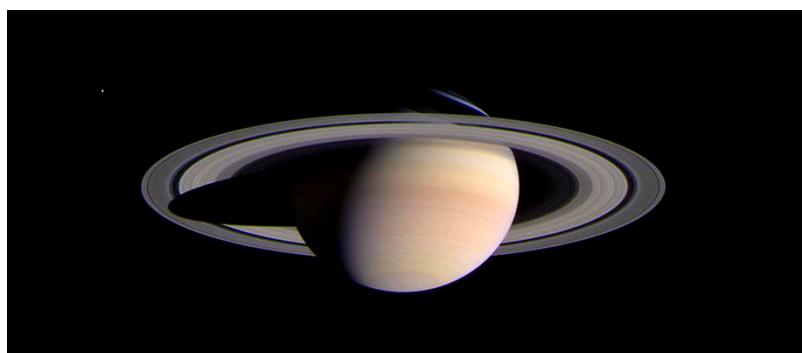
nalazi se u zoni između 122.800. i 129.200. kilometra od Jupitera. Treći prsten je najjudaljeđiji i najširi, naziva se Gossamer i prostire se u zoni od 129.200. i 214.200. kilometra od Jupitera. Pretpostavlja se da su prstenovi nastali od prašinastog materijala koji je nastao sudarom nebeskih tela sa satelitima koji se nalaze u orbitama oko Jupitera.

### Saturn

Saturn je šesta planeta od Sunca. Kao i Jupiter, Saturn je izgrađen većinom od vodonika i helijuma. Po zapremini je 755 puta veći od Zemlje. U gornjim slojevima atmosfere, na Saturnu duvaju izuzetno brzi vetrovi. Te moćne oluje dostižu brzine od 500 m/s što je pet puta veća brzina nego najbržih vetrova na Zemlji. Super-brzi vetrovi u kombinaciji sa toplijim slojevima koji se izdižu iz nižih delova atmosfere prouzrokuju stvaranje žutih i zlatnih serija oblaka oko planete.

Usled jakih pritisaka, unutrašnje jezgro planete je u čvrstom stanju, a čine ga stenske

● **Prilog 17.** Saturn, letelica Cassini, 9.2.2004. godine  
Izvor: [jpl.nasa.gov](http://jpl.nasa.gov)



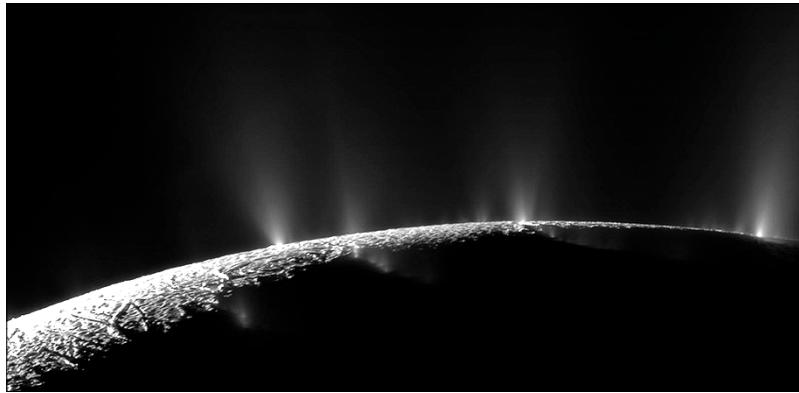
**Tabela 10.** Osnovni podaci za Saturn

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Srednja udaljenost od Sunca | 1.426.666.422 km (9,54 AU)  |
| Perihel                     | 1.349.823.615 km (9,02 AU)  |
| Afel                        | 1.503.509.229 km (10,05 AU) |
| Period revolucije           | 29.447 z. godina            |
| Nagib orbite                | 2,49°                       |
| Nagib planete prema orbiti  | 26,7°                       |
| Poluprečnik                 | 58.232 km                   |
| Obim                        | 365.882,4 km                |
| Specifična gustina          | 0,687 g/cm³                 |
| Gravitaciono ubrzanje       | 10,4 m/s²                   |
| Period rotacije             | 0,444 z. dana; 10,656 sati  |
| Površinska temperatura      | -178 °C                     |

mase, led, voda i drugi elementi. Pregrejano jezgro obavija mešavina vodonika u tečnom stanju i rastopljenih metala. A spoljni sloj planete sačinjava vodonik u tečnom stanju, slično kao i kod Jupitera ali znatno manje moćnosti. Saturnovo magnetno polje je slabije od Jupiterovog ali opet 578 puta jače nego magnetno polje Zemlje.

Do sada je u orbiti Saturna otkriveno 146 satelita. Najveći je Titan, sa prečnikom od 5.150 kilometara drugi je po veličini satelit Sunčevog sistema a samo je Ganimed veći od njega. Površina Titana se ne vidi zbog guste atmosfere sastavljene većinom od azota 95% sa tragovima metana. Smatra se da je ovakvu atmosferu imala i Zemlja pre razvoja života na njoj. Procenjuje se da je debljina atmosfere Titana oko 600 kilometara. Temperature na površini Titana su oko -180 °C, a veći deo površine mu pokriva zaleđena voda. Osim toga, na površini Titana se nalaze okeani tečnog metana, a bliže polovima i tečnog etana. Stalne padavine koje su sezonalnog tipa izdižu i spuštaju nivo okeana na Titanu, a prilikom izlivanja iz basena, često se formiraju tokovi tečnog metana koji useca mrežu korita u površinu satelita. Oko ekvatora se nalaze suvi delovi sa pustinjskim karakteristikama. Utvrđeno je i da se ispod zaleđene površine satelita nalazi okean vode u tečnom stanju. Encelada je mali satelit Saturna, prečnika svega 500 kilometara i udaljen je od Saturna 238.000 kilometara. Njegova ledena površina je na nekim mestima izuzetno glatka, a svuda svetlobela. Enceladus je najreflektivnije telo u Sunčevom sistemu. Godine 2005, Nasin svemirski brod Cassini otkrio je da čestice ledene vode i gas izbijaju sa površine. Erupcije su neprekidne, stvarajući ogroman oreol finih ledenih čestica oko Enceladusa, koji na ovaj način snabdeva materijalom Saturnov E-prsten. Međutim, samo mali deo materijala završava u prstenu, a većina pada kao sneg nazad na površinu satelita, pomažući da Encelada ostane stalno svetlobeo.

Mimas je satelit Saturna koji je prekriven kraterima. Prečnik mu je manji od 400 kilometara i spada u manje Saturnove satelite. Ono što ga izdvaja od ostalih je ogroman krater pod nazivom Heršel (*Herschel*) koji pokriva jednu trećinu hemisfere satelita. Heršel ima 130 kilometara u prečniku, ivični delovi su visoki oko pet



➊ **Prilog 18.** Encelada, letelica Cassini, 21.11.2009. godine  
Izvor: [jpl.nasa.gov](http://jpl.nasa.gov)

kilometara, a centralno uzvišenje oko šest kilometara. Udarac koji je napravio ovaj krater verovatno je bio malo slabiji od potrebnog da bi se ovaj satelit raspao na više delova. Mimas je izgrađen od vode u zaleđenom stanju a ostali elementi još nisu detektovani. Pored ovih satelita, Saturn okružuju i Diona (*Dione*), Feba (*Phoebe*), Prometej (*Prometheus*), Pandora, Hati, Loge, Kari, Greip, Skoli, Rea (*Rhea*), Janus i drugi.

Saturnovi prstenovi intrigiraju astronomе još od kada ih je Galileo Galilej otkrio svojim teleskopom. Svaki prsten je sastavljen od više milijardi delića čija veličina varira od veličine čestice prašine do veličine od nekoliko stotina metara. Po najnovijim saznanjima, prstenovi Saturna su mlađi i nastali od materijala nekadašnjeg satelita Saturna kome se iz nekog razloga poremetila orbita, približio se planeti i pod jakim gravitacionim uticajem, došlo je do njegovog raspadanja. Materijal je okružio planetu i od njega su se formirali prstenovi. Svaki prsten ima svoju brzinu kojom se kreću. Debljina prstenova je oko jedan kilome-

tar, a prostiru se u prostoru od 282.000 kilometara. Najблиži planeti je svetli D prsten, nalazi se na 66.970-74.490 kilometara od Saturna, a do njega je C prsten koji se prostire do 91.980 kilometara od planete. Unutar C prstena se nalazi i nekoliko praznina, Kolumbova na 77.800 kilometara, Maksvel (*Maxwell*) na 87.500 kilometara, Bond na 88.700 kilometara i Dave (*Dawes*) na 90.200 kilometara od planete. Sledеći je B prsten u zoni od 91.980 do 117.580 kilometara. Iza se prostiru Kasinijeva pregrada (*Cassini*), kao i praznine: Hajgensova (*Huygens*), Heršelova (*Herschel*), Raselova (*Russell*), Džefresova (*Jeffreys*), Kuiperova, Laplasova (*Leplace*), Beselova (*Bessel*) i Bernardova praznina. Sve one se prostiru u zoni od 117.500 do 120.318 kilometara od Saturna. Između 122.050 i 136.770 kilometara je prsten A. Tu su i Enkeova (*Encke*) i Kelerova (*Keeler*) praznina, kao i Rošeova (*Roche*) pregrada između 133.570 i 139.380 kilometara. Sledе prsten F na 140.224 kilometara, prsten G između 166.000 i 174.000 kilometara i široki prsten E koji se prostire između 180.000 i 480.000 kilometara od Saturna.

## Uran

Uran je sedma planeta Sunčevog sistema, udaljen je od Sunca oko 20 AU i potrebno mu je 84 zemaljske godine da završi jednu revoluciju. Uran rotira retrogradno, od istoka ka zapadu, a osa oko koje se rotira je pod uglom od  $98^\circ$  na orbitalnu ravan pa izgleda kao da se kotrlja po boku prilikom revolucije. Ovakav nagib je najverovatnije posledica udara nekog većeg nebeskog tela u Uran u ranoj fazi postojanja planete, čime se poremetila njegova osa rotacije. Pored Neptuna i Uran je planeta koja u izobilju ima leda. Atmosferu mu sačinjavaju većinom vodonik i helijum, a pored njih registrovani su i metan, a u tragovima i voda i amonijak. Prilikom prolaska Sunčevih zraka kroz slojeve atmosfere, od oblaka se odbija svetlost, metan apsorbuje crveni spektar pa Uran dobija plavo-zelenastu boju. Oko 80% mase Urana je u tečnom jezgru planete koja se sastoji od vode, metana i amonijaka. Zbog specifičnog ugla ose rotacije, Uranovi polovi su osvetljeni po 21 zemaljsku godinu (1/4 Uranove godine) tako da na Uranu imamo po dvaleta i dve zime za svaki od polova u periodu jedne Uranove revolucije.

**Tabela 11.** Osnovni podaci za Uran

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Srednja udaljenost od Sunca | 2.870.658.186 km (19,19 AU)              |
| Perihel                     | 2.734.998.229 km (18,28 AU)              |
| Afel                        | 3.006.318.143 km (20,10 AU)              |
| Period revolucije           | 84,02 z. godina                          |
| Nagib orbite                | $0,77^\circ$                             |
| Nagib planete prema orbiti  | $97,8^\circ$                             |
| Poluprečnik                 | 25.362 km                                |
| Obim                        | 159.354,1 km                             |
| Specifična gustina          | 1,270 g/cm <sup>3</sup>                  |
| Gravitaciono ubrzanje       | 8,87 m/s <sup>2</sup>                    |
| Period rotacije             | -0,71 z. dana; -17,24 sati (retrogradna) |
| Površinska temperatura      | -216 °C                                  |

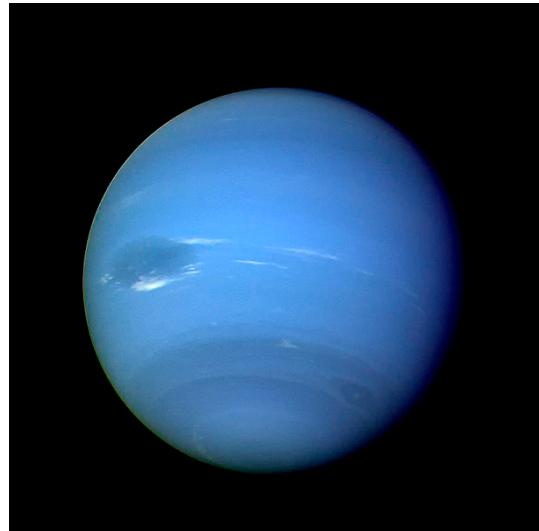
Uranova osa magnetnog polja je pod uglom od  $60^{\circ}$  u odnosu na osu rotacije. Ova neusklađenost izaziva stalne anomalije u Uranovom magnetnom polju, slično kao i kod Neptuna.

Ukupno 27 satelita kruži oko ove planete. Oberon i Titania su najveći sateliti Urana. Titania je najveći satelit Urana. Površina satelita otkriva da je nekada ovaj satelit bio geološki aktivovan. Brojne jaruge i naprsline u kori Tatannie govore o nekadašnjoj tektonskoj aktivnosti. Titania ima 1.600 km u prečniku, a reflektuje sivkastu boju koja je karakteristična za sve Uranove satelite. Oberon je drugi po veličini Uranov satelit. Površina mu je prekrivena kraterima, ima nekoliko planinskih uzvišenja sa po šest kilometara visine, a u građi mu dominiraju stene i led sa udelom pola-pola. Stene i led dominiraju u građi svih većih Uranovih satelita, kao i svih unutrašnjih satelita, svih satelita od orbite Oberona ka Uranu. Građa manjih, spoljnih satelita nije poznata ali se prepostavlja da oni predstavljaju asteroide uhvaćene u gravitaciju Urana. Pored ovih, Uranovi sateliti su i Miranda, Ariel, Kordelija (*Cordelia*), Kaliban (*Caliban*), Prospero, Ferdinand, Belinda, Julija (*Juliet*), Ofelija (*Ophelia*) i drugi. Većina satelita je dobila imena po Šekspirovim junacima.

Uran okružuju i prstenovi. Do sada je poznato 13 prstenova koji okružuju ovu planetu. Idući od planete prvi je Zeta, udaljen je oko 39.600 kilometara od Urana, sledeći je prsten 6, pa 5, 4, Alfa, Beta, Eta, Gamma, Delta, Lambda, Epsilon, Nu i Mu koji je udaljen 97.700 kilometara od Urana. Svi do sada poznati prstenovi se nalaze u zoni širine oko 57.000 kilometara.

**Tabela 12.** Osnovni podaci za Neptun

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Srednja udaljenost od Sunca | 4.498.396.441 km (30,07 AU) |
| Perihel                     | 4.459.753.056 km (29,81 AU) |
| Afel                        | 4.537.039.826 km (30,33 AU) |
| Period revolucije           | 164,79 z. godina            |
| Nagib orbite                | 1,77°                       |
| Nagib planete prema orbiti  | 28,3°                       |
| Poluprečnik                 | 24.622 km                   |
| Obim                        | 154.704,6 km                |
| Specifična gustina          | 1,638 g/cm <sup>3</sup>     |
| Gravitaciono ubrzanje       | 11,15 m/s <sup>2</sup>      |
| Period rotacije             | 0,671 z. dana; 16,11 sati   |
| Površinska temperatura      | -214 °C                     |



↑ **Prilog 19.** Neptun, letelica Voyager 2,  
16-17.8.1986. godine  
Izvor: [jpl.nasa.gov](http://jpl.nasa.gov)

## Neptun

Neptun, ledeni džin Sunčevog sistema, se nalazi na udaljenosti od skoro 4,5 milijardi kilometara od Sunca. Svoju revoluciju oko Sunca završi na svakih 165 zemaljskih godina. Rotaciju, Neptun završi na svakih 16 sati. Neptun ima izuzetno moćnu atmosferu. U nižim slojevima, gasovi pod pritiskom prelaze u tečno stanje. Prepostavlja se da u centralnom delu planeta ima čvrsto jezgro veličine Zemlje. Neptunova plava boja je posledica prisustva metana u atmosferi. Vetrovi na Neptunu su najbrži u Sunčevom sistemu, tri puta brži nego na Jupiteru i devet puta brži od najsnažnijih vetrova na Zemlji. Naučnici su 1989. godine pratili levkastu olju koja je formirala rotirajuću tamnu fleku na Neptunu, oluja se kretala brzinom od 1.200 km/h. Unutar atmosfere Neptuna postoje diferencirani slojevi u kojima se formiraju oblaci na različitim visinama. Osa magnetnog polja Neptuna je pod uglom od  $45^{\circ}$  u odnosu na osu rotacije.

Zbog ove neusaglašenosti, prilikom rotacije planete u magnetnom polju Neptuna se dešavaju brojne anomalije i poremećaji. Samo magnetno polje ove planete je 27 puta jače od magnetnog polja Zemlje.

Neptun ima 14 poznatih satelita. Najveći je Triton. To je jedini veliki satelit u Sunčevom sistemu koji ima retrogradnu revoluciju u odnosu na Neptunovu rotaciju. Triton ima prečnik od 2.700 kilometara, a površina mu je prekrivena

na kraterima, izlivima lave, vulkanskim platoima i uzvišenjima. Površina Tritona čini smrznuti sloj azota ispod koga sa nalazi sloj leda, a jezgro satelita čini jezgro sastavljeno od stena i metala. Razređenu atmosferu mu sačinjavaju azot i metan u tragovima. Najverovatnije je da atmosfera potiče od vulkanske aktivnosti na Tritonu koju pokreće Sunce u periodima prilaska centru Sunčevog sistema. Triton je jedno od najhladnjih tela, površinske temperature se spuštaju i do -235 °C. Zbog sastava (sličan Plutonu) i retrogradne revolucije, smatra se da je Triton telo poreklom iz Kuiperovog pojasa koje je prihvatile gravitacija Neptuna. Pored Tritona, oko Neptuna revoluciju vrše i Nereid, Naiad, Thalassa, Despina, Galatea, La-

rissa, Proteus i drugi. Osim Tritona, svi drugi sateliti Neptuna su manjih dimenzija, ne veći od 200 kilometara u prečniku. Sastavljeni su od stena i leda, često izrazito nepravilnih oblika. Neptun ima i prstenove. Do danas je registrovano devet prstenova koji okružuju Neptun. Prvi je Galie na 41.900 kilometara od planete, zatim Leverrier na 53.200 kilometara, Lassell na 55.400 kilometara, Arago na 57.600 kilometara, Adams na 57.600 kilometara, Liberte na 62.830 kilometara, Egalite, Fraternite i Courage, svi na oko 62.900 kilometara od planete. Sastavljeni su od prašine, a pretpostavlja se da se radi o materijalu koji se našao u orbiti Neptuna posle sudara nebeskih tela sa nekim od Neptunovih satelita.

## PATULJASTE PLANETE

Do 2006. godine, Pluton je smatran za devetu planetu Sunčevog sistema. Po otkrivanju sličnih planetarnih tela u Kuiperovom pojusu, razvila se naučna debata o opravdanosti klasifikovanja takvih tela kao planeta. Odlučeno je da Pluton bude svrstan u novu kategoriju nazvanu patuljaste planete. Međunarodna astro-

nomska unija (*International Astronomical Union*) je definisala pojam "patuljaste planete" kao telo slično planeti koje imaju dovoljnu masu da imaju približno loptast oblik, da vrše revoluciju oko Sunca, da nisu rasčistile svoje orbite od drugih tela ili materijala i da nisu sateliti. Po veličini, patuljaste planete su mnogo manje od planeta, manje su čak i od Meseca. Sve patuljaste planete nalaze se u Kuiperovom pojusu ili pojusu asteroida između Marsa i Jupitera. Patuljaste planete se konstantno otkrivaju.

**Tabela 13.** Karakteristike planeta i patuljastih planeta

| Karakteristika                               | Planeta | Patuljasta planeta |
|--|---------|--------------------|
| Vrši revoluciju oko Sunca                    | X       | X                  |
| Ima dovoljnu masu za približno loptast oblik | X       | X                  |
| Nije satelit                                 | X       | X                  |
| Raščistila je svoju orbitu                   | X       |                    |
| Nije raščistila svoju orbitu                 |         | X                  |

**Tabela 14.** Osnovni podaci za Ceres

|                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| Srednja udaljenost od Sunca | 413.690.250 km               |
| Perihel                     | 380.951.528 km (2,547 AU)    |
| Afel                        | 446.428.973 km (2,984 AU)    |
| Period revolucije           | 4,6 z. godina                |
| Poluprečnik                 | 476,2 km                     |
| Obim                        | 2.992,1 km                   |
| Specifična gustina          | 2,09 g/cm <sup>3</sup>       |
| Gravitaciono ubrzanje       | 0,28 m/s <sup>2</sup>        |
| Period rotacije             | 0,378 z. dana (9,07417 sati) |

### Ceres

Ceres je prvi objekat otkriven u pojusu asteroida. Italijanski astronom Giuseppe Piazzi je 1801. godine otkrio Ceres. Prvo je klasifikovan kao planeta, a naknadno kao asteroid. Od 2006. godine je u grupi patuljastih planeta. Ceres je blago spljošten po polovima, a prečnik na ekvatoru mu je 950 kilometara. Njegova masa je 25% mase čitavog pojasa asteroida. Po svom sastavu mnogo je sličniji Zemlji i Marsu nego ostalim asteroidima, ima jasno diferencirane pojaseve gde su u središtu teži elementi, a spoljne slojeve čine lakši elementi. U središtu Ceresa je stenovito unutrašnje jezgro, koje obavija omotač od leda preko koga se nalazi tanji spoljni omotač sastavljen od finih čestic prašine.

### Pluton

Pluton (*Pluto*) je otkrio Clyde Tombaugh 1930. godine. Orbita mu se nalazi iza orbite Neptuna u zoni koja se naziva Kuiperov pojas. Pretpostavlja se da ima kompaktno stensko jezgro koje okružuje omotač od leda. Površinski sloj je izgrađen od zaleđenog metana i azota. Period revolucije mu je 248 zemaljskih godina, a udaljen je od Sunca 49,3 AU. Pluton ima izrazito eliptičnu orbitu, kada se nalazi u periheлу, blizina Sunca povećava površinsku temperaturu, jedan deo zaleđenih gasova se otapa i formira tanak i izuzetno razređen sloj gasova oko Plutona, formira se atmosfera. Kada se

Pluton udalji od Sunca, gasovi se ponovo lede i patuljasta planeta ostaje bez atmosfere. Rotacija Plutona je retrogradna, rotira od istoka ka zapadu, a vreme rotacije mu je 6,4 zemaljska dana. Pluton ima satelite. Najveći je Kairon (*Chairon*), udaljen je od Plutona 19.640 kilometara i upola je manji od njega. Otkriven je 1978. godine. Na osnovu fotografija iz 1994. godine, dobijenih sa teleskopa Habl (*Hubble*), a na kojima se vidi crvenkasta površina Plutona i sivkasta površina Kairona, pretpostavlja se da Kairon ima drugačiji površinski sastav od Plutona. Kaironu treba 6,4 zemaljska dana da izvrši revoluciju oko Plutona, a sam Pluton ima isto vreme rotacije. Kao posledica ovakvog vremensko-prostornog rasporeda, uvek ista strana Plutona je okrenuta ka Kaironu i obrnuto. Posmatranjem Plutona 2005. godine otkrivena su još dva manja satelita, Niks (*Nix*) i Hidra (*Hydra*), a spisak Plutonovih satelita je ponovo dopunjena 2011. i 2012. godine kada su otkriveni Kerber (*Kerberos*) i Stiks (*Styx*).

**Tabela 15.** Osnovni podaci za Pluton

|                                  |                                       |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| Srednja udaljenost od Sunca      | 5.906.440.628 km                      |
| Perihel                          | 4.436.756.954 km (30,162 AU)          |
| Afel                             | 7.376.124.302 km (48,496 AU)          |
| Period revolucije                | 247,92 z. godina                      |
| Poluprečnik                      | 1.151 km                              |
| Obim                             | 7.231,9 km                            |
| Specifična gustina               | 2,050 g/cm <sup>3</sup>               |
| Gravitaciono ubrzanje            | 0,66 m/s <sup>2</sup>                 |
| Period rotacije                  | -6,387 z. dana (retrogradna rotacija) |
| Površinska temperatura (min/max) | -233/-223 °C                          |

**Tabela 16.** Osnovni podaci za Haumeu

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Srednja udaljenost od Sunca | 6.432.011.461 km            |
| Perihel                     | 5.157.623.774 km (34,48 AU) |
| Afel                        | 7.706.399.149 km (51,51 AU) |
| Period revolucije           | 281,93 z. godina            |
| Period rotacije             | 0,163 z. dana; 3,915 sati   |

**Tabela 17.** Osnovni podaci za Makemake

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Srednja udaljenost od Sunca | 6.783.345.606 km            |
| Perihel                     | 5.671.928.586 km (37,91 AU) |
| Afel                        | 7.894.762.625 km (52,77 AU) |
| Period revolucije           | 305,34 z. godina            |

**Tabela 18.** Osnovni podaci za Eris

|                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| Srednja udaljenost od Sunca | 10.180.122.852 km            |
| Perihel                     | 5.765.732.799 km (38,54 AU)  |
| Afel                        | 14.594.512.904 km (97,56 AU) |
| Period revolucije           | 561,37 z. godina             |
| Period rotacije             | 1,079 z. dana; 25,9 sati     |

### Haumea

Haumea je otkrivena 2003. godine, a veličinom je slična Plutonu. Ima neobičan oblik, spljoštena na ekvatoru i izdužena po polovima. Ovo je jedan od najbrže rotirajućih objekata u Sunčevom sistemu, izvrši rotaciju na svaka četiri sata. Pretpostavlja se da je izgrađena od stenovitog, kompaktnog jezgra, a da je omotač jezgra izgrađen od leda. Haumea ima i satelite. Otkriveni su 2005. godine, Hi'aka i Namaka.

### Makemake

Makemake je malo manja patuljasta planeta od Plutona, treba joj 310 zemaljskih godina da završi revoluciju oko Sunca. Na površini su joj detektovani tragovi zamrznutih gasova, metana, azota i etana. Otkrivena je 2005. godine.

### Eris

Eris je otkriven 2003. godine i nešto je malo veći od Plutona. Ima izrazito izduženu orbitu, a vreme revolucije mu je 561 zemaljskih godina. Tokom revolucije atmosfera koja se stvara prelaskom gasova iz čvrste u gasovitu fazu (sublimacija) u periodu prilaska Suncu se sa

udaljavanjem patuljaste planete od Sunca ledi i nestaje. Površina Erisa ima izražen albedo i reflektuje svetlost kao površina snega. Pretpostavlja se da se površinska temperatura kreće

između  $-217^{\circ}\text{C}$  i  $-243^{\circ}\text{C}$ . Takođe, pretpostavlja se da su mu sastav i površinska struktura slični kao kod Plutona. Eris ima jedan poznat satelit, Disnomiju (*Dysnomia*).

## METEORI I KOMETE

### Meteori

Meteori (ili kako ih u narodu nazivaju "zvezde padalice") predstavljaju međuplanetarni materijal koji pada na Zemlju i pri tom prolazi kroz Zemljinu atmosferu, usled trenja se zagreva, ionizuje i počinje da emituje svetlost. Većina meteora često nije veća od glave čiode ali zbog ulaska u atmosferu vrlo velikim brzinama (30 – 40 kilometara u sekundi) stvaraju jak i prijetan kratkotrajan bleštav trag, pre nego što u potpunosti ispare. U međuplanetarnom prostoru, oni se nazivaju meteoroidi, slobodno se kreću kroz svemir dok ne dođu pod uticaj gravitacione sile koja ih privuče. Procenjuje se da oko 44 tone materijala svakoga dana padne na površinu Zemlje. Nekada se tokom noći vidi po nekoliko meteora koji zasijaju nebom, a neretko se dešava i da taj broj bude znatno veći. Takve pojave se zovu meteorske kiše. Neke meteorske kiše se sezonalno ponavljaju kada Zemlja preseca meteorski potok, zone na svojoj orbiti bogate krvotinama stena, leda, prašine i drugog materijala. Obično su to putanje ko-

jima je prošla neka kometa i gde su ostaci materijala postali meteori. Često, meteorske kiše dobijaju naziv po sazvježđu koje je u blizini tačke na nebu iz koje se pojavljuju meteori - radijant. Možda najpoznatija meteorska kiša je Perseida, događa se svakog 12. avgusta, a svaki Perseida meteor je delić komete Swift-Tuttle koja se svakih 136 godina pojavi na nebu. Ostale meteorske kiše, koje su u vezi sa kometama, su Leonida (kometa Tempel-Tuttle), Orion (Halejeva kometa), Taurid (Enkeova kometa). Većinom su ovo manji meteori koji sagorevaju u Zemljinoj atmosferi. Veći komadi stena ili metala, poreklom sa asteroida ili drugih planeta Sunčevog sistema su po pravilu mnogo veći meteori. U slučaju da uspeju da probiju Zemljiniu atmosferu i da stignu do površine Zemlje, tada se nazivaju meteoriti. Mnogi meteoriti su veličine pesnice ali ima i onih veličine automobila ili čak većih kuća.

U svojoj istoriji, Zemlja je preživela brojne velike udare meteorita. Beringer (Berringer) krater u Arizoni, koji je širok oko jedan kilo-



Prilog 20. Radijant  
Izvor: cdn.mos.cms.  
futurecdn.net



Prilog 21. Beringer krater, meteorski krater u Arizoni, SAD

Izvor: nasa.gov

metar, nastao je pre oko 50.000 godina udarom meteorita prečnika 50 metara sastavljenog od gvožđa i nikla. Veliki meteorit najverovatnije asteroid, udario je Zemlju pre oko 65 miliona godina. Formirao je krater Čikskalab (*Chicxulub*), 300 kilometara širok, na poluostrvu Jukatan. Kao posledica udara, čak 75% života na Zemlji je nestalo.

Po sastavu, meteoriti se dele na kamene, gvozdene i kamenogvozdene. Kameni meteoriti se dele na dve grupe, hondrite i ahondrite. Najveći broj meteorita pripada grupi hondrita. Oni su nastali u periodu formiranja Sunčevog sistema i ostali su nepromenjeni do danas. Predstavljaju informacije o uslovima u kojima je formiran Sunčev sistem. Pojedini naučnici smatraju da su ovi meteori još stariji i da predstavljaju ostatke neke susedne zvezde koja je završila kao supernova. Ahondriti su imali hondritsku strukturu ali je ona promenjena zbog zagrevanja ili udara u drugo telo. Dosta su retki, a smatra se da pojedini vode poreklo sa Veste i Marsa. Pojedini meteoriti pored siličijuma, gvožđa i magnezijuma, sadrže i druge elemente, kiseonik, azot, vodonik pa i vodu. Gvozdeni meteoriti se sastoje većinom od gvožđa, oko 90%, mogu imati primese nikla, kobalta i drugih metala. Po nastanku, predstavljaju ostatke delova jezgara asteroida. Njihova podela je definisana na osnovu sadržaja nikla i delimo ih na tri grupe: heksahedriti, oktahedriti i ataksiti. Poznat je Alinski meteorit koji je 1947. godine pao na prostor Sibira u Rusiji. U treću grupu spadaju kamenogvozdeni meteoriti kod kojih su najčešći mezosideriti i palasiti.

Podela je izvršena na osnovu hemijskog sastava i procentualnog prisustva kiseonika, gvožđa, nikla, azota, ugljenika i drugih elemenata. U izuzetno retku grupu meteorita spadaju enstatiskihondrit meteriti. To su meteoriti koji su nastali pre oko 4,5 milijardi godina i nastali su u delu solarne magline koja skoro da nije imala kiseonik. Upravo zato je glavna odlika ovih meteorita veoma malo prisustvo ili potpuno odsustvo kiseonika u njihovom sastavu. Ovakav meteorit je Ebi, pronađen u Alberti, Kanada. Najveći do sada otkriveni meteorit se nalazi u Namibiji, a nazvan je Hobo po farmi na kojoj je pronađen. Nalazi se na dubini od jednog metra, ima oblik četvorougla sa stranicama 295x284 centimetara i težak je oko 60 tona. Veliki meteorit se nalazi i u Američkom prirodnjačkom muzeju u Njujorku. Težak je oko 34 tone, a 1897. godine je donet sa Grenlanda gde je pronađen.

## Komete

Komete su stare koliko i Sunčev sistem, starost im se procenjuje na oko 4,6 milijardi godina. One predstavljaju ostatke materije iz perioda formiranja Sunčevog planetarnog sistema. Sastoje se od leda, zaledenih gasova, komada stena i prašine. Često ih zbog sastava nazivaju "prljave grudve". Komete mogu biti izvor informacija o uslovima u kojima je nastajao Sunčev sistem. Pored toga, na kometama su registrovane i organske komponente kao i voda pa mnogi naučnici smatraju da su se preko komete organske komponente rasejavale svemirom i da su na taj način na Zemlju stigle prve organske materije koje će kasnije biti osnov razvoja života.

Komete se dele na komete kratkog perioda i komete dugog perioda. Kometama dugog perioda je potrebno više od 200 godina da načine pun krug oko Sunca, a veruje se da potiču iz Oortovog oblaka, sferne zone koja obavlja Sunčev sistem prečnika oko jedne svetlosne godine. Njihove putanje često daleko odstupaju od ravni orbita većine planeta Sunčevog sistema. Komete kratkog perioda (periodične) sa periodom manjim od 200 godina, dolaze iz Kuiperovog pojasa koji se nalazi iza orbite planete Neptun. Za razliku od dugoperiodičnih, njihove putanje su približno u ravni orbita plane-



➊ **Prilog 22.** Kometa

ISON

Izvor: nasa.gov

➋ **Prilog 23.** Kuiperov

pojas i Oortov oblak

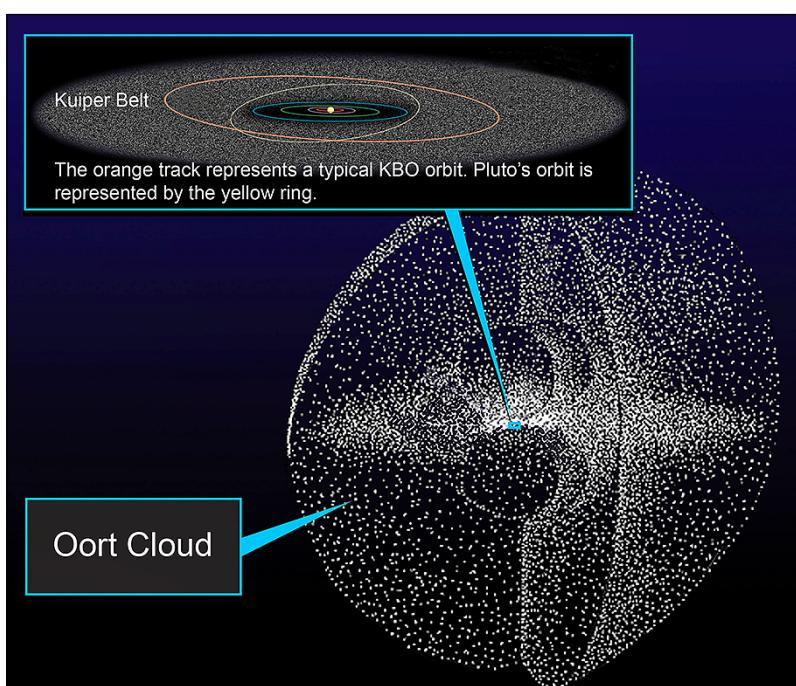
Izvor: nasa.gov

ta Sunčevog sistema. Komete (jezgra kometa) se kreću neaktivno po kružnim orbitama sve dok ih gravitacija nekog tela iz Oortovog oblača ili Kuiperovog pojasa ne poremeti i usmeri ka centru Sunčevog sistema. Tada počinju da se kreću novom, eliptičnom orbitom pod jakim gravitacionim uticajem Sunca. Približavajući se Suncu, kometa se zagreva i led na kometi počinje da sublimira, a veo od gasova počinje da okružuje jezgro i tada se stvara koma

komete. Iako jezgra kometa retko prelaze 60 kilometara u prečniku, koma komete nekada može da ima i više miliona kilometara u prečniku. Prilaskom komete Suncu, solarni vetrovi jačaju i po pravilu odnose gasove i prašinu iz kome i formiraju rep komete. Odnošenje kome i formiranje dugačkih repova se dešava na 1,5 AU od Sunca, oko orbite Marsa. Solarni vetrovi su ključni u stvaranju repa komete, a u sastavu repa su iste materije kao i u komi, joni gasova i prašina. Mnogi naučnici smatraju da se moraju prepoznavati kod kometa dva repa, rep od jona gasova i drugi od prašine. Kod nekih kometa se dešava da rep bude izuzetne dužine, nekada i duži od jedne AU. Nauci su poznate brojne komete, jedna od najpoznatijih i najduže posmatranih u istoriji je Halejeva kometa. Ima period od 76 godina, a poslednji put je viđena 1986. godine. Pored nje, poznata je i ISON kometa za koju se prepostavlja da je počela svoj put pre tri milijarde godina i da joj je ovo prvi ulazak u Sunčev sistem. Primećena je u septembru 2012. godine i od tada su je naučni krugovi redovno pratili. Raspala se pri prilasku Suncu u novembru 2013. godine. Kometa Tempel-Tuttle ima period od 33 godine. Poznata je po tome što izaziva meteorske kiše na Zemlji. Hale-Bopp kometa je izrazito velika, prečnik jezgra joj je oko 60 kilometara, a period joj je 2.534 godine. Kometa sa najkrćim periodom je Enckeova kometa, čiji period iznosi svega 3,3 godine, jezgro ove komete je malo, svega 4,8 kilometara u prečniku.

Holandski astronom Jan Ort je 1950. godine izneo shvatanje da se oko Sunčevog sistema nalazi sferna površina koja ga obavija i iz koje potiču komete, a u kome se nalaze i druga ledena tela. Po njemu, ta sferna oblast je nazvana **Oortov oblak**. Oortov oblak se nalazi između 5.000 i 100.000 AU od Sunca. U Oortovom oblacu se nalazi do dva triliona ledenih tela.

Zona oblika diska izvan orbite planete Neptun se naziva **Kuiperov pojас**. Kuiperov pojас se nalazi u zoni između 30 i 55 AU, a prepostavlja se da u Kuiperovom pojasu ima na stotine hiljada ledenih tela sa prečnikom većim od sto kilometara.



## LITERATURA

- Aitken, R. G., Binary Stars, Dover Publications, Inc., New York, 2009.
- Arny, T. T., Explorations, An Introduction to Astronomy, Mc Graw-Holl Book Co., New York, 2006.
- Calder, N. Komet dolazi, O. Keršovani, Opatija, 1985.
- Fix, J. D. Astronomy, Mc Graw-Holl Book Co., New York, 2004.
- Karttunen, H., Kroger, P., Oja, H., Poutanen, M., Donner, K. J. Fundamental Astronomy, Springer, 2003.
- Tadić, M. Astronomija – pogled na zvezdano nebo, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2004.
- Taylor, R. J. The Stars: their Structure and Evolution, Wykeham Publications Ltd., London, 1994.
- Vujnović, V. Astronomija – osnove astronomije i planetски sastav, Školska knjiga, Zagreb, 2005.
- Vujnović, V. Astronomija 2: metode astrofizike, Sunce, zvijezde i galaksije, Školska knjiga, Zagreb, 2010.
- <http://www.iau.org>
- <http://www.esa.int/ESA>
- <http://www.federalspace.ru>
- <http://www.roscosmos.ru>
- <http://www.nasa.gov>
- <http://www.solarsystem.nasa.gov>
- <http://www.jpl.nasa.gov>
- <http://www.science.nasa.gov>

# HIPOTEZE O POSTANKU SUNČEVOG SISTEMA

**O**d nastanka prvih civilizacija, a moguće i ranije, postoje brojna shvatanja o postanku sveta. Primitivna shvatanja sveta bila su dominantna sve do XVIII veka kada se objavljaju prvi teorijski spisi koji su zasnovani na naučnim osnovama. Do tada, dominantna religijska shvatanja bivaju zamjenjena prvim naučnim hipotezama o postanku planete Zemlje i Sunčevog sistema. Nova shvatanja (hipoteze) sada u svojoj osnovi imaju empirijski pristup i naučna dostićnuća astronomije, fizike, matematike, geografije, hemije i drugih, većinom prirodnih nauka.

Posle objavljuvanja dela Nikole Kopernika u astronomiji, filozofiji, fizici i brojnim drugim naukama dolazi do brzog razvoja novih naučnih stavova o Sunčevom sistemu. Tokom čitavog XVII veka mnogi filozofi i naučnici iznose brojne stavove i lična razmišljanja u pokušaju da naučno objasne formiranje Sunčevog sistema, Zemlje, planeta, Meseca i da predvide kako će se Sunčev sistem u budućnosti razvijati. René Dekart (*René Descartes*) je dao značajan doprinos u ovoj fazi formiranja naučnih

stavova koji će kasnije voditi ka formiraju prvih naučnih hipoteza u sledećem veku. On je u svom delu "Svet" koje je objavio 1633. godine izneo mišljenje da je svemir nastao u turbulentnom vrtložnom kretanju čestica i da su Sunce i planete zajedno nastali u velikom vrtlogu zbog koga se planete i kreću po kružnim putanjama. Ovaj stav je izneo i opisao pre saznanja o Njutnovoj univerzalnoj teoriji gravitacije koja nije u skladu sa iznetim mišljenjem.

## MAGLINSKE HIPOTEZE

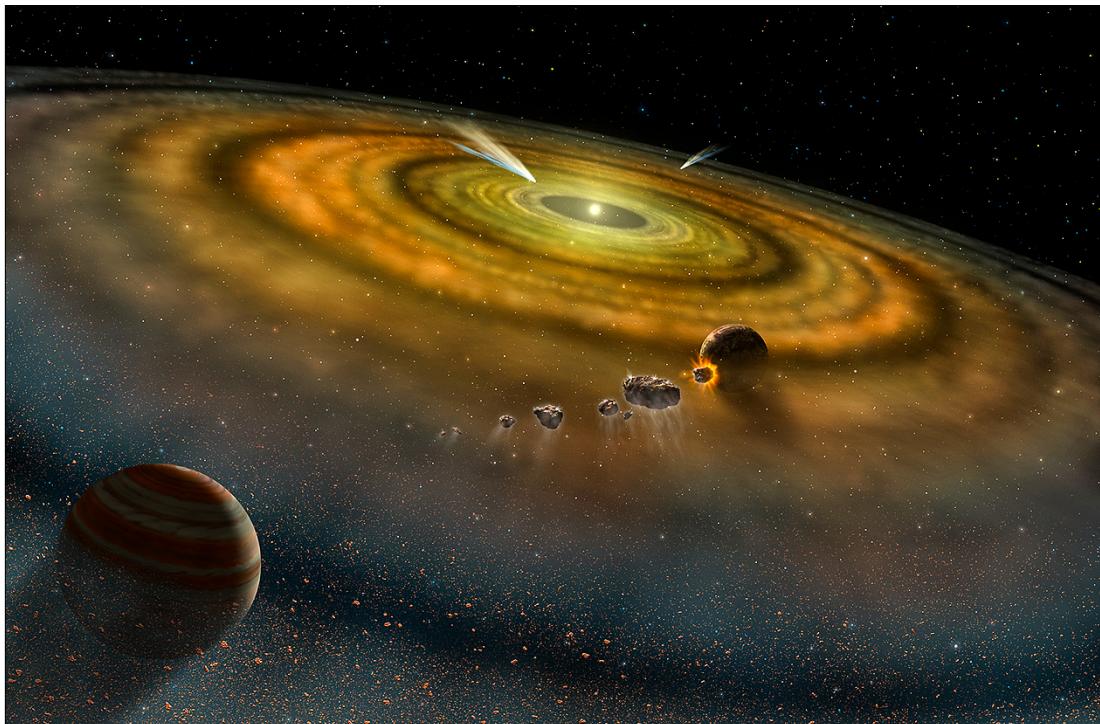
Maglinske (nebularne) hipoteze su verovatno najznačajnija grupa hipoteza o nastanku Sunčevog sistema. Prvi put, ovakvu hipotezu je predstavio švedski naučnik Emanuel Swedenborg (*Emanuel Swedenborg*). U Lajpcigu je 1734. godine objavio delo "Opera Philosophica et Mineralia" iz tri dela - knjige, od kojih je prva knjiga "Principia Rerum Naturalium" sadržala opise i filozofske stavove o prirodi. U njemu je izneo argumente i zaključke koji čine teoriju osnovu u mnogim prirodnim naukama. Na polju astronomije, izneo je stav da su Sunce i planete nastali od oblaka materijala koji se vrtložno kretao, što čini osnovu svih maglinskih hipoteza (See, 1909).

Engleski astronom, Tomas Vrajt (*Thomas Wright*) je 1750. godine objavio delo "An original theory or new hypothesis of the Universe" u kome je objasnio šta je Mlečni put i kako ga vidimo kao i stav o drugim delovima (ostrvima) svemira koje vidimo kao mrlje na nebeskom svodu, a za koje je prepostavio da su

drugi delovi svemira. Ovo naučno delo je uticalo na Emanuela Kanta (*Immanuel Kant*) koji je bio upoznat i sa delom Svedenborga. Kant je 1755. godine u delu "Universal natural history and theory of the heavens" opisao kako se veliki oblak gasa i čestica sporo rotirao, polako urušavao i bivao sve manje moćnosti usled gravitacione sile i da su se na taj način formirali Sunce i planete. Na žalost, Kant nije izneo više detalja o opisanom procesu. Razmišljanja Vrajta o "ostrvima svemira" inspirisala su Vilijama Heršela da posmatra i istražuje iste pojave. Rezultate je objavio 1786. godine u delu "Catalogue of nebula and clusters of stars" gde je katalogizovao i opisao pojave maglina na nebeskom svodu delecji stav Vrajta da se radi o udaljenim, drugim delovima svemira.

Sva ova nova saznanja uticala su na formiranje nove, savremenije i detaljnije maglinske hipoteze koju je predstavio Pjer Simon Laplas (*Pierre-Simon Laplace*) u knjizi "Exposition du système du monde" koja je objavljena 1796. go-

➊ **Prilog 24.**  
Formiranje  
Sunčevog sistema  
Izvor: nasa.com



dine. Njegova teorija se bazira na opažanju da se sve tada poznate planete kreću oko Sunca u istom pravcu i istoj ravni. U početku, postojao je ogroman oblak gasa i prašine ili magline koja je bila u usijanom stanju. Čitav oblak se ravnomerno rotirao oko centra. Granice magline bile su znatno udaljenije od danas najudaljenije planete Sunčevog sistema. U početku, na spoljnim delovima magline postojalo je uravnoteženo delovanje centrifugalne i centripetalne sile. Pored stalnog kretanja dolazi do odavanja topote (hlađenja) i jakih gravitacionih uticaja koji čitavu nebulu skupljaju i ubrzavaju. Kao posledica ubrzanja, na spoljnim delovima oblaka naglo jača centrifugalna sila koja nadvladava silu gravitacije i kao posledica toga dolazi do odvajanja dela oblaka u formi prstena. Oblak posle gubitka jednog dela mase se stabilizuje, njegovim ivičnim delovima se ponovo uspostavlja ravnoteža centrifugalne i gravitacione sile. U odvojenom prstenu materije je neravnomerno raspoređena. Neki delovi imaju više materije i samim tim svojom većom gravitacionom silom privlače ostatak oblaka. Na taj način, materija počinje da se kondenzuje i formira se najudaljenija planeta Sunčevog sistema.

Tokom i posle formiranja planete, nebula se konstantno kreće, skuplja se zbog konstantnog gubitka topote i prilikom toga ubrzava, a ubr-

zanje uzrokuje ponovno jačanje centrifugalnih sila na ivičnim delovima oblaka gde se ponovo odvaja novi prsten materije. Od materijala novoodvojenog prstena, tokom istog kondenzacionog procesa, formiraće se sledeća planeta Sunčevog sistema. Ovaj proces se ponavlja onoliko puta koliko ima planeta u Sunčevom sistemu.

Kod planeta postoje razlike, pre svega njihove mase. Laplas objašnjava da je primarna masa prstena, koja je bila različita po ciklusu odvajanja od matičnog oblaka, definisala i masu formirane planete. Pojas asteroida između Marsa i Jupitera, po Laplasu, je formiran kao posledica nezavršene kondenzacije materije unutar odvojenog prstena. Sličnosti, kao što su pravac revolucije, rotacije i ista ravan planeta po Laplasu, potiču od osobina primarne magline od koje su formirani. Na kraju, kada se formirala i poslednja planeta, najbliža centru magline (Merkur), od ostatka gase u obliku, u centralnom delu magline formirala se zvezda (Sunce) kao centar budućeg planetarnog sistema.

I pored toga sto je ova hipoteza bila veoma napredna, posebno za vreme u kom je nastala, u kasnijem periodu su se pojavile i brojne zamerke. Prva se odnosi na rotaciju planeta. Iako se u vreme Laplasa nije znalo za Pluton i Neptun, oni rotiraju od istoka ka zapadu, za

razliku od ostalih planeta koje rotiraju od zapada ka istoku. Ovo je u suprotnosti sa Laplasovim stavom da sve planete rotiraju u istom pravcu i da je to kretanje predisponirano kretanjem primarnog oblaka.

Takođe, Laplas je prepostavio da se primarni oblak okretao, ali nije objasnio zašto se okretao kao ni odakle je i kako je nastao jedan takav oblak. Dalje, svi poznati zakoni fizike predviđaju da bi se oblak, usled kretanja, trebao širiti, a ne skupljati. Ovo je dokazao i britanski fizičar Džeјms Maksvel (*James Clerk Maxwell*), koji je na osnovu sprovedenih eksperimentiranih tvrdio da bi kondenzacija materije (ukupne materije svih planeta) bila nemoguća u uslovima kada odvojena materija preuzima i deo energije rotacionog kretanja Sunca, već bi materija u tim uslovima formirala samo prstenove, kao one koji se nalaze oko Saturna, ili kao prsten asteroida između Marsa i Jupitera.

Još jedna zamerka se odnosi na kretanja unutar sistema (Cameron, 1975). Studije momenta impulsa Sunca i planeta pokazuju da se 98% njegove energije troši na kretanje planeta. Prema Laplasovoj teoriji, većina momenta impulsa bi i dalje trebalo da bude na Suncu, a to bi trebala biti posledica smanjenja zapremine i skupljanja oblaka gasa prema svom centru - Suncu. Centar (Sunce) bi trebalo da se brzo rotira sa stalnim povećanjem brzine kako gubi u zapremini i kao posledica gubi masu koja odlazi dalje od centra i od koje nastaju prstenovi. Ali, prstenovi koji su se odvojili su samo mali deo mase oblaka i sa sobom su odneli skoro zanemarljivi deo energije. Samim tim, Laplasova teorija predviđa da bi Sunce trebalo da izvrši rotaciju na svakih par sati, ali Sunce jednu rotaciju izvrši za oko 25 zemaljskih dana.

Položaj planeta je takođe problematičan. Po Laplasu, planete bi trebalo da su sve u ravni Sunčevog ekvatora, suprotno, ravni ekliptika pojedinih planeta su pod uglom u odnosu na Sunčev ekvator.

Maglinske hipoteze su nastajale i tokom XX veka. Hirard Kajper (*Gerard P. Kuiper*) je 1950. predstavio, a 1951. godine objavio svoju teoriju koja je bila bazirana na teorijskim idejama o kretanjima unutar hladnog oblaka sastavljenog od vodonika i helijuma koji je u celini imao rotaciono kretanje. Sopstvena gravitacija je dr-

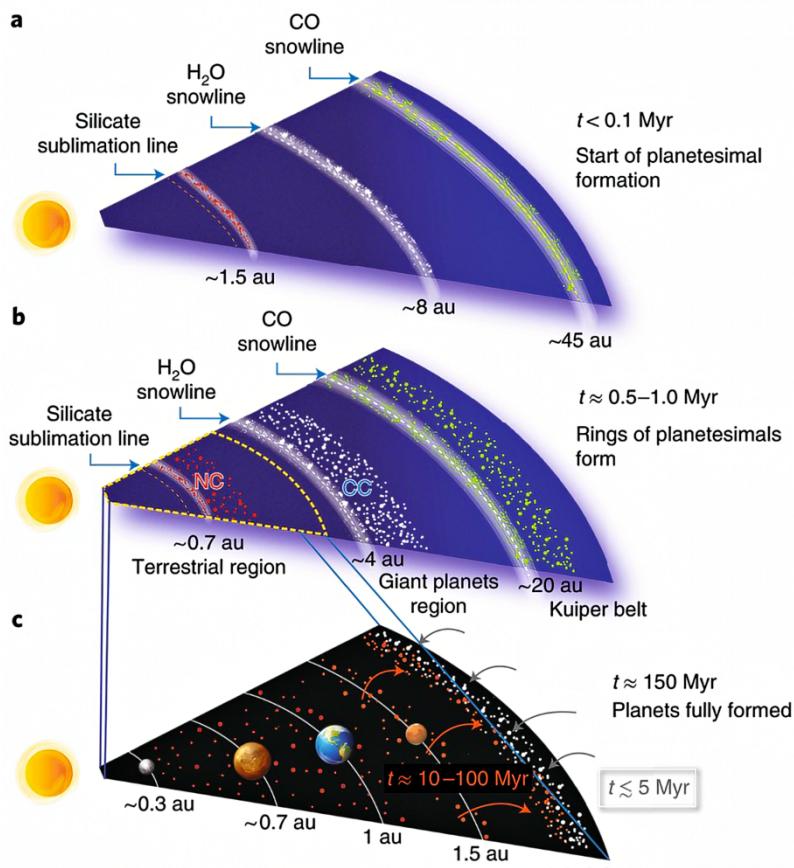
žala oblak. Sunce se polako formiralo dok je gravitacija centra oblaka povlačila gasove iz njegovog okruženja, pretvarajući oblak u disk sa turbulentnim vrtlozima velikih razmara na različitim udaljenostima. Kako je Sunce u nastajanju raslo u centru diska, njegova temperatura i gustina gasa su porasle do tačke u kojoj su počele nuklearne reakcije u njegovoj unutrašnjosti. U međuvremenu, glavne planete su se formirale od preostale prašine i gasa u turbulentnim vrtlozima (Kuiper, 1951). Kajperov doprinos u ovoj hipotezi se odnosio na detalje u vrtlozima koji su bili stabilni i nisu ometali nastanak nove zvezde, Sunca.

Danas, opšteprihvaćena hipoteza je Sunčev maglinski disk model (SNDM model) u kome se nalaze neke prepostavke iz prethodnih maglinskih teorija ali su i brojne prepostavke izmenjene ili izbačene (Woolfson, 1993). Prema ovoj teoriji, zvezde se formiraju u masivnim i gustim oblacima molekularnog vodonika - gigantski molekularni obaci. Ovi obaci su gravitaciono nestabilni i materija se u njima spaja u manje, gušće grupe, koje se zatim rotiraju, spajaju i formiraju zvezde. Formiranje zvezda je složen i dug proces. Tokom rađanja zvezde, stvara se gasoviti protoplanetarni disk oko nje. Ovo može dovesti do stvaranja planeta u određenim okolnostima. Stoga se smatra da je formiranje planetarnih sistema prirodni rezultat formiranja zvezda. Zvezdi, nalik Suncu, obično je potrebno oko milion godina da se formira, a protoplanetarni disk evoluira u planetarni sistem u narednih 10-100 miliona godina (Montmerle et al., 2006).

Protoplanetarni disk je akrecioni disk koji hrani centralnu zvezdu. U početku, disk ima veoma visoku temperaturu, kasnije se disk hlađi i u ovom trenutku ovde je moguće formiranje malih zrna prašine od stena i leda. Zrna se na kraju mogu spajati u planetezimale veličine kilometra. Ako je disk dovoljno masivan, počinje brzo pomeranje planetozimala i njihovog rasta ka veličini protoplanete, što dalje dovodi do brzog (100.000 do 300.000 godina) formiranja protoplaneta veličine od Meseca do Marsa. U blizini zvezde, protoplanete prolaze kroz fazu nasilnog spajanja, stvarajući stenovite planete.

Ova poslednja faza traje otprilike sto miliona do milijardu godina (Montmerle et al.,

### Evolution of the early solar system



*Evolution of planetesimals. Source: Nature*

#### Prilog 25.

Formiranje Sunčevog sistema i planetozimale

2006). Formiranje džinovskih, gasovitih planeta je komplikovaniji proces. Smatra se da se javlja iza ledene granice, gde su protoplanete uglavnom napravljene od različitih vrsta leda. Kao rezultat toga, one su nekoliko puta masivnije nego u unutrašnjem delu protoplanetarnog diska. Neke protoplanete nastavljaju da rastu i na kraju dostignu pet do deset Zemljinih masa, graničnu vrednost, koja je neophodna da bi se počela akrecija gasa vodonik-helijuma sa protoplanetarnog diska (D'Angelo, Bodenheimer, 2013).

Akrecija gasa od strane protoplanete je u početku spor proces, koji se nastavlja nekoliko miliona godina, ali nakon što protoplaneta, koja se formira, dostigne oko trideset Zemljinih masa, ubrzava se i odvija se u "bekstvu" to jest, udaljavanjem od zvezde. Smatra se da planete slične Jupiteru i Saturnu akumuliraju većinu svoje mase tokom samo 10.000 godina. Akrecija prestaje kada se gas iscrpi. Formirane planete mogu migrirati na velike udaljenosti tokom ili nakon formiranja.

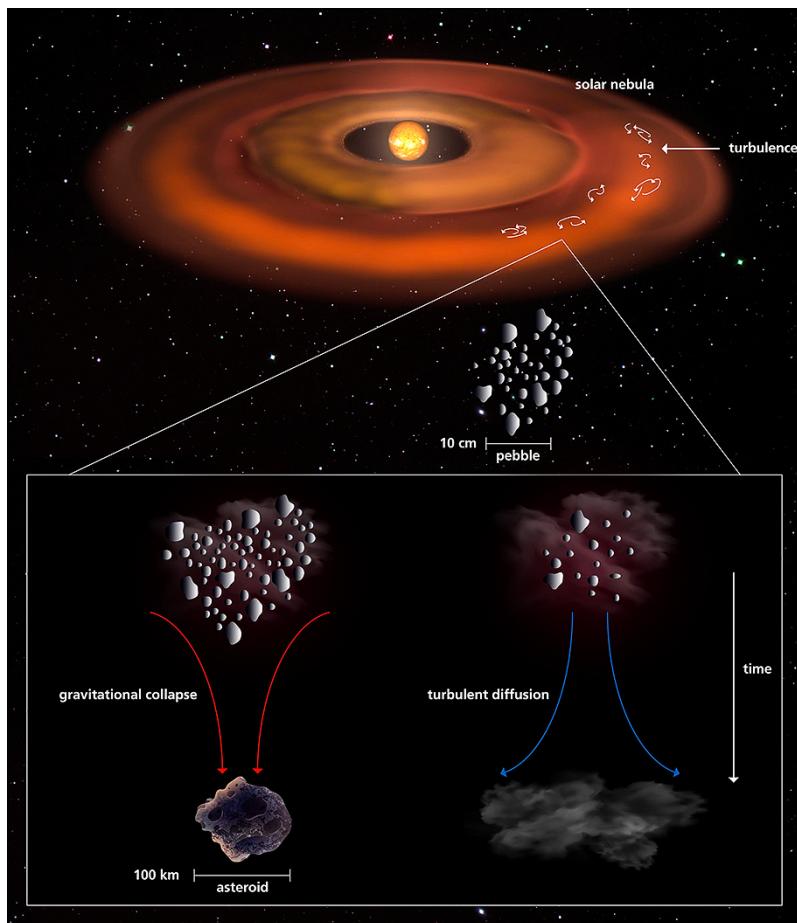
Smatra se da su protoplanete ledenih giganta Urana i Neptuna nastale prekasno, kada je protoplanetarni disk skoro nestao (Montmerle et al., 2006). Za stvaranje ove, sada široko prihvaćene hipoteze, zaslужan je sovjetski astronom Viktor Safronov koji je osnove ove hipoteze objavio u knjizi "Evolucija protoplanetarnog oblaka i stvaranje Zemlje i planeta" 1969. godine (Сафонов, 1969).

Ideje i stavovi iz ove knjige uticali su na brojne naučnike širom sveta, mnogi su nastavili da rade na idejama Safronova. Džordž Vetheril (George Wetherill) je nastavio rad Safronova i definisao, a kasnije i objasnio, proces akrecije koji je ključan kako za formiranje zvezda tako i za nastajanje protoplaneta. U početku, Sunčev maglinski disk model je nastao kao hipoteza o formiranju Sunčevog sistema, a danas se smatra univerzalnim procesom koji je prisutan u svim delovima univerzuma.

Početkom XXI veka, procesi unutar modela kao i sam SNDM model su u više navrata dopunjavani i menjani kako bi se dodatno objasnili uslovi unutar akrecionog diska. Tako su nastali Nice model, koji pojašnjava položaj velikih gasovitih planeta, i Grand Tack modeli koji dodaju objašnjenja o sadašnjem položaju i veličini stenovitih planeta i pojasa asteroida unutar Sunčevog sistema.

Savremena i opšteprihvaćena hipoteza ipak ima i svojih manjkavosti koje su predmet daljih istraživanja. Fizika akrecionih diskova nailazi na neke probleme, a najveći je kako materijal, koji nagomilava protozvezda, gubi svoj moment impulsa. Dalje, formiranje planetozimala je možda najveći problem u ovoj hipotezi. Ostaje nejasno kako i zašto se čestice od jednog centimetra spajaju unutar akrecionog diska i formiraju planetozimale veličine jednog kilometra!?

Pojedini naučnici su dali predloge o mehanizmima spajanja čestica i formiranja planetozimala. Po njima, unutar oblaka je ključan proces gravitacionog kolapsa koji dovodi čestice do kondenzacije i formiranja planetozimala. Pored gravitacionog uticaja gravitacije, u obliku su prisutne i jake turbulentne sile koje svojim delovanjem remete formiranje planetozimala. U slučaju da formirana protoplaneta dostigne veličinu od oko sto kilometara, tada ona ima dovoljnu masu koja svojom silom gra-



vitacije može da je sačuva od turbulentnih sila. Manji objekti nisu u stanju da se održe i osuđeni su na raspadanje izazvano turbulentnim silama (Klahr, Schreiber, 2020).

Mnogi naučnici smatraju da je objašnjenje ovog mehanizma ključ za odgovor na pitanje zašto neke zvezde imaju planetarne sisteme, a neke nemaju ni oblak ili prsten materije koji ih okružuje. U budućnosti bi trebalo pojasniti i vreme i način nastanka velikih gasovitih planeta, kao i brzinu njihovog formiranja s obzirom na količinu prikupljenog gasa na njima, a nejasno je i njihovo pretpostavljeno kretanje i pomeranje orbita prilikom formiranja Sunčevog sistema.

#### Prilog 26. Formiranje planetozimala

Izvor: Max Planck Institute

## ALTERNATIVNE HIPOTEZE

Alternativne hipoteze se u osnovama umnogome razlikuju od maglinskih hipoteza. Brojne hipoteze iz ove grupe nastaju u prvoj polovini XX veka kao odgovor na problem momenta impulsa Sunca, koji je u tom periodu primećen kod maglinskih hipoteza. Naravno, prve hipoteze koje su za osnovu imale neki katastrofalan događaj pojavile su se znatno ranije.

Jednu od značajnijih ranih hipoteza iz ove grupe dao je Žorž Bufon (*Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon*). Bufon je na polju prirodnih nauka pružio veliki doprinos u shvatanju i tumačenju sveta i prirode. Koristeći nova saznanja na polju fizike, koja su bila doprinos Isaku Njutnu, prepostavio je kako su materija i energija mogli da formiraju Zemlju. On je 1745. godine predložio da je kometa koja se približila Suncu udarila u njega i izbacila njegove ostatke koji su postali materijal za formiranje planete Sunčevog sistema. U početku je Zemlja bila vrela, rastopljena, ali se postepeno hladila sve

dok se rastopljena stenska masa nije pretvorila u čvrstu koru. Oblaci vodene pare koji su obavijali Zemlju u nastajanju su se takođe hladili, vlaga se kondenzovala i počele su duge kiše koje su formirale okeane. Bufon je procenio da je ceo proces trajao više od 70.000 godina.

Za većinu Evropljana Bufonovog vremena, koji su smatrali da je Zemlja stara manje od 7.000 godina, ovo je bio neverovatno dug period. Posle njega, slične hipoteze su izneli i Bickerton (Bickerton) 1880, Arhenius 1903. i drugi (Đere, Bugarski 1984).

Kasnije hipoteze, koje u svojoj osnovi nisu imale početnu maglinu, imale su za cilj rešavanje problema momenta impulsa. Jedna od prvih hipoteza iz ove grupe je predstavljena 1905. godine Čemberlen-Multon (*Thomas Chrowder Chamberlin - Forest Ray Moulton*) planetezimalna hipoteza je predstavljala opciju tada problematičnim nebularnim hipotezama. U svojoj osnovi, hipoteza je prepostavila da je nepoznata

zvezda prišla Suncu u njegovoј ranoј fazi i da je njen gravitacioni uticaj izazvao plimska ispupčenja na Suncu koja će kasnije biti mesta na kojima će materija Sunca biti izbačena. Izbačena materija bi bila koncentrisana u dva spiralna kraka oko Sunca. Ovaj materijal se kondenzovao i formirao mala čvrsta tela - planetezimale i nešto veća tela - protoplanete. Ova tela su se sudarala i formirala planete, a od ostataka su nastale komete i asteroidi.

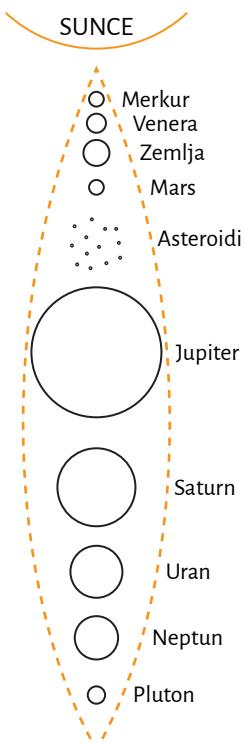
Ova teorija je od svog predstavljanja imala brojne kritičare, a među njima najglasniji je bio Džeјms Džins (James Jeans) koji je smatrao da ako bi neka zvezda prošla pored Sunca, međugravitacioni uticaj bi bio toliko jak da bi obavezno došlo do izvlačenja materije, a ne stvaranja plimskih izbočina na Suncu. I pored toga što je ova hipoteza posle par decenija skoro zaboravljena, njen značaj je u tome što se pojedini, u njoj definisani termini kao što su "planetezimale" i "protoplanete" prvi put spominju u njoj, a koriste se i danas. Džeјms Džins je 1917. godine izneo svoje shvatanje o mogućem nastanku Sunčevog sistema. Njegova hipoteza, poznata pod nazivom Plimska teorija, zasniva se na susretu dve zvezde (Mark, 1993). Džins je pretpostavio da je pored Sunca prošla zvezda golemih dimenzija i značajne brzine. Usled brzine, sudsar je izbegnut ali je prolaz zvezde, uz jak međusobni gravitacioni uticaj, izazvao posledice koje su se ogledale u izvlačenju materije sa obe zvezde. Dugački pramen materije bi trebalo da bude najgušći u svom srednjem delu kada su zvezde bile najbliže jedna drugoj. Kako su se zvezde udaljavale jedna od druge, slabio je međugravitacioni uticaj i pramen materije se stanjivao ka krajevima.

Od pramena materije formiraju se planete, u središnjem delu gde je najveća gustina materije, nastaju najveće planete u Sunčevom sistemu, a idući ka krajevima pramena, sve manje planete. Tada nastaju i manja tela u Sunčevom sistemu kao što su komete, asteroidi i druga, a one su ostatak materije koja nije iskorišćena pri formiranju planeta (Mark, 1993). Rejmond Litlton (Raymond Lyttleton) je prvo 1937. godine objavio svoju hipotezu koju je kasnije dopunio 1940. godine. On je pretpostavio da je Sunce bilo u dvojnom sistemu zvezda, tom sistemu se

u nekom trenutku približila treća zvezda golema razmera koja je svojom gravitacijom preuzezla zvezdu pratioca Sunca.

Od preuzete zvezde ostao je delić materije koji je i dalje bio pod gravitacionim uticajem Sunca i od njega su formirane planete. Sugerisao je da su sve planete male za samostalno kondenzovanje i formiranje, a posebno stenovite planete. Pretpostavio je da se u početku formirala jedna velika protoplaneta koja se zbog gravitacione nestabilnosti raspala na dva dela od koga su kasnije formirani Jupiter i Saturn, a od ostataka materije, koja nije ušla u sastav ove dve velike planete, formirane su sve ostale planete Sunčevog sistema.

U kasnijem modelu iz 1940/41. izmenjeno je početno stanje. Ta izmena je uključivala trostruki sistem zvezda, koji je činio dvostruki sistem i Sunce. Usled gravitacione nestabilnosti dvostruki sistem se odvojio od Sunca, a iza sebe je ostavio trag materije (Williams, Cremin, 1968). Sovjetski astronom Otto Šmit (Otto Schmidt) je krenuo od stava da je Sunce kao zvezda već postojalo i da su planete nastale kasnije. On je pretpostavio da je Sunce prošlo kroz gust međuzvezdani oblak i izašlo obavijeno oblakom prašine i gasa, od kojih su se planete na kraju formirale (Brush, 2006). Ovo je rešilo problem ugaonog momenata uz pretpostavku da je spora rotacija Sunca svojstvena njemu i da se planete nisu formirale u isto vreme kada i Sunce (Mark, 1993). Hans Alfen (Hannes Alfvén) je 1954. predstavio svoju hipotezu koja je uključivala elektromagnetsko delovanje u jednačinu kretanja čestica i time je delimično rešio problem momenata impulsa i razlike u sastavu planeta. On je predložio oblak koji bi imao strukturu različitih pojaseva. A pojas bi bio od helijuma sa nešto nečistoća koje čine čvrste čestice, od njega su nastali Mars i Mesec, B pojas uglavnom od ugljenika, od njega su nastale spoljne planete, C pojas činio bi vodonik, on se kondenzovao i formirao Merkur, Veneru, Zemlju, pojas asteroida, Jupiterove mesece, prstenove Saturna i D pojas od silicijuma i gvožđa od koga su nastali Pluton, spoljni sateliti Saturna, Uranovi sateliti, Kuiperov pojas i Oortov oblak (Alfvén, 1978).



Prilog 27. Pramen materije po Džeјmsu Džinsu  
(Đere, Bugarski 1984.)

## LITERATURA

- Alfven, H. 1978. Band structure of the Solar System. In Origin of the Solar System, S. F. Dermot, ed, 41-48, Wiley.
- Brush, G. S. 2006. Meteorites and the origin of the Solar system. From: MCCALL,G.J.H., BOWDEN, A. J. & HOWARTH, R. J. (eds) 2006. The History of Meteoritics and Key Meteorite Collections: Fireballs, Falls and Finds. Geological Society, London, Special Publications, 256, 417-441. 0305-8719/06/\$15.00 9 TheGeologicalSocietyofLondon2006.
- Cameron, A., G., W. 1973. History of the Solar System. Earth-Science Reviews, 9, 125-137.
- D'Angelo, G.; Bodenheimer, P. (2013). "Three-Dimensional Radiation-Hydrodynamics Calculations of the Envelopes of Young Planets Embedded in Protoplanetary Disks". The Astrophysical Journal. 778 (1): 77 (29 pp.).
- Woolfson, M. M. (1993). "Solar System – its origin and evolution". Q. J. R. Astron. Soc. 34: 1-20.
- Сафонов, С. В. 1969. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. Наука, Москва.
- See, T. J. J. (1909). "The Past History of the Earth as Inferred from the Mode of Formation of the Solar System". Proceedings of the American Philosophical Society. 48 (191): 119–128.
- Kuiper, G. 1951. On the origin of the Solar system. Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 37, No. 1.
- Michael, Mark 1993. The Solar System: it's origin and evolution. Journal of the Royal astronomical Society, 34, 1-20.
- Montmerle, Thierry; Augereau, Jean-Charles; Chaussidon, Marc; et al. (2006). "Solar System Formation and Early Evolution: the First 100 Million Years". Earth, Moon, and Planets. 98 (1-4): 39–95.
- Kornel Đ., Bugarski D. 1996. Matematička geografija, Novi Sad.
- Klahr, H., Schreber, A. 2020. Turbulence Sets the Length Scale for Planetesimal Formation: Local 2D Simulations of Streaming Instability and Planetesimal Formation. The Astrophysical Journal, Volume 901, Issue 1, id. 54, 22 pp.
- Williams, I., P., Cremin, A., W. 1968. A survey of theories relating to the origin of the solar system. Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society, 9, 40-62.
- [www.nasa.com](http://www.nasa.com)
- [www.esa.com](http://www.esa.com)

# UNIVERZALNI SISTEM

**P**osmatrajući nebesku sferu i njeno kretanje, kretanje Sunca, planeta i zvezda, stari narodi su došli do zaključka da se sve kreće oko njih. Na osnovu ovih zapažanja, u centar univerzalnog sistema su stavili Zemlju, a sva nebeska tela se kreću oko nje. I pored toga što je ovo bilo dominantno mišljenje, još su u starom veku postojali pojedinci koji su smatrali da je Sunce u centru sistema (na primer Aristarh 310. pre nove ere) ali su oni po pravilu osuđivani od strane društva, naučna zajednica ih nije prihvatala, a religijske vode odbacivale zbog "bezbožnih" i stavova protivnih veri gde bi se bogovi sa Olimpa okretali oko nekog Sunca i svoje ose.

## GEOCENTRIČNI SISTEM

Geocentrični sistem je model univerzuma gde se Zemlja nalazi u centru. U većini geocentričnih modela, Sunce, planete kao i sve zvezde su pokretni i kreću se oko Zemlje. Ovaj model je bio dominantan u većini starih civilizacija, u antičkoj Grčkoj Aristotel je izneo osnove ovog modela, a Klaudije Ptolomej je sistem unapredio u rimskom periodu. Ptolomejev geocentrični sistem je prihvaćen i u arapskom svetu tokom zlatnog naučnog perioda (VII-XI) jer se verovalo da je sistem u korelaciji sa učenjima iz islama (Lawson, 2004).

Neposredno opažanje je utemeljilo ideju o Zemlji kao centru univerzuma. Kada se posmatra Sunce i Mesec, kao i sve planete, oni se okreću oko Zemlje jednom dnevno. Vidljive zvezde izgledaju kao da su fiksirane na nebeskoj sferi, a čitava sfera se okreće oko Zemljine osovine. Ovo je vidljivo bilo gde na planeti Zemlji. Takođe, kada se posmatra sa Zemlje, svakom posmatraču izgleda da je njegovo stojište nepomično i da Zemlja miruje.

U antičkoj Grkoj, ali i starorimski i brojni srednjevekovni astronomi i filozofi su kombinovali geocentrični sistem sa sfernom Zemljom. Geocentrični sistem se veoma rano pojavio u antičkoj Grčkoj filozofiji i astronomiji, a prve naznake ovog sistema su vidljive već u predsokratovskoj filozofiji. Stari Grci su bili fascinirani planetama koje su nazivali "lutalicama" (planētai). Već u VI veku pre nove ere Anaksimander je osmislio kosmolоški model koji je predviđao Zemlju u obliku cilindra koji

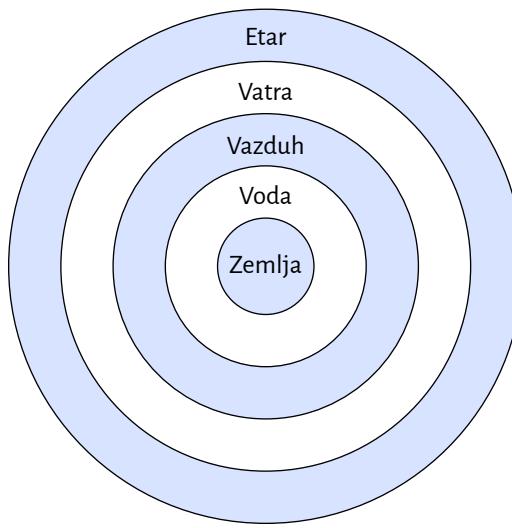
je u centru sveta. U tom cilindru, Sunce, Mesec i planete su bile rupe gde su ljudi mogli da vide skrivene, večne vatre.

U isto vreme je i Pitagora smatrao da je Zemlja sferna ali da se okreće oko nevidljive, večne vatre. Kasnije su se ovi stavovi spojili u jedno shvatanje, pre IV veka pre nove ere, shvatanje o sfernoj Zemlji koja je u centru univerzuma (Draper, 2007; Fraser, 2006). U IV veku pre nove ere dolazi do daljeg razvoja geocentričnog sistema.

Prema Platonu, Zemlja je nepokretna sfera u centru univerzuma, oko nje, zvezde i planete se kreću po svojim sferama ili krugovima redosledom: Mesec, Sunce, Venera, Mars, Jupiter, Saturn, nepokretne zvezde gde su planete na krugovima, a zvezde na sferi. Platon, u delu "Republika", dalje objašnjava da je čitav univerzum sistem nužnosti, sa sirenama, a okreću ga tri sudbine. Ovaj mitski prikaz je izmenio Eudoks, koji je uveo matematički pristup o ravnomernim, kružnim kretanjima planeta koje je bilo u skladu sa učenjima Platona i upravo posle Eudoksa ovakav model se može nazvati geocentrični sistem. Aristotel je nastavio i dalje razrađivao Eudoksov sistem.

U Aristotelovom geocentričnom sistemu, sferna Zemlja je u centru univerzuma, a sva druga nebeska tela se kreću u 47-55 providnih nebeskih sfera koje se sastoje od materije koju naziva etar. Etar do Aristotela nije postojao u antičkoj grčkoj filozofiji, već je ovaj element on definisao i objasnio kao netruležnu supstancu koja gradi sfere.

Svaka planeta je imala po nekoliko sfera da bi se objasnila kretanja planeta. Ove sfere, poznate su kao kristalne sfere i kretale su se različitim brzinama da bi svaka uzrokovala različite revolucione brzine planeta. Smatralo je da je Mesec u najdebljoj sferi i da dodiruje sferu Zemlje i da su zato vidljive tamne mrlje na Mesecu dok Mesec prolazi kroz svoja mesečeva doba.



**Prilog 28.**  
Aristotelovi  
elementi koji grade  
univerzum  
*Izvor: Kalachanis et  
al., 2016.*

Dalje, definisao je i objasnio elemente koji grade univerzalni sistem, elemente Zemlje: zemlja, voda, vatra, vazduh kao i nebeskog elementa, etra. Smatralo je da je zemlja najteži element koji samim tim teži ka centru i formira planetu Zemlju. Voda kao lakši element formira sloj na Zemlji. Vazduh i vatra su lakši elementi koji su odvojeni dalje od centra pri čemu je vatra lakša od vazduha. Na osnovu ovih stanova, formirao je sfere Zemlje gde je centralni

deo planete izgrađen od zemlje oko koje se nalazi sfera vode. Iznad vode je sfera vazduha i iznad nje sfera vatre. Spoljne sfere, ostalih planeta su izgrađene od etra kao i same planete (Hetherington, 2006; Kalachanis et al., 2016).

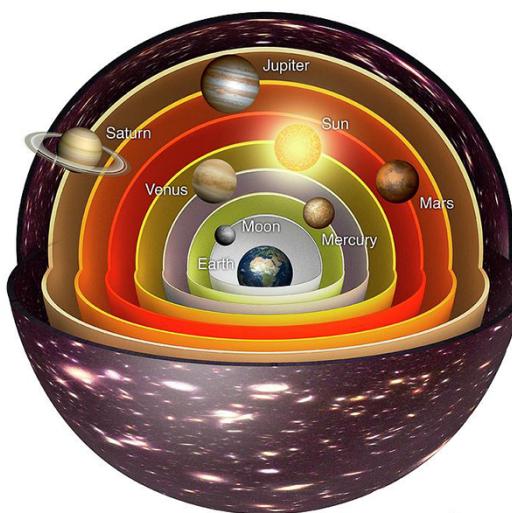
Posle par stotina godina, Aristotelov geocentrični model fiksnih sfera je napušten jer se nije moglo precizno definisati kretanje planeta u sistemu kao i tačno predvideti njihovo kretanje i pojave u budućnosti. Osnovna načela Aristotelovog geocentričnog sistema su se održala ali je bilo potrebno razviti novi geocentrični sistem koji bi bio unapređen, pre svega na polju planetarnih kretanja.

### Ptolomejev sistem

Ptolomejev sistem je razvio helenistički astronom Klaudije Ptolomej u II veku, ovaj sistem je bio standardizovan i širom prihvaćen, napredan geocentrični model. Koliko je bio ispred svog vremena, naučno i društveno prihvaćen, govori i činjenica da su evropski i islamski astronomi više od 1.300 godina smatrali da je to ispravan kosmološki model. Svojim osobinama i karakteristikama je znatno izmenio klasičan geocentrični sistem, toliko da je pogrešno stavljati znak jednakosti između ova dva sistema.

Ptolomej je tvrdio da je Zemlja sfera u centru univerzuma. Ovo je zaključio iz jednostavnog zapažanja da je polovina zvezda iznad horizonta, a polovina ispod horizonta u bilo kom trenutku (zvezde se rotiraju na zvezdanoj sferi) i prepostavke da su sve zvezde na nekoj skromnoj udaljenosti od centra univerzuma (Zemlje). "Kada bi Zemlja bila značajno izmeštena od centra, ova podela na vidljive i nevidljive zvezde ne bi bila jednak", argument koji koristi Ptolomej u Almagestu (Crowe, 1990).

Almagest ('ælmædʒɛst) je matematičko-astronomski rasprava iz II veka na grčkom jeziku o prividnom kretanju zvezda i putanjama planeta, koju je napisao Klaudije Ptolomej (oko 100-170. godine). Almagest je jedan od najuticajnijih naučnih tekstova u istoriji čovečanstva, kanonizovao je izmenjen klasični geocentrični model univerzuma i pretvorio u takozvani Ptolomejev sistem koji je bio prihvaćen više od 1.300 godina od njegovog nastanka u helenističkoj Aleksandriji, u srednj-



**Prilog 29.**  
Geocentrični sistem  
sfera  
*Izvor: Mikkel Juul  
Jensen / Science Photo  
Library*

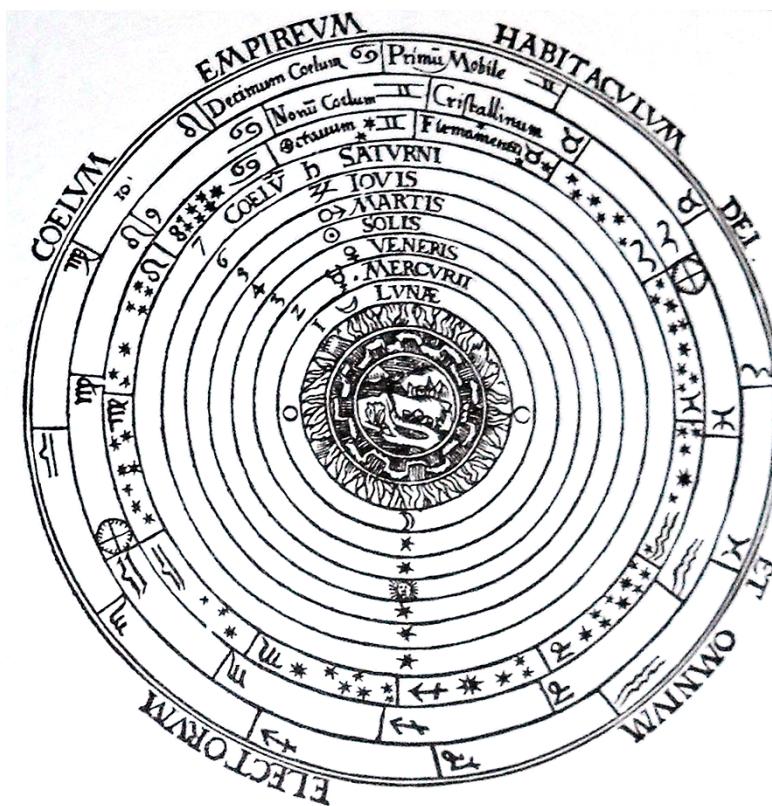
vekovnom vizantijskom i islamskom svetu, u zapadnoevropskoj naučnoj zajednici kroz srednji vek i rane renesanse do Kopernika. Takođe, Almagest je ključni izvor informacija o drevnoj grčkoj astronomiji. Naziv dela nastaje od arapskog *al-majisti*, pri čemu *al* al znači "naj", a *majisti* je iskrivljeno grčko *megistē* megiste "najveći". Spis je prvo bitno nazvan "Mathēmatikē Syntaxis" (Matematika Sintakis) na starogrčkom, a na latinskom se takođe zvao Sintakis Mathematica. Traktat je kasnije nazvan He Megale Sintakis (Ἐ Megalē Syntaxis, "Veliki traktat"; latinski: Magna Sintakis), i superlativ ovog (starogrčki: *megistē*, the megiste) imena iza *al-majisti* (almajsty), od koga potiče engleski naziv Almagest (Toomer, 1998). Arapski naziv je važan zbog popularnosti latinskog prevoda poznatog kao Almagestum, koji je napisan u XII veku od arapskog prevoda i koji je važio za najvažniji prepis sve dok se originalne grčke kopije ponovo nisu pojavile u XV veku. Almagest se sastojao iz trinaest posebnih celina:

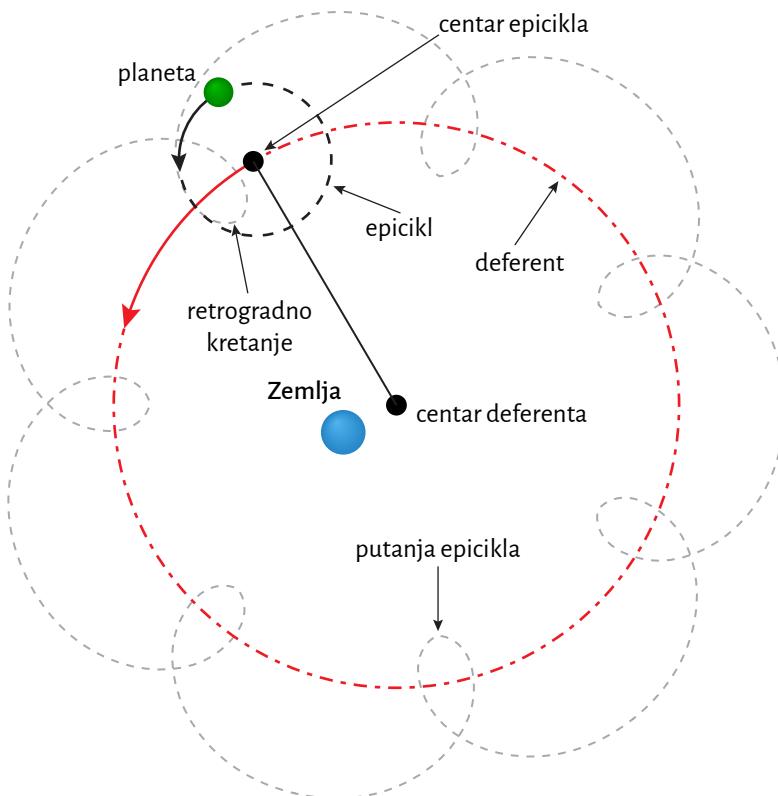
- I knjiga - u njoj je detaljno opisana Aristotelova kosmologija, sferno nebo sa sfernom Zemljom koja leži nepomična kao centar, na svodu su nepokretne zvezde i planete;

te koje se okreću oko Zemlje. Zatim sledi objašnjenje akorda sa tabelom akorda; posmatranja nagiba ekliptike (prividnog puta Sunca kroz zvezde) kao i uvod u sfernu trigonometriju;

- II knjiga - objašnjava zakone u vezi sa dnevnim kretanjem na nebu, izlazak i zalazak nebeskih tela, dužina osvetljenosti, određivanje geografske širine, tačke u kojima je Sunce vertikalno, senke gnomona u vreme ravnodnevice i solsticija, kao i druga zapožanja koja se menjaju sa položajem posmatrača;
- III knjiga - u ovoj knjizi Ptolomej objašnjava dužinu godine kao i kretanja Sunca, pojašnjava Hiparhovo otkriće precesije ekvinokcija i počinje da objašnjava teoriju epicikla;
- IV i V knjiga - objašnjava kretanja Meseca, lunarnu paralaksu, pomeranje apogeja kao i udaljenosti Sunca i Meseca od Zemlje;
- VI knjiga - objašnjava pomračenja Sunca i Meseca;
- VII-VIII knjiga - katalozi zvezda i sazvezđa;
- IX knjiga - objašnjava pitanja koja su u vezi sa modelom od pet planeta i kretanja Merkura;
- X knjiga - objašnjava kretanja Venere i Marsa;
- XI knjiga - objašnjava kretanja Jupitera i Saturna;
- XII knjiga - objašnjava zastajkivanje planeta i njihova retrogradna kretanja to jest, zašto se dešava da izgleda kao da planete zastaju, a zatim na kratko preokrenu svoje kretanje u odnosu na pozadinu zvezda. Ptolomej je objasnio da se ovo odnosi na Merkur i Veneru, kao i na spoljašnje planete;
- XIII knjiga - objašnjava kretanja po geografskoj širini, odnosno odstupanja planeta od ravni ekliptike (Ptolemy, 1952).
- Glavne tačke Ptolomejevog sistema su istaknute u prvoj knjizi Almagesta, i svaka od njih je posebno poglavje te knjige:
  - nebo je sfera i okreće se kao sfera,
  - Zemlja je sfera,
  - Zemlja je u centru Kosmosa,
  - Zemlja u odnosu na rastojanje ka nepokretnim zvezdama nema značajnu veličinu i mora se tretirati kao matematička tačka,
  - Zemlja se ne kreće.

#### Prilog 30. Ptolomejev univerzalni sistem Izvor: Aplanus, 1524.





➊ **Prilog 31.** Epicikli i differenti u Ptolomejevom sistemu  
Izvor: Guan-Ze, Chun-Wang, 1999.

Ptolomej je, u odnosu na Zemlju, opisao položaj drugih sfera u sistemu i postavio ih sledećim redosledom: Mesec, Merkur, Venera, Sunce, Mars, Jupiter, Saturn, sfera nepokretnih zvezda. U svom sistemu, Ptolomej je svojim primjenjenim metodama mogao objasniti nejednaku udaljenost Sunca, Meseca i planeta od Zemlje, kao i neravnomerno i retrogradno kretanje planeta. Položaj Zemlje u sistemu je izmestio iz geometrijskog centra i postavio je

u kinetičko središte modela. Upravo zbog toga, Sunce, Mesec i planete neće uvek biti isto udaljene od Zemlje. Kružne putanje koje se nalaze na sferama planeta čije središte je u kinetičkom centru, a po kojima se kreću oko Zemlje, nazvao je deferentnim krugovima. Neravnomerna kretanja, kao i retrogradna pomerenja, Ptolomej je objasnio uz pomoć epicikla. Po njemu, sva pokretna nebeska tela se kreću u direktnom smeru (smer suprotan kazaljkama na satu) po epiciklu, čiji centar je na deferentu posmatranog tela. Centar epicikla se pomera po deferentu u istom smeru. Periodi i brzine kretanja po epiciklu i deferentu je karakteristično i jedinstveno za svako pokretno telo u Ptolomejevom sistemu, Mesec 27,33 dana, Merkur 88 dana, Venera 225 dana, Mars jedna godina itd. Upravo metodom epicikla, Ptolomej je uspeo da objasni retrogradna kretanja tela u sistemu.

Kretanjem po epiciklu, planete epicikličnim kretanjem iscrtavaju putanje sličnu latice na cvetu i jednim delom svake latice planete se kreću unazadno (retrogradno) u odnosu na Zemlju. Ovakvim sistemom, Ptolomej je mogao da predviđa kretanje planeta, njihov položaj u budućnosti kao i vreme retrogradnog kretanja. Pa ipak, ovaj sistem nije u potpunosti njegovo delo, kinetički centar planeta kao i teoriju differenta i epicikla je preuzeo od Apolonija, a od Hiparha je preuzeo sistem sa Zemljom u centru kao i objašnjenje za kretanja Sunca i Meseca (Hoskin, 1999).

## HELIOCENTRIČNI SISTEM

Heliocentrični sistem nije novina u nauci koja se pojavila 1.300 godina posle objavljivanja Ptolomejevog Almagesta, naprotiv. Ideje o negeocentričnom sistemu su veoma stare, a svoje filozofsko-naučne korene ima u pitagorejskoj školi. Filolaj (390. godine pre nove ere) je imao napredne stavove o kosmologiji, smatrao je da ne postoji statično telo i fiksirani pravac, svoj sistem je razvio oko centralnog objekta koji je nazvao centralna vatra oko koga se ravnomerno okreće Zemlja, Sunce, Mesec i planete. U sistemu je postavio i kontra-Zemlju koja se kolinearno sa Zemljom okrećala oko centralne vatre.

I Sunce, koje je Filolaj zamišljao kao stakleni reflektujući disk, se okrećalo oko centralne vatre, a za pun krug mu je trebalo godinu dana dok su ostale zvezde bile nepokretne. Zemlja je, prema Filolaju, bila stalno okrenuta od centralne vatre i kontra-Zemlje pa su oni ostajali nevidljivi za posmatranje (Merzbach and Boyer, 2011).

U IV veku pre nove ere, Heraklid Pontski je prepostavio da se dnevno kretaju zvezda i ostalih nebeskih tela može objasniti okretanjem Zemlje oko ose rotacije koje traje jedan dan. A kasniji filozofi su izneli mišljenja da je

upravo Heraklid Pontski smatrao da se Merkur i Venera kreću oko Sunca (Eastwood, 1992).

Aristarh (oko 270. godine pre nove ere) je prvi predložio univerzalni sistem u čijem centru se nalazi Sunce. Njegovo jedino delo koje je sačuvano je "O veličini i udaljenosti Sunca i Meseca" u osnovi je geocentričnog karaktera dok su svi drugi spisi izgubljeni. Posredno, podaci o njegovim ostalim radovima su nam poznati iz spisa Arhimeda koji pominje Aristarhove teorije pa pored ostalih i teoriju da je univerzum mnogo veći od poznatih planeta i vidljivih zvezda, kao i da su zvezde i Sunce nepomični, a da se Zemlja kreće oko Sunca po obimu kruga u čijem centru je Sunce.

Razvoj heliocentričnih ideja je bio znatno usporen pojavom opšteprihvaćenog Ptolomejevog geocentričnog sistema. Pa ipak, problemi u Ptolomejevom sistemu su pokrenuli rasprave o njemu kao i alternativnom heliocentričnom sistemu, posebno tokom srednjeg veka u islamskom svetu.

U XII veku islamski astronom Nur ad-Din al-Bitruji je kritikovao Ptolomejev model za koji je smatrao da predstavlja matematičku matricu, a ne model zasnovan na zakonima fizike (Samsó, 2007). Al-Bitruji je razvio neheliocentrični model koji se razlikovao od Ptolomejevog, a kao ideja proširio srednjovekovnom Evropom, a rasprave o njemu su potrajale nekoliko narednih vekova.

U istom veku su nastali i planetarni modeli koji uključuju Zemljinu rotaciju, a njihovi tvorci su bili astronomi opservatorije i škole astronomije Maragha u Persiji, Al-Urdi, Al-Katibi i Al-Tusi. Glavna kritika Maragha škole Ptolomejevog sistema odnosila se na statičnu Zemlju, upravo su rotaciju isticali kao rešenje brojnih problema ovog sistema. Pa ipak, u novim shvatanjima nisu išli dalje od rotacije Zemlje pa nije došlo do heliocentrizma. Evropska nauka u srednjem veku je bila pod jakim uticajem rezultata islamskih naučnih škola, a taj uticaj se nastavio do rane renesanse.

I pored poznate činjenice da je Leonardo da Vinči, na početku XV veka, u svoju svesku, opisujući Sunce i Mesec, zapisao: "Il Sole non si move", ideja o razvijenom heliocentrizmu se vezuje za Nikolu Kopernika. Kopernik je rođen u Poljskoj, u gradu Torunu 1473. godine. Bogatstvo njegove porodice mu je omogućilo da stu-

dira slikarstvo, matematiku i medicinu na najboljim univerzitetima u Evropi.

Proučavajući kretanja planeta, shvatio je da su tabele položaja planeta po Ptolomejevom sistemu netačne i ubrzo je zaključio da bi bilo mnogo lakše objasniti kretanja planeta ako bi se Sunce stavilo u centar sistema kao što je 1.800 godina ranije predlagao Aristarh. U to vreme, radio je na univerzitetu u Bolonji, smatra se da je još 1510. godine imao relativno razvijen heliocentrični koncept koji je uz svoja zapažanja o kretanju planeta i Meseca opisao je u kratkom naučnom radu "Kratki komentari" (*Commentariolus*) koji je objavljen između 1510. i 1514. godine. Već tada, u tom kratkom radu, napisao je sedam osnovnih postulata heliocentričnog sistema (Thoren and Christianson, 2007):

1. Nebeska tela se ne okreću sva oko jedne tačke;
2. Centar Zemlje je centar Mesečeve sfere (orbite) oko Zemlje;
3. Sve sfere rotiraju oko Sunca koje je u centru i koje je blizu centra Univerzuma;
4. Rastojanje od Zemlje do Sunca je beznačajan deo udaljenosti od Zemlje do zvezda, zato se paralaksa zvezda ne primećuje;
5. Zvezde su nepokretne, njihovo prividno dnevno kretanje je uzrokovano rotacijom Zemlje;
6. Zemlja se kreće u sferi oko Sunca, izazivajući prividno godišnje kretanje Sunca, Zemlja ima više od jednog kretanja;
7. Zemljino kretanje oko Sunca izaziva prividno retrogradno kretanje planeta.

Ove postulate je dalje razvijao godinama, a svoje rezultate je sakupio u knjigu. Oklevao je da objavi svoja zapažanja i razmišljanja zbog bojazni od osude, kako crkve tako i naučnih krugova. Pa ipak, posle dugo vremena, u Nürnbergu je 1543. godine, pred sam kraj Kopernikovog života, štampana je knjiga "O revoluciji nebeskih sfera" (*De revolutionibus orbium coelestium*) u kojoj je Kopernik opisao svoja razmišljanja o heliocentričnom sistemu.

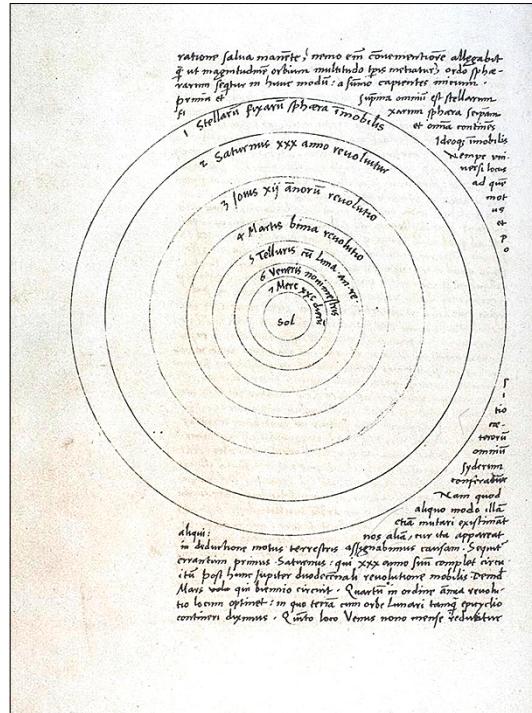
Kopernik je raspravljao o filozofskim implikacijama svog predloženog sistema, razradio ga u geometrijskim detaljima, koristio odabranu astronomsku zapažanja da bi izveo parametre svog modela i napisao astronomске tabele koje su omogućile da se izračunaju prošli i bu-

## ● Prilog 32. i

**33.** Model heliocentričnog sistema u "O revoluciji nebeskih sfera"

Izvor: University of Oklahoma libraries.

Izvor: Biblioteka Jagiellońska - www.bj.uj.edu.pl



dući položaji zvezda i planeta. Čineći to, Kopernik je pomerio heliocentrizam sa filozofске spekulacije na prediktivnu geometrijsku astronomiju. Kao vrstan astronom i matematičar, Kopernik je vršio brojna posmatranja i merenja, a njegovi stavovi su bili utemeljeni na naučnim dokazima.

U stvarnosti, Kopernikov sistem nije predviđao položaj planeta znatno bolje od Ptolomejevog sistema (Henry, 2001), a kao posledica toga, ovaj sistem nije imao puno poklonika u narednih 50-60 godina. Sama činjenica da je Zemlju sveo na nivo ostalih planeta i da ju je izmestio zajedno sa orbitom Meseca van centra sistema, a na njeno mesto postavio Sunce, bila je neprihvatljiva za mnoge, ne samo naučnike nego i za društvo uopšte. Pored ovoga, Kopernik je u svom heliocentričnom sistemu uradio mnogo više, on registruje trostruko kretanje Zemlje: rotaciju oko ose, revoluciju tj. kretanje oko Sunca i precesiju Zemljine ose, kao posledicu nje, promenio je i kalendar zbog pomeranja prolećne tačke koje je direktna posledica precesije (Dadić, 1992).

Zemlja je samo jedna od planeta i nalazi se na trećem mestu od Sunca koje je u centru sistema. Zemlja ostaje centar samo Mesečeve orbita. Ostale zvezde su odaljene od sistema na nemerljivo veliku daljinu. Dnevna kretanja objašnjava rotacijom Zemlje, a godišnja pome-

ranja njenom revolucijom. Kopernik je izračunao i srednje udaljenosti planeta od Sunca, a njegova metoda koja koristi elongaciju se pokazala kao znatno preciznija u odnosu na metode i rezultate Klaudija Ptolomeja. Koliko je bila dobra Kopernikova metoda govori činjenica da se njegovi rezultati skoro ne razlikuju od savremenih (Tabela 19).

**Tabela 19.** Udaljenost planeta od Sunca

| Planeta | Kopernikovo merenje | Savremeno merenje |
|---------|---------------------|-------------------|
| Merkur  | 0,376 AU            | 0,387 AU          |
| Venera  | 0,7196 AU           | 0,723 AU          |
| Mars    | 1,52 AU             | 1,524 AU          |
| Jupiter | 5,217 AU            | 5,203 AU          |
| Saturn  | 9,184 AU            | 9,54 AU           |

I pored svih prednosti, heliocentrični sistem je imao malo naučnih poklonika u narednih šezdesetak godina od smrti Kopernika, u tom periodu svega 19 astronoma u čitavoj Evropi je smatralo da je Kopernikov sistem ispravan (Danielson, 2006). Po svoj prilici, u to vreme nije bilo razloga da se prihvati novi sistem i odstupi od vekovima utemeljenog Ptolomejevog sistema koji je imao duboke korene u Aristotelovoj folozofiji.

Mnogi nisu mogli da prihvate da se Zemlja kreće, a jedan od njih je i Tygo

Ottesen Brahe), jedan od najpriznatijih astronomata u Evropi tog doba. Poštovao je dostignuća Kopernika ali je smatrao da su Aristotelovi principi neoborivi i da predstavljaju osnov svega. Svojim posmatranjima zvezda u sazvezđu Kasiopeja kao i kometa, doveo je u sumnju deo Aristotelove teorije o planetama, posebno deo o sferama. Zbog toga predlaže svoj sistem, geo-heliocentričan (Tihov) sistem gde je Zemlja u centru, Mesec i Sunce se kreću oko Zemlje, a sve druge planete se okreću oko Sunca.

Ovaj sistem je bio u skladu sa osnovama Aristotelove fizike jer je kao i Aristotel, Tih smatrao da je Zemlja sviše velika i masivna da bi se kretala ali i sa religijskim stavovima o Zemlji i planetarnom sistemu.

Na prelasku iz XVI u XVII vek, malo je bilo pobornika Kopernikovog sistema, a verovanje u njega i propagiranje njegovih prednosti nije bilo prihvaćeno od strane širih naučnih krugova i crkve. Sudbina smelih pojedinaca koji su verovali u heliocentrizam je u nekim slučajevima bila surova.

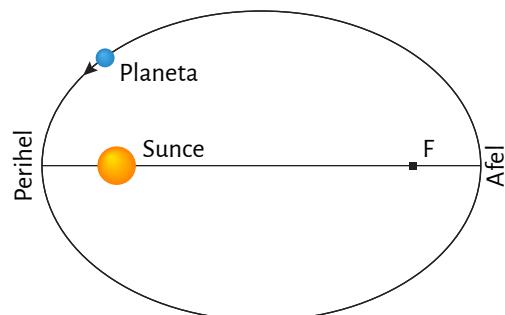
Pet godina po objavljinju Kopernikove knjige "O revoluciji nebeskih sfera", rođen je Đordano Bruno (*Giordano Bruno*). Italijanski filozof, matematičar, pesnik i teorijski kosmolog je bio vatreni pristalica Kopernika. Tokom poslednje dekade XVI veka optužen je i suđeno mu je za jeres i bogohuljenje, prvo u Veneciji, a potom u Rimu. Nije se odrekao svojih uverenja, osuđen je na smrt vešanjem, a potom je spaljen na lomači na centralnom rimskom trgu *Campo de' Fiori*.

Galileo Galilej (*Galileo Galilei*) je bio italijanski fizičar, astronom, matematičar i filozof, jedan od retkih zagovornika heliocentrizma, a svojim otkrićem Jupiterovih satelita utemeljio je svoju veru u ispravnost ovog stava. I pored toga što je argumentovano branio svoje stave, katolička crkva je čitavu ideju heliocentrizma 1616. godine proglašila za jeres. Galileo je godinama bio u nemilosti, ali nije odstupao od svojih stavova, naprotiv, sa godinama je sve vatrene, argumentovanje branio heliocentrizam.

Razvoj astronomije i savremenih planetarnih shvatanja crkvena inkvizicija nije mogla da zaustavi. Iako je bio njegov asistent u istraživanju, Johan Kepler (*Johannes Kepler*) se nije slagao sa stavovima Tiha Brahea, već je bio va-

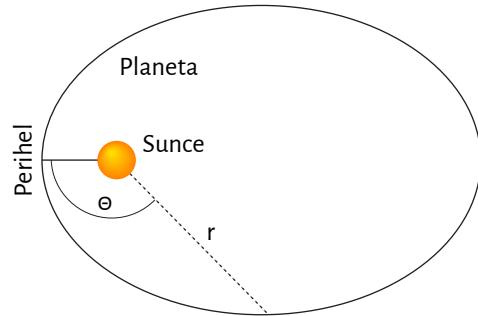
treni zagovornik Kopernikovog sistema. Posle smrti Barhea, Kepler je preuzeo naučne materijale i nastavio istraživanja i posmatranja. Njegova druga knjiga "Nova astronomija" iz 1609. godine je napisana posle dugogodišnjih analiza i proračuna u vezi sa orbitom Marsa koje su dovele do saznanja da su kružne orbite planeta viševekovna zabluda i da Mars kruži oko Sunca po eliptičnoj orbiti. Ova Keplerova tvrdnja je izazvala naučnu revoluciju u astronomiji. Takođe, u knjizi je izneo i prva dva zakona o planetarnim kretanjima.

- **Prvi Keplerov zakon:** Planete se kreću po eliptičnim putanjama sa jedinstvenom žižnom tačkom u kojoj se nalazi Sunce.



- **Prilog 34.** Perihel je tačka na orbiti planete gde je ona najbliža Suncu, a afel najudaljenija

Izvor: Katarina Miljković, Astronomija.org.rs



$r$  – radijus-vektor

$\theta$  – polarni ugao računat od perihela

$\epsilon$  – ekscentričnost orbite

- **Prilog 35.** Prvi Keplerov zakon: Kroz jednačinu elipse u polarnim kordinatama:  $r = \text{const} / (1 + e \cos \theta)$

Izvor: Katarina Miljković, Astronomija.org.rs

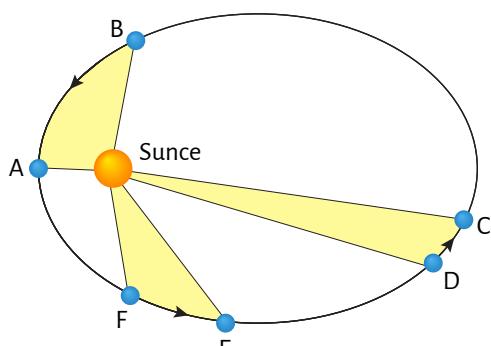
- **Drugi Keplerov zakon:** Linije koje povezuju planete i Sunce (radijus vektor) prelaze u jednakim vremenskim intervalima preko istih površina.

$$r^2(d\theta/dt) = \text{const}$$

### Prilog 36.

Drugi Keplerov zakon: Planeta u jednakom vremenskom periodu prelazi iste površine. Planeta jednako dugo putuje od B do A kao i od F do E, i od D do C. Površine BSA, FSE i DSC su jednake.

Izvor: Katarina Miljković, Astronomija.org.rs



Iz ovog zakona proizilazi da je brzina planeta najveća u perihelu, a najmanja u afelu.

Treći zakon Kepler objavljuje 1619. godine i sa njim u potpunosti menja pristup izučavanju planetarnih kretanja.

- Treći Keplerov zakon: Kvadrati sideričkih perioda (T) obilaska planeta oko Sunca srazmerni su kubovima velikih poluosa (a) njihovih putanja.

$$a_1^3 / T_1^2 = a_2^3 / T_2^2 = \text{const}$$

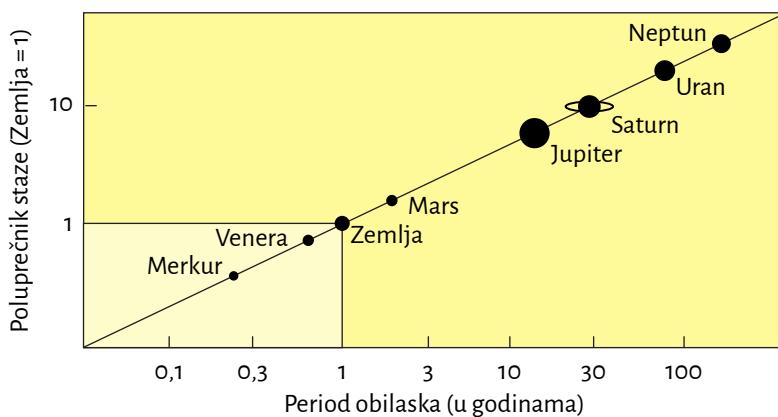
- što je ekvivalentno  $T = kR^{3/2}$
- T - u godinama,
- a - u astronomskim jedinicama.

Treći Keplerov zakon važi za sve planete ali i za sisteme satelita, pri čemu je vrednost konstante za svaki sistem različita. Ovaj zakon je doveo u vezu kretanja planeta u Sunčevom sistemu i omogućio da se na osnovu perioda obilaska planeta oko Sunca mogu odrediti rastojanja i razmere u čitavom sistemu, on dovodi u vezu dužinu orbite i vreme obilaska planete oko Sunca.

### Prilog 37.

Treći Keplerov zakon, poluprečnik orbite planeta i orbitalni period

Izvor: Katarina Miljković, Astronomija.org.rs



**Tabela 20.** Planetarne karakteristike po trećem Keplerovom zakonu

| Planeta | T (godina) | a (AU) | T <sub>2</sub> | a <sub>3</sub> |
|---------|------------|--------|----------------|----------------|
| Merkur  | 0,24       | 0,39   | 0,06           | 0,06           |
| Venera  | 0,62       | 0,72   | 0,39           | 0,37           |
| Zemlja  | 1,0        | 1,0    | 1,0            | 1,0            |
| Mars    | 1,88       | 1,52   | 3,53           | 3,51           |
| Jupiter | 11,9       | 5,20   | 142            | 141            |
| Saturn  | 29,5       | 9,54   | 870            | 868            |

Sudbina pojedinih naučnika i delovanje inkvizicije delimično je uticalo na razvoj naučne misli u narednim dekadama. Svoj kosmološki traktat "Svet", koji je bio zasnovan na heliocentrizmu, René Dekart je napustio pod uticajem sudbine Galilea Galileja. U kasnijim "Principima filozofije" iz 1644. godine, opisuje model u kome se planete stvaraju u vrtlogu materije pod uticajem centrifugalne sile i pod uticajem centripetalnog pritiska. Promena kod Dekarta u poimanju prostora i kretanja planeta, kao i njihovog formiranja, očigledno je rezultat delovanja i pritisaka crkve, a isto se dešava širom Evrope (Weintraub, 2007).

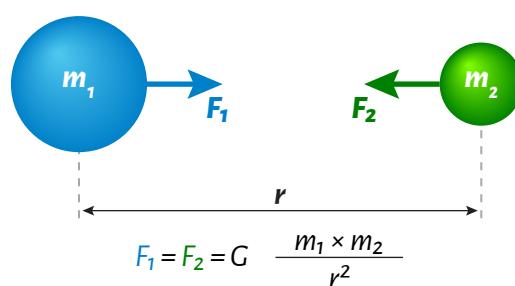
Veliki napredak na polju definisanja heliocentrizma ostvaren je 1684. godine, kada je Isak Njutn (Isaac Newton) posao rukopis "O kretanju tela u orbitama" Edmondu Haleju (Edmond Halley) u kome je Njutn objasnio i dokazao Keplerove zakone planetarnih kretanja. Halej je bio impresioniran te je uticao na Njutna da proširi i detaljno objasni svoje matematičko-fizičke dokaze i objavi ih. U knjizi "Matematički principi prirodne filozofije" koju je Njutn objavio 1687. godine, a koja se smatra da je jedna od najznačajnijih knjiga na polju prirodnih nauka u istoriji, Njutn je definisao svoja tri osnovna zakona mehanike - kretanja (zakon inercije, osnovni zakon dinamike, zakon akcije i reakcije) kao i univerzalni zakon gravitacije.

I dok su Keplerovi zakoni opisivali način kretanja planeta, Njutnovi zakoni, a posebno zakon o univerzalnoj gravitaciji, definisali su i objasnili zašto se planete kreću kako je opisao Kepler. Osim toga, postoje tela u Sunčevom sistemu koja se kreću mnogo složenije od planeta, kao i kretanja u okviru skupova zvezda ili kretanja unutar galaksija, a koja u Njutnovu vreme nisu bila poznata, i ona se kreću po za-

konima kretanja i zakonu gravitacije koje je definisao Njutn.

Njutn je opisao gravitaciju kao univerzalnu silu koja drži planete u orbitama i definisao je:

- Gravitacija je sila uzajamnog privlačenja dva tela koja je direktno proporcionalna proizvodu mase ( $m_1, m_2$ ) tih tela i obrnuto proporcionalna kvadratu njihovog rastojanja ( $r$ ).



#### Prilog 38. Gravitacija

U formulacijskom obliku univerzalnog zakona o gravitaciji se nalazi i gravitaciona konstanta ( $G$ ), jedna od prirodnih konstanti. Sama veličina konstante je izuzetno mala i interpretacija zakona gravitacije u svakodnevnoj situaciji je da se dva tela mase jedan kilogram na rastojanju od jednog metra privlače silom od  $6,67 \times 10^{-11}$  Njutna.

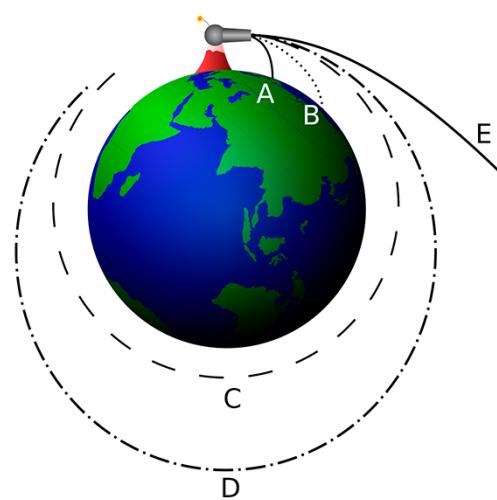
Iz ovog zakona proizilazi da je uzajamna privlačna sila između Sunca i neke planete veća ako je i planeta veća, ali se i smanjuje ukoliko je planeta udaljenija od Sunca. Upravo sila gravitacije održava planete u svojim orbitama, kada ove sile ne bi bilo, planete bi nastavile da se kreću pravolinijski pod uticajem inercije. Njutn je opisao delovanje gravitacije na planete kao "stalno padanje prema Suncu". Ipak, to se nikada ne desi zato što je sa gravitacijom

u stalnoj ravnoteži kinetička energija planeta. Gravitaciono privlačenje između nebeskih tela je uzajamno, ne privlači samo Zemlja Mesec, već i Mesec Zemlju. Masa Zemlje je 81 put veća od mase Meseca i zbog toga se Mesec i Zemlja okreću oko tačke centra mase koja se nalazi na 4.700 kilometara od centra Zemlje (ispod površine Zemlje), pri čemu Mesec pravi veliki krug, a Zemlja, zbog svoje veće mase, sasvim mali krug koji je manji od njenog obima.

Po istom principu se kreću i sve planete oko Sunca. Sva tela u Sunčevom sistemu se kreću oko zajedničkog gravitacionog centra oko koga se kreće i centar Sunca. Uticaj gravitacije je mnogostruk. Usled međusobnog gravitacionog uticaja pojavljuju se varijacije u kretanju nebeskih tela koje se nazivaju perturbacijama. Takođe, uticaj gravitacije je ključan i u formiraju loptastog oblika nebeskih tela. Na sve čestice materije koja gradi nebeska tela uticaj ima gravitaciju, svaka čestica teži da se približi gravitacionom centru i ostane što je moguće bliže, na taj način se formira loptast oblik planeta i ostalih tela koja imaju dovoljnu masu za odvijanje ovog procesa. Dovoljna masa je uslov za topljenje tela jer samo u istopljenom stanju gravitacija će oblikovati masu u sferni oblik (Mrđa, 2018). Uticaj gravitacije je vidljiv i kod građe kako Zemlje tako i ostalih planeta. Slojevitost u građi planeta je uzrokovana delovanjem gravitacije, a uticaj gravitacije je vidljiv i u pojavi izostazije.

Svojim zakonima, Njutn je objasnio uslove da neko telo ili planeta ostane u putanji kružnog ili orbitalnog kretanja, to znači da svako telo ako postigne određenu brzinu može biti u kružnom kretanju oko tела veće mase. Za Zemlju, na njenoj površini, brzina kruženja, orbitalna brzina ili prva kosmička brzina iznosi 7,91 km/s. Ukoliko telo kreće sa površine Zemlje i ima minimalnu početnu brzinu 11,186 km/s, onda ono ima brzinu oslobođanja ili drugu kosmičku brzinu koja je dovoljna da se telo oslobodi uticaja gravitacije Zemlje.

Na prilogu 5.12 su prikazane putanje tela sa različitim početnim brzinama. Ukoliko bi neko telo bilo ispaljeno brzinom manjom od brzine kruženja ona bi imala putanju A ili B i pala bi na Zemlju (Prilog 39), ukoliko bi telo islo brzinom kruženja (7,91 km/s) ona bi imala kružnu putanju C i kretala bi se stalnom brzinom. U slučaju da telo kreće nekom brzinom većom od brzi-



#### Prilog 39. Putanje tela pri I (C i D) i II (E) kosmičkoj brzini

ne kruženja ali manjom od brzine oslobađanja (7,92 do 11,1 km/s) ono bi putovalo po elipsi D. Ukoliko bi telo krenulo brzinom većom od brzine oslobađanja - druga kosmička brzina (11,2 km/s), ono bi putovalo po hiperboli E i napustilo bi Zemlju.

Treća kosmička brzina je brzina kojom bi se neko telo (na primer raketa ili veštački satelit),

bez dodatne sile potiska, oslobodilo Sunčevog gravitacionog uticaja i udaljilo se od Sunčevog sistema. Na površini Zemlje, u idealnim uslovima, treća kosmička brzina je minimalna 16,7 km/s. Četvrta kosmička brzina bi bila neophodna brzina za napuštanje gravitacionog uticaja galaksije Mlečni put i ona na Zemlji iznosi oko 100 km/s.

## LITERATURA

- Aplanus, P. 1524. *Cosmographicus liber*. Landshut: Johann Weissenberger.
- Crowe, M. J. 1990. *Theories of the World from Antiquity to the Copernican Revolution*. Mineola, NY: Dover Publications.
- Dadić, Ž. 1992. *Povijest ideja i metoda u matematici i fizici*. Školska knjiga, Zagreb.
- Danielson, D. 2006. *The first copernican: Georg Joachim Rheticus and the rise of the copernican revolution*. Walker books.
- Draper, J. W. 2007. *History of the Conflict Between Religion and Science*. In Joshi, S. T. (ed.). *The Agnostic Reader*. Prometheus. pp. 172-173.
- Eastwood, B. S. 1992. Heraclides and heliocentrism: texts, diagrams, and interpretations. *Journal of the history of astronomy*, 23, 4.
- Fraser, C. G. 2006. *The cosmos: a historical perspective*. Westport, Conn, Greenwood press.
- Guan-Ze, L., Chun-Wang, S. 2005. Geometric patterns design with recursive pursuit relative motions. *Visual mathematics*, 28.
- Hatch, R. A. 1999.
- Hetherington, N. S. 2006. *Planetary Motions: A Historical Perspective*. Westport, Conn, Greenwood press.
- Henry, J. 2001. *Moving heaven and earth: Copernicus and the solar system*. Cambridge: Icon. p. 87.
- Hoskin, M. 1999. *The Cambridge Concise History of Astronomy*. Cambridge University Press.
- Lawson, R. 2004. *Science in the Ancient World: An Encyclopedia*. ABC-CLIO.
- Samsó, J. 2007. *Bitrūjī: Nūr al-Dīn Abū Ishāq [Abū Ja'far] Ibrāhīm ibn Yūsuf al-Bitrūjī*. In Thomas Hockey; et al. (eds.). *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*. New York: Springer. pp. 133-134.
- Merzbach, U., Boyer, C. B. 2011. *A history of mathematics*. Wiley.
- Mrđa, D. 2018. Zašto su planete okrugle - matematika. *Astronomski magazin*.
- Kalachanis, K., Theodosiou, E., Dimitrijević, M. 2016. Aristotelian aether and void in the universe. *Journal of classical studies Matica srpska*, 18, 135-150.
- Ptolemy, 1952. *The Almagest* vol. XVI. Digital Library of India.
- Toomer, G. J. 1998. *Ptolemy's Almagest*. Princeton University Press, New Jersey.
- Thoren, V. E., Christianson, R. J. 2007. *The Lord of Uraniborg: A Biography of Tycho Brahe*. Cambridge University Press.
- Weintraub, D. A. 2007. *Is a Pluto a planet*. Princeton University Press.

# OBLIK I VELIČINA ZEMLJE

Judi su u pokretu od svoje pojave na planeti. Njihov opstanak je zavisio od poznavanja uže i dalje okoline prebivališta, a predeo vidika im je bila zona komfora sa kojom su bili upoznati do detalja. Krećući se, zona vidika se pomerala, a sadržaj u vidnoj zoni se menjao ali je svaki put vidno polje bilo okruglo, a površina Zemlje po kojoj su se kretali bila ravna. Upravo na ovim iskustvenim saznanjima bazirano je primitivno shvatanje da je Zemlja ravna ploča, a ovo shatanje se održalo milenijumima među starim narodima. Napredak na polju shvatanja oblika Zemlje, nastao je pojavom starogrčke filozofske, astronomске i matematičke nauke u VI veku pre nove ere. Tada se javljaju prvi stavovi koji su u suprotnosti sa opšteprihvaćenim pogledima na oblik Zemlje.

## OBLIK ZEMLJE

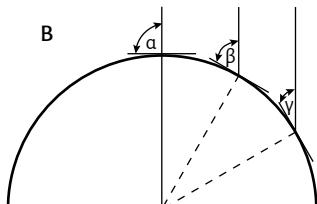
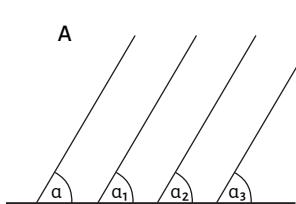
Pojava novih shvatanja o obliku Zemlje je bazirana na empirijskim dokazima, koji su proistekli iz posmatranja i logičkog razmišljanja. Starogrčki filozof Parmenid (540-480. pre nove ere) je u svojoj poemi "O prirodi", u delu koji opisuje razmišljanja smrtnika, napisao da je Zemlja okrugla, i to je bio prvi poznat, javno iznet naučni stav o okruglom obliku Zemlje. U istom periodu, živeo je i radio Pitagora koji je sa svojim učenicima razmatrao univerzalni i kosmički poredak. U njihovim zapisima je sačuvano mišljenje da ravna Zemlja ne može biti u skladu sa nebeskom sferom, a sam Pitagora je smatrao da je Zemlja najverovatnije sfernog oblika jer je samo takva u harmoniji sa teorijama iz geometrije i matematike.

Jedan od prvih naučnih dokaza o okrugлом obliku Zemlje izneo je u IV veku pre nove ere starogrčki matematičar Eudoks. Osim matematikom, Eudoks se bavio i astronomijom koja se tada smatrala delom matematike. Posmatrajući zvezde, primetio je i zabeležio detalj koji ga je naveo na razmišljanje o obliku Zemlje. Krećući se u meridijanskom pravcu registrovalo je promenu ugla pod kojim se vidi

posmatrana zvezda. Ova pojava je moguća samo ako je podloga po kojoj se kreće posmatrač sferna (okrugla Zemlja) jer ukoliko je površina po kojoj se kreće astronom ravna, ugao pod kojim se vidi zvezda bio bi konstantan. Ovu pojavu je Eudoks zabeležio u prvoj polovini IV veka pre nove ere. Ovaj Eudoksov dokaz je lako proveriti, ako se posmatra zvezda Sjevernjača. Krećući se ka severu, zvezda se vidi pod sve većim uglom, a isti ugao se smanjuje ako se krećemo, takođe meridijanskim pravcem, ali prema jugu.

Aristotel (384-322. godine pre nove ere) je polovinom IV veka pre nove ere u svom delu "O nebu" izneo dokaz o loptastom obliku Zemlje koji je za osnov imao posmatranje Mesečevih pomračenja (Kanet, 1963). Tokom jednog pomračenja zabeležio je da samo loptasto telo može da ostavi senku koja ima oblik kružnog isečka kakvu vidimo pri svakom pomračenju Meseca.

Prilog 40.  
Eudoks - uglovi  
Izvor: Đere, Bugarski,  
1996.



Prilog 41. Senka Zemlje pri Mesečevom pomračenju  
Izvor: Space.com

Osim ovog dokaza, Aristotel je izneo još jedan. Putujući na jug, na Kipar i u Egipat, primetio je da na krajnjoj južnoj tački nebeske sfere vidi nova sazvezđa koja nije video iz severnih regija. Zaključio je da se krećući po sfernoj površini, meridijanskim pravcem, na krajnjem južnom delu pojavljuju nova sazvezđa koja su zbog zakrivljenosti Zemlje bila skrivene na severu. Ovo dokazuje da je Zemlja lopta. Prepostavlja se da su pomorci verovatno pružili prve opservacijske dokaze da Zemlja nije ravna, na osnovu posmatranja horizonta.

Ovaj argument je izneo geograf Strabon u I veku pre nove ere, on je sugerisao da je sferni oblik Zemlje verovatno poznat pomorcima sa Sredozemnog mora još od Homerovog vremena navodeći tekst iz Odiseje koji ukazuje da je pesnik Homer znao za ovo još u VII ili VIII veku pre nove ere (Thurston, 1994). Strabon je naveo različite pojave uočene na moru koje sugerisu da je Zemlja sferna. On je primetio da su visoka svetla ili izdignite površine kopna

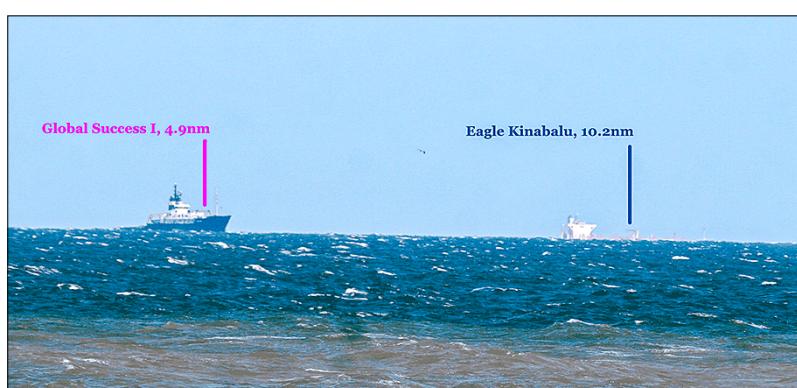
Almagestu, koji je ostao standardno i najvažnije delo astronomije i geografije tokom 1.400 godina, izneo je mnoge argumente za sferičan oblik Zemlje. Među njima je bilo i zapažanje da kada brod plovi prema planinama, posmatrači primećuju da one izgledaju kao da se izdižu iz mora, što ukazuje da ih je sakrila zakrivljena površina Zemlje to jest, mora. On, takođe, daje odvojene argumente da je Zemlja zakrivljena u pravcu sever-jug i da je zakrivljena u pravcu istok-zapad (Grant, 1974).

I u arapskom delu sveta se razija ideja o okrugloj Zemlji. Tokom VIII veka persijski kalif al-Mamun (*Abu al-'Abbas Abdallah al-Ma'mun ibn al-Rashid*), poznat kao mecena nauke u arapskom svetu, osniva naučnu akademiju u Bagdadu koja je doprinela razvoju nauke, posebno matematike i astronomije. Opšteprihvaćen stav o loptastom obliku Zemlje je trebao da bude potvrđen proračunom obima Zemlje koji je izvršen krajem VIII veka.

U Evropi, stav o okrugloj Zemlji je delio značajan broj naučnika. Džon Sakrobosko (*Johannes de Sacrobosco*) je oko 1230. godine objavio svoje delo "Traktat o sferi" (*Tractatus de sphera/De sphaera mundi*) gde opisuje do detalja Ptolomejev sistem, a u uvodnom delu opisuje Zemlju kao sferu. U narednih nekoliko stotina godina je ovo delo bilo značajna referenca za naučnike i studente iz Zapadne Evrope.

Još jedan važan naučni dokaz o obliku Zemlje pružio je Isak Njutn (*Isaac Newton*). Njutnov dokaz sa viskom je relativno lako ponoviti, ali je potrebno uraditi brojna merenja na širokom prostoru. Suština dokaza je da visak upravno pada na Zemljinu površinu. Ako je Zemlja ravna, pravac visaka bi u odnosu na ravan horizonta zatvarao ugao od 90°. Na pozicijama gde su izvršena merenja, ako se povuku prave linije, one bi trebalo da budu paralelne sa ravni Zemlje. Eksperiment pokazuje da ravan eksperimentalnih pozicija nije u paraleli sa ravni Zemlje, a uglovi visaka prema ravni horizonta su manji od 90°. Ovo dokazuje da Zemlja nije ravna, već da joj je površina sferna.

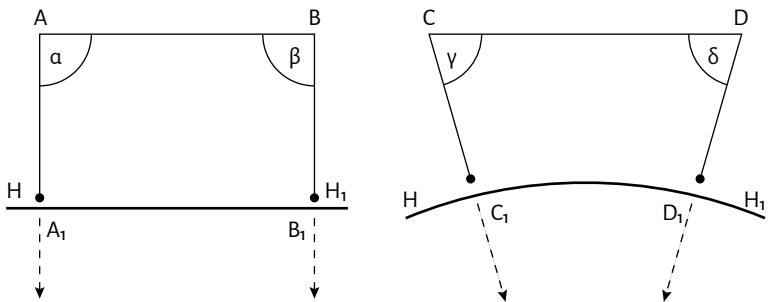
Brojni eksperimenti, naučne rasprave i dokazi, mišljenja pojedinaca i grupa naučnika su kroz istoriju nauke nosili ideju o loptastom obliku Zemlje, ali značaj kao i istinitost tog naučnog stava je na kraju dokazana praktičnom potvrdom o loptastom obliku Zemlje



① **Prilog 42.** Brodovi na pučini  
Izvor: UCL.com

bile vidljive mornarima na većim udaljenostima od onih manje uzdignutih i naveo da je za to očigledno odgovorna zakrivljenost mora (Jones, Sterrett, 1917-1961). Ovaj dokaz je ponovo i Plinije stariji u I veku (Kornel, Đ., Bugarski, D. 1996). Kao dokaz koristio je posmatranje broda na pučini. Kada se brod udaljava od luke prvo iz vidika nestaju njegovi najniži delovi, delovi korita, pa onda srednji, delovi palube i na kraju, kada brod ode daleko od obale, ostaju vidljivi njegovi najviši delovi, jarboli. Svi ovi delovi broda bivaju postepeno zaklonjeni Zemljinom sfernom krivinom. Suprotnim redosledom su vidljivi delovi broda pri njegovom kretanju ka obali.

Klaudije Ptolomej je živeo u Aleksandriji, tadašnjem centru nauke u svetu, u II veku. U



➊ **Prilozi 43.** Njutnov eksperiment sa viskom

Izvor: Đere, Bugarski 1996.



koji je dala Magelanova ekspedicija (1519-1522). Ona je bila neoboriv dokaz da je planeta Zemlja okrugla.

Savremeno doba beleži brojne dokaze za oblik Zemlje. Pogled na liniju horizonta, kada je pozicija posmatrača visoko iznad topografske površine, otkriva zakrivljenost površine Zemlje. Ovaj dokaz je moguće sprovesti pri letu avionom na velikim visinama u dobrim vremenskim uslovima, kada posmatrač ima priliku da vidi liniju horizonta.

Od pedesetih godina prošlog veka, nekoliko država u svetu učestvuju u "svemirskoj trci". Istraživanje Zemljine niske orbite, Meseca, planeta u Sunčevom sistemu, donelo je nove dokaze o loptastom obliku Zemlje. Fotografije Zemlje iz svemiskog NASA modula sa niske orbite oko Meseca (Apollo program u periodu 1969-1972) dokazuju da je Zemlja oblika lopte kao i ostale planete u Sunčevom sistemu. I danas, brojne fotografije sa Međunarodne svemirske stанице (International space station - ISS) koja orbitira oko Zemlje na prosečnoj visini od 400 kilometara, dokazuju loptast oblik planete Zemlje.

Dalja analiza oblika Zemlje, dovodi nas do zaključka da Zemlja nije idealna lopta. Naučne rasprave i razmišljanja na ovu temu, podsta-

➋ **Prilog 44.** Zakrivljenost Zemlje

Izvor: zmscience.com

klo je 1543. godine objavlјivanje dela "O kruženjima nebeskih sfera" Nikole Kopernika. Njegovi stavovi, objavljeni u ovoj knjizi, podstakli su brojne astronome i druge naučnike na dalja razmišljanja o obliku Zemlje, a krenuli su od pretpostavke da kretanja planete Zemlje sigurno ostavljaju posledice na oblik same planete. U teorijskom smislu, planeta Zemlja bi mogla biti lopta, idealan geometrijski oblik. Mogla bi biti izduženi sferoid koji je izdužen po osi rotacije i spljošten na ekvatoru ili obrnuto, spljošteni sferoid, koji je spljošten po polovima i izdužen po ekvatoru.

Do početka XVIII veka, u naučnim krugovima je prevladavalo mišljenje da je Zemlja izduženi sferoid (Terrall, 1992). Razmišljanja u drugom pravcu pokrenulo je objavlјivanje rezultata merenja sekundnim klatnom, koja je 1672-1673. godine izvršio francuski astronom Žan Rišar (Jean Richer) u Kajeni, tadašnjoj Francuskoj Gvajani. Primarni zadatak, koji mu je poverila Francuska akademija nauka, bilo je posmatranje Marsa. U svojim beleškama, koje je objavio 1679. godine, iznosi zapažanje da je pre merenja morao da skrati sekundno klat-



➋ **Prilozi 45 i 46.** Zakrivljenost horizonta Zemlje.

Izvor: u/imgbrigittemain.reddit; NASA - ISS



➌ **Slika 47.** "Earthrise", slika je nastala tokom misije Apollo 8; NASA - Apollo

no koje je doneo iz Pariza za 2,8 mm, na ovaj način je uspeo da uskladi sekundnu šetalicu sa mehaničkim satom i astronomskim posmatranjem.

Ovo je podstaklo Isaka Njutna da teorijski objasni ovu pojavu, a kao rezultat, 1687. godine, objavio je prvo izdanje dela "Matematički principi prirodne filozofije". Njutn u delu tvrdi da Zemlja ne može biti savršena lopta. Po Njutnu, merenja koja je izveo Rišar u Kajeni dokazuju da je Zemlja ispučena na ekvatoru, pozicija merenja Rišara je bila udaljenija od centra Zemlje nego u Parizu pa je i gravitaciono ubrzanje bilo manje. Istakao je i da se sa povećanjem geografske širine smanjuje uticaj centrifugalne sile na Zemlju. Na ekvatoru, centrifugalna sila je najjača na Zemlji dok na poziciji polova ona ima zanemarljiv uticaj. On je prepostavio da je Zemlja u svom formiranju bila u tečnom stanju i da je tada na poziciji ekvatora centrifugalna sila izvršila uticaj koji je za posledicu imao proširenje Zemlje, a na polovima se formirala blaga spljoštenost.

Kao dokaz za svoje uverenje pružio je astronomска posmatranja Flamsteda (John Flamsteed) i Kasinija (Gian-Domenico Cassini) Jupitera u kojima je zabeležena primetna spljoštenost ove planete na polovima (Greenberg, 1995). Njutnovi "Principi" su umnogome uticali na Kristijana Hajgensa (Christiaan Huygens), tada pedesetosmogodišnjeg holandskog naučnika (Snelders, H., A., M., 1989). Kao vrsni matematičar, fizičar i astronom, dokazao je da su merenja Rišara u Kajeni ispravna kao i

da je Njutn u pravu kada je u pitanju oblik Zemlje. Zainteresovanost Hajgensa za Rišarova zapažanja sa sekundnim klatnom verovatno proističu iz činjenice da je upravo Hajgens još 1657. godine konstruisao prvi mehanički sat sa klatnom. Hajgens je sproveo brojna merenja sekundnim klatnom na različitim geografskim širinama i ponovio rezultate Rišara. Došao je

do zaključka da vreme trajanja jednog klačenja zavisi od dužine klatna i gravitacionog ubrzanja i to u direktnoj proporciji, ukoliko je šetalica kraća onda je i gravitaciono ubrzanje manje i obrnuto. Iz ovoga proizilazi da je Kajena udaljenija od gravitacionog centra od Pariza što znači da je Zemlja na poziciji Kajene (ekvator) ispučena. Hajgens potvrđuje stav Njutna da je Zemlja spljoštena po polovima, ispučena na ekvatoru i da predstavlja spljošteni sferoid.

Naučna zajednica je sa skepsom posmatrala stavove i dokaze koje su izneli Njutn i Hajgens, a dodatnu sumnju je unela i objava rezultata merenja Žaka Kasinija (Jacques Cassini) iz 1718. godine, koji je merenjem meridijanskog stepena tehnikom triangulacije došao do zaključka da je Zemlja ipak izduženi sferoid po svojoj osovini (Terrall, 1992). Ovako oprečni stavovi naučnika prouzrokovali su žučne debate u Francuskoj akademiji nauka koje su trajale godinama. Da bi se razrešio spor, Francuski kralj Luj XV zajedno sa Francuskom akademijom nauka, šalje dve ekspedicije sa zadatkom da tačno izmere dužinu luka jednog meridijanskog stepena. Pre početka ekspedicija, izmerena je vrednost dužine kružnog luka jednog meridijanskog stepena u Parizu.

Od 1736. do 1737. godine, ekspedicija pod vođstvom Pjera Mapertijusa (Pierre Louise Moreau de Maupertuis) imala je zadatak da izmeri kružni luk meridijanskog stepena u blizini Severnog pola. Pored merenja stepena, članovi ekspedicije su bili primorani da se bore i sa izazovima surovih, prirodnih uslova Arktika (Fernie, 1991). Na zaledenoj reci Tornio izmerena je osnovna linija u dužini od 14,3 kilometara, pomoću koje je triangulacijom izračunata lučna dužina od jednog stepena na odgovarajućem meridijanu. Najjužnije mesto merenja bio je zvonik crkve Tornio, a najsevernija planina Kitisvara, koja se nalazi oko četiri kilometra severno od opštinskog centra, sela Pelo.

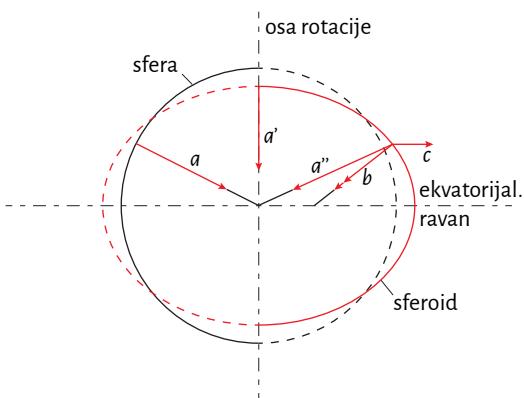
Po povratku u Pariz, Mapertijus je izvestio da je dužina kružnog luka jednog stepena u Laponiji definisana kao 57.437,9 toaza (francuska jedinica mere). Ovaj nalaz, u poređenju sa vrednošću od 57.060 na lokaciji blizu Pariza, pokazao je da je Zemlja spljoštena na svojim polovima. Ekspedicija je, pod vođstvom Šarla Kondamina (Charles Marie de la Condamine), dobila zadatak da u ekvatorijalnom pojasu, u da-



#### Prilog 48.

Mapertijusova karta doline reke Tornio sa iscrtanim linijama triangulacije Izvor: The Facta Encyclopaedia (Finland)

našnjem Ekvadoru, izvrši merenje. Ova ekspedija je u maju 1735. godine krenula iz Pariza, a u Kito (Ekvador) stižu u junu 1736. godine. Svoja merenja su završili 1739. godine kada su već bili poznati rezultati ekspedicije u Lapland, njihovi rezultati su potvrdili isto, Zemlja je izdužena na ekvatoru. Osnov za ova merenja daje geometrija. Linearna dužina kružnog luka od jednog stepena na lopti je svuda ista, na svakoj "geografskoj širini" upravo zato što su svi delovi lopte jednakoj udaljenosti od njenog centra. Na sferoidu, dužina kružnog luka od jednog stepena nije svuda ista i ona zavisi od udaljenosti merenog luka od centra sferoida.



**Prilog 49.**  
Sferoid i lopta,  
razlika u obliku  
i kao posledica  
i u širinskim  
stepenima  
Izvor: [ucl.ac.uk](http://ucl.ac.uk)

Na sferoidu, najmanja dužina kružnog luka je na mestu ispuštenja, gde krak ugla od  $1^\circ$  odgovara poluprečniku manjeg kruga u odnosu na loptu. Kod Zemlje to odgovara  $0-1^\circ$  sgš i jgš. Suprotno tome, na sferoidu najveća dužina kružnog luka od  $1^\circ$  odgovara mestu gde je najviše spljoštena lopta gde krak od tog ugla odgovara poluprečniku velikog kruga u odnosu na loptu. Kod Zemlje, to je  $89-90^\circ$  sgš i jgš. Kasnija merenja brojnih naučnika su potvrdila ove rezultate. Pjer Buge (*Pierre Boiguier*) je u periodu 1735-1745. izvršio brojna merenja gravitacionog ubrzanja. Na osnovu merenja je uspostavio gravimetrijske relacije vezane za promene gravitacijskog ubrzanja sa geografskom širinom i nadmorskom visinom. Sva merenja, brojne ekspedicije i njihovi rezultati, dali su nemerljiv doprinos na polju poznavanja oblika Zemlje za koji danas znamo da odgovara približno obliku sferoidu i da je prosečna dužina kružnog luka meridijanskog stepena 111 kilometara. Na ekvatoru je najmanja,  $0-1^\circ$  iznosi 110,567 kilometara, a na polovima najveća,  $89-90^\circ$  je 111,699 kilometara. Ovakav odnos kruž-

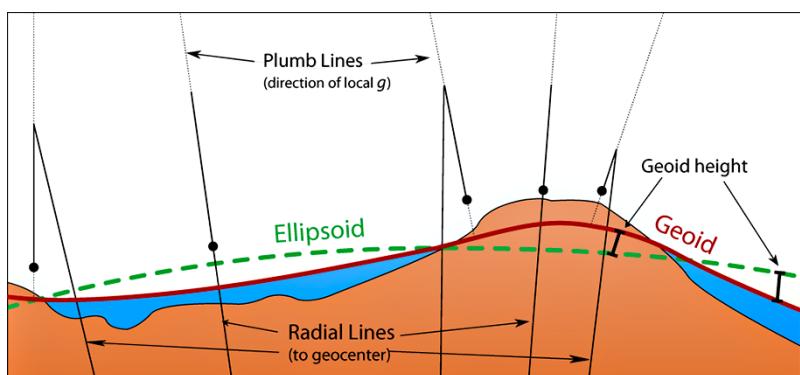
nih lukova jednog stepena je direktna posledica spljoštenosti Zemlje na polovima, a to dokazuju i poluprečnici, gde su polarni radijusi kraći i iznose 6.357 kilometara, a ekvatorijalni 6.378 kilometara.

Aleksis Klod Klero (*Alexis Claude Clairaut*) je bio aktivan učesnik ekspedicije sa Maper-tijusom u Lapland. Po dolasku u Pariz objavljuje spis "Teorija o obliku Zemlje" 1743. godine, koji je bio značajan zbog daljeg razvoja naučne misli o obliku Zemlje. U njemu dokazuje da fluid homogene mase, koji ravnomerno rotira oko ose rotacije koja ide kroz centar gravitacije usled uzajamnog privlačenja svojih čestica, po-prima oblik sferoida.

Dalja merenja i izučavanja oblika planete Zemlje usavršenim geodetskim, fizičkim i matematičkim metodama, donela su nova saznanja koja utemeljuju mišljenje da Zemlja nema oblik pravilnog, geometrijskog rotacionog elipsoida. Na oblik Zemlje u velikoj meri utiče unutrašnja građa planete, a ovo je u saglasnosti sa stavovima Kleroa koje je objavio davne 1743. godine. Ovaj stav je kao osnovu za svoja istraživanja uzeo i Gaus (*Johann Friedrich Gauss*), on je prvi izvršio apsolutna merenja Zemljinog magnetnog polja u smislu decimalnog sistema zasnovanog na tri metričke jedinice milimetar, gram i sekunda za dužine, mase i vreme. Gaus je razvio svoju teoriju o obliku i površini Zemlje i uveo "matematičku figuru Zemlje" koju je definisao kao glatku, ali nepravilnu površinu čiji je oblik rezultat neravnomerne raspodele mase unutar i na površini Zemlje (Vanicek, Krakiwsky, 1982; Torge, 1991). Ova Gausova definicija Zemlje je tačna, Zemlju zaista čini masa koja je nepravilno raspoređena što je direktna posledica nejednakih gustina. Dalje, nejednak raspored masa i njihova različita gustina uzrokuje nejednaku veličinu gravitacionog ubrzanja što se slaže i sa nalazi-ma Stoka (Stokes, 1849).

Theorijski, vrednost gravitacionog ubrzanja raste sa kvadratom sinusa geografske širine, a kao posledica toga, linije jednakog gravitacionog ubrzanja bi trebale biti poklopljene sa paralelama po geografskoj širini. U praksi, nije tako, a odstupanja mogu biti velika. Ovo je lako utvrditi uz pomoć jednostavnog instrumenta, visaka. Po istom uporedniku (paraleli), visak bi trebalo da ima isto vreme klaćenja. Ako visak

u klaćenju pokazuje nepravilnosti to jest, odstupa od vremena predviđenog klaćenja, to najverovatnije znači da na mernom mestu Zemlja odstupa od geometrijskog sfernog oblika. Uopšteno, kod sfernog geometrijskog tela astronomska vertikala (radijus Zemlje) se poklapa sa linijom gravitacionog ubrzanja. Usled nejednakih rasporeda masa unutar Zemlje kao i geomorfoloških varijacija, pravci lokalnog gravitacionog ubrzanja i astronomске vertikale Zemlje ne moraju biti poklopljeni, na takvim pozicijama se registruje odstupanje Zemlje od sfernog oblika. Ovo je uticalo na formiranje mišljenja da Zemlja odstupa od rotacionog elipsoida i da ima veoma nepravilan oblik koji odstupa od svih pravilnih geometrijskih tela. Ovom jedinstvenom obliku, koji ima planeta Zemlja, 1873. godine Listing (Johann Benedict Listing) je dao naziv geoid (Listing, 1873).



① **Prilog 50.** Odnos elipsoida i geoida  
Izvor: esa

Da bi definisali geoid, smatrali su da se njegova površina u delu iznad okeanskih baza nalazi ispod površine idealnog Zemljinog elipsoida za -150 metara, a u delu iznad kopna iznad za +50 metara. Ovako uprošćen pristup nije na najbolji način predstavio oblik geoida. Helmert (Friedrich Robert Helmert) je na osnovu ovoga zaključio da je geoid veoma sličan rotacionom elipsoidu i upravo zbog toga je Helmert predlagao da se približne dimenzije geoida mogu odrediti uz poštovanje sledećih uslova:

- rotacioni elipsoid mora da ima istu zapreminu kao geoid;
- njegovo geometrijsko središte mora da bude u tački Zemljine teže;
- manja osovina rotacionog elipsoida treba da je jednaka rotacionoj osovinii Zemlje.

Ako ispunjava ove uslove, ovaj rotacioni elipsoid je Helmert nazvao Zemljin elipsoid, a

1901. godine je izneo podatke o njemu sa greškom od svega 100 metara ili 0,002% (Tabela 21) od vrednosti Zemljinog poluprečnika.

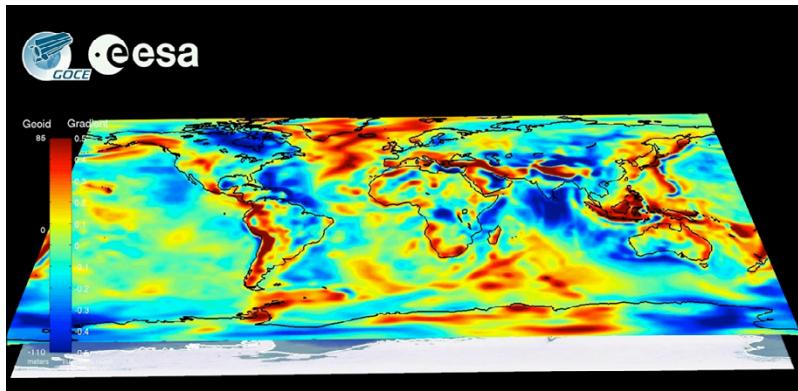
Nauka je na polju saznanja o obliku Zemlje mnogo napredovala u poslednjih sto pedeset godina, a ta saznanja su dovela do prepoznavanja novih problema u definisanju oblika naše planete. Savremenu i tačnu definiciju geoida je teško postaviti. Nacionalna geodetska agencija Sjedinjenih Američkih Država (National Geodetic Survey - NGS) definiše geoid kao: "Ekvipotencijalna površina Zemljinog gravitacionog polja koja najbolje odgovara, u smislu najmanjih kvadrata, globalnom srednjem nivou mora."

Ova definicija nije savršena. Na primer, altimetrija se često koristi za definisanje srednjeg nivoa mora u okeanim, ali altimetrija nije globalna, često nedostaju podaci za polarne oblasti. Zbog toga, poklapanje između "globalnog" srednjeg nivoa mora i geoida nije u potpunosti potvrđeno. Takođe, može doći do neperiodičnih promena nivoa mora (poput stalnog porasta nivoa mora), a to menja srednji nivo mora tokom vremena, posledično, a s obzirom na to, i geoid bi trebao takođe da se menja tokom vremena. Ovo su samo neke od poteškoća u definisanju geoida od strane NGS-a.

Evropska svemirska agencija (ESA) geoid definiše: "Geoid je definisan gravitacionim poljem Zemlje, to je površina jednakog gravitacionog potencijala. Prati hipotetičku površinu okeana u mirovanju (u odsustvu plime i oseke i struja).

Precizan model Zemljinog geoida je ključan za izvođenje tačnih merenja cirkulacije okeana, promene nivoa mora i dinamike kopnenog leda, na koje sve utiču klimatske promene." Američka svemirska agencija (NASA): "Geoid je definisan kao površina na kojoj su Zemljine privlačne (tj. gravitacione) sile svuda jednake, odnosno gravimetrijska ekvipotencijalna površina. Geoid je od fundamentalnog značaja u određivanju položaja na Zemljinoj površini jer se većina merenja vrši u odnosu na ovu površinu." I ove definicije imaju slične probleme kao i definicija NGS-a.

Najbolji prikaz geoida je u praksi dobijen od strane satelitskih merenja i snimaka kroz projekat GOCE (*The Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer*) Evropske svemir-



① **Prilog 51.** Površina

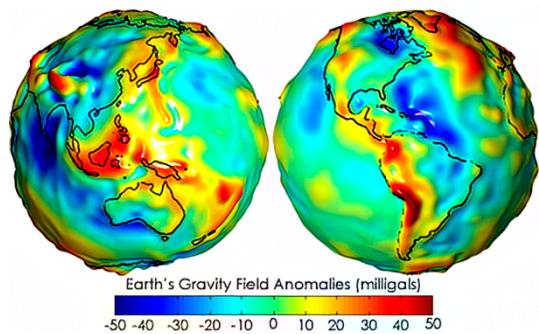
geoida, rezultat  
GOCE projekta

Izvor: esa

ske agencije koji meri Zemljino gravitaciono polje i modelira geoid sa izuzetno visokom preciznošću. Satelit je vršio merenja od 2009. do 2013. godine. Dobijeni rezultati sa izuzetnom preciznošću definišu oblik geoida.

Slični rezultati i vredni prikaz geoida dobijeni su preko GRACE (Gravity recovery and climate experiment) projekta NASA. Rezultat GRACE projekta su mape anomalija gravitacije koje pokazuju koliko se stvarno gravitaciono polje Zemlje razlikuje od gravitacionog polja jednolične Zemljine površine bez karakteristika. Anomalije ističu varijacije u jačini gravitacione sile nad površinom Zemlje. Anomalije gravitacije su često posledica neobične koncentracije mase u regionu. Prisustvo planinskih venaca obično uzrokuje da gravitaciona sila bude veća nego što bi bila na tom delu planete bez njih - pozitivna anomalijska gravitacija. Nasuprot tome, prisustvo okeanskih robova ili čak depresija u kopnenoj masi može izazvati negativne anomalije gravitacije.

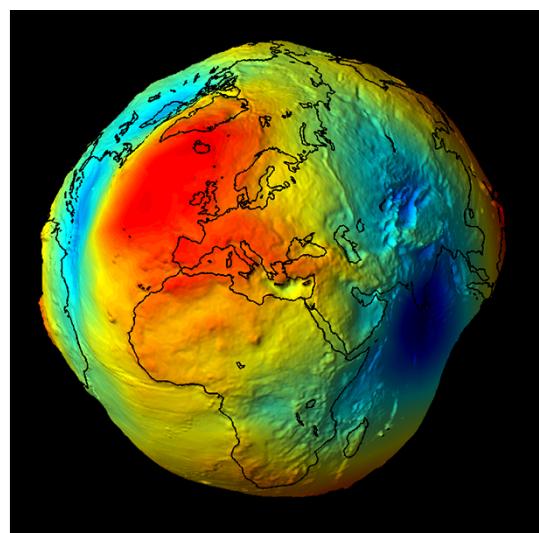
Na osnovu brojnih merenja, može se zaključiti da geoid odstupa od idealnog elipsoida do 106 metara i sa ukupnom amplitudom varijacije od 191 metara. Najviša tačka površine geoida u odnosu na površinu idealnog Zemljiniog elipsoida je zona oko Islanda (+85 m), a najniža tačka se nalazi u južnom delu Indije (-106 m).



① **Prilog 52.** Registrirane anomalije gravitacije na Zemlji, GRACE projekat

Izvor: earthobservatory.nasa.gov

Definisanje tačnog oblika geoida nije proces koji ima svoj kraj jer oblik planete Zemlje nije stalan. Tokom geološke istorije menjao se raspored i gustina Zemljine mase, reljef kao i sila gravitacionog polja. Možemo zaključiti da unutrašnja dinamika Zemlje direktno utiče na oblik geoida i da se on menja zajedno sa planetom.



① **Prilog 53.** Geoid, izdignuti (crvene površine) i spušteni delovi (plave površine)

Izvor: esa.int

## VELIČINA ZEMLJE

Veličina Zemlje je intrigirala ljudski rod od njegovog nastanka. Mnogi astronomi, matematičari, fizičari, naučnici i laici, znani i neznani su pokušali da izmere dimenzije planete Zemlje. Najjednostavniji i jedini logičan pri-

stup je merenje obima Zemlje preko meridijanskog kruga. Ovom metodom može da se dobije izvanredan rezultat, ali uz ispunjenje sledećih uslova: precizno merenje rastojanja između dve tačke na istom meridijanu i tačan premer

uglovnog rastojanja istih tačaka. Na osnovu ovih podataka može se izračunati meridijanski obim Zemlje, a iz obima i prečnika, površina i zapremina planete.

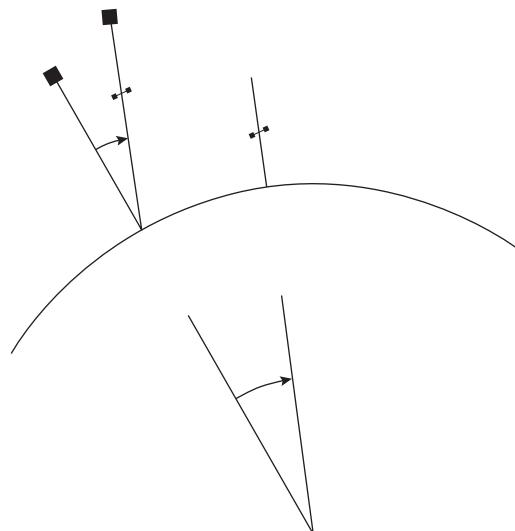
Prva procena veličine Zemlje vezana je za Eudoksa iz IV veka pre nove ere. Eudoks, matematičar i astronom je bio jedan od istaknutih Platonovih učenika, njegova dela nisu sačuvana u pisanom obliku, ali posredno, drugi naučnici iz kasnijih perioda pominju Eudoksova dostignuća. Eudoks je smatrao da je Zemlja sferno telo i da meridijan ima približnu dužinu od 70.000 kilometara.

U drugoj polovini IV veka pre nove ere starogrčki filozof Aristotel je prvi pokušao da izmeri obim Zemlje na ekvatoru. On je procenio da je obim Zemlje 400.000 stadija (73.225 km) (noaa.com). Tokom vremena, mnogi su iznosili svoje procene i rezultate proračuna, Platon je izneo podatak o 64.412 kilometara, Arhimed 48.309 kilometara, a istorija nije zabeležila metode koje su koristila ova dva matematičara.

Prvi, relativno tačan proračun, je dao Eratosten (276-194. pre nove ere), staroantički astronom iz današnje Kirene u Libiji, živeo i radio je u Aleksandriji. On je oko 240. pre nove ere izračunao da je obim Zemlje 252.000 stadija. Dužina koju je Eratosten koristio za jednu stadiju nije poznata, na osnovu prepostavki o dužini jedne stadije njegov rezultat ima grešku koja se kreće od 1% do 15% (Russo, 2004). Uz prepostavku da je vrednost jednog stadija između 155 i 160 metara, greška je između -2,4% i +0,8% (Russo, 2004). Eratosten je opisao svoju tehniku u knjizi pod naslovom "O meri Zemlje", koja nije sačuvana, ali kroz posredne izvore zna se da je postojala. Jedan od uslova je i taj da je Eratosten mogao da izmeri obim Zemlje samo uz prepostavku da je rastojanje do Sunca toliko veliko da su zraci Sunčeve svetlosti praktično paralelni (Lloyd, 1996).

Kako su originalni spisi, kao i knjiga izgubljeni, Eratostenov proračun je sačuvan na osnovu zapisa starogrčkog astronoma Kleomedea koji je zaslužan i za proračun Posejdona koji je takođe sačuvao od zaborava. Eratosten je analizirao položaj i udaljenost dva egipatska grada, Aleksandriju i Sijenu, savremenih Asuan, udaljenost između Sijene i Aleksandrije je bila 5.000 stadija (podatak koju su svake godine proveravali profesionalni bematisti). On pret-

postavlja pojednostavljenu (ali pogrešnu) hipotezu da je u Sijeni, u lokalno podne na letnji solsticij, Sunce bilo direktno iznad glave, isto kao u Aleksandriji. On postavlja pojednostavljenu (ali pogrešnu) hipotezu da su Sijena i Aleksandrija na istom meridijanu. Pod prethodnim prepostavkama, Kleomed piše da je Eratosten izmerio ugao Sunčevih zraka u podne tokom letnjeg solsticija u Aleksandriji, korišćenjem vertikalnog štapa (gnomona) poznate dužine i merenjem dužine njegove senke na tlu. Tada je izmerio ugao Sunčevih zraka oko  $7^\circ$ , ili oko 1/50 obima kruga. Uzimajući Zemlju kao sferičnu, Zemljin obim bi bio pedeset puta veći od udaljenosti između Aleksandrije i Sijene, odnosno 250.000 stadija. Pošto je jedna egipatska stadija jednaka 157,5 metara, rezultat je 39.375 kilometara.



**Prilog 54.** Geometrijska osnova Eratostenovog premera Zemlje

Eratostenov rezultat je izvanredan, a greška iznosi svega 1,4%. Eratostenov metod je zapravo bio komplikovaniji, kako navodi isti Kleomed, koji je predstavio uprošćenu verziju proračuna u odnosu na onu opisanu u Eratostenovoj knjizi. Metoda se zasnivala na nekoliko geodetskih putovanja koje su sproveli profesionalni bematisti, čiji je posao bio da precizno izmere obim teritorije Egipta u poljoprivredne i poreske svrhe (Russo, 2004). Činjenica da Eratostenova mera tačno odgovara 252.000 stadija, a "greška" sa pojavom broja 250.000 stadija može biti namerna, jer je to broj koji se može podeliti svim prirodnim brojevima.

ma od 1 do 10. Neki istoričari veruju da je Eratosten promenio vrednost na 250.000, koju je napisao i Kleomed, za pojednostavljenje proračuna (Rawlins, 1983), drugi istoričari nauke, s druge strane, veruju da je Eratosten uveo novu jedinicu dužine zasnovanu na dužini meridijana, kako navodi Plinije, koji o jednoj stadiji piše "po Eratostenovoj meri" (Russo, 2004).

Istorijski značaj Eratostenovog premera je nemerljiv. Analiza njegovog rada je vršena više puta tokom narednih više stotina godina, čak je Kristofor Kolumbo, 1.700 godina posle Eratostena, analizirao njegov premer veličine Zemlje pre nego što je krenuo ka Indiji ploveći na zapad. Na njegovu nesreću, odbacio je Eratostenov premer u korist drugih naučnika i njihovih mapa i premera čiji rezultati, zbog pogrešnih premera, pokazuju da je prečnik Zemlje za trećinu manji. Da je bilo drugačije, da je prihvatio premer Eratostena kao validan, možda Kolumbo nikada ne bi krenuo na zapad jer su njegove zalihe i finansijska sredstva pokrivali put do 8.000 milja (Hewitt, 2016).

Posejdonije (135-51. pre nove ere) je napravio premer Zemlje koji je u svojoj osnovi imao sličan model kao Eratosten. Umesto Sunce, Posejdonije je posmatrao zvezde, posebno zvezdu Kanopus u sazvežđu Pramac. Primetio je da ona nije vidljiva u drugim delovima Grčke već samo na Rodosu. Pretpostavlja se da je Posejdonije izmerio uglovnu visinu Kanopusa u Aleksandriji i Rodosu, koristeći podatak o rastojanju od Rodosa do Aleksandrije (5.000 stadija), izračunao je da je to 1/48 obima kruga, a ukupan obim Zemlje 240.000 stadija.

I u islamskom svetu su astronomija i matematika brzo napredovale. Razvijale su se na osnovu shvatanja o sfernoj Zemlji kao i znanjima iz helenističke astronomije. Islamski naučni okvir se oslanjao u velikoj meri na fundamentalne doprinose pre svega Aristotela i kasnije Ptolomeja čije premise o sfernoj Zemlji i geocentričnom sistemu čine osnov islamske astronomске nauke. Islamska nauka se razvijala pod uticajem praktičnih zadataka, merenje udaljenosti i pravaca od bilo koje tačke do Meke je bilo primarno da bi se odredila kibla, tj. pravac molitve, a ovaj zadatak je direktno uticao na ubrzani razvoj sferne trigonometrije (Hamidullah, 1982; King, 1993).

Oko 830. godine, kalif al-Mamun je naručio da se izmeri rastojanje od Tadmura (Palmyre) do Rake u modernoj Siriji. Grupa muslimanskih astronomata i geografa se prihvatile zadatka, a cilj je bio da se odredi dužina kružnog luka jednog stepena geografske širine. Dužinu su merili uz pomoć užeta za merenje udaljenosti, a kretali su se po ravnoj pustinjskoj površini sve dok nisu stigli do mesta gde se nadmorska visina Severnog pola promenila za jedan stepen. Al-Mamunov rezultat merenja luka je opisan u različitim izvorima kao  $66 \frac{2}{3}$  milje, 56,5 milja i 56 arapskih milja. Brojka koju je Alfraganus (*Abū al-‘Abbās Aḥmad ibn Muḥammad ibn Kathīr al-Farghānī*) koristio za osnovu svojih merenja je 56  $\frac{2}{3}$  milje, što daje obim Zemlje od 32.830 kilometara (Sparavagna, 2016).

Upravo je Kristofor Kolumbo nekritički koristio Alfraganov podatak o dužini meridijanskog stepena, ali kao da je u rimskim miljama umesto u arapskim, kako bi dokazao manju veličinu Zemlje od one koju je predlagao Ptolomej što ga je dovelo do brojnih problema na putovanju (Fernandez-Armesto, 1974). Ako se uzme da je rezultat merenja  $66 \frac{2}{3}$  milje, onda se za planetarni obim od 39.000 kilometara može reći, posebno kada se uzme u obzir metoda, da je dobijeni rezultat odličan.

Merenje dužine kružnog luka meridijanskog stepena je postalo standardna metoda u premeru obima Zemlje. Žan Fernel (*Jean François Fernel*) je u svom delu Kosmoteorija (1528) opisao premer dužine stepena luka meridijana, koji je napravio brojanjem obrtaja točkova svoje kočije na putovanju između Pariza i Amijena. Koristeći svoja merenja, izračunao je obim zemlje sa greškom od svega jednog procenta od tačne vrednosti. On je izračunao da je kružni luk jednog stepena meridijana dugačak 56.746 toisa odnosno 110.597,95 metara (Sherrington, 2014).

Godine 1615, Snelijus (*Willebrod Snellius*) je, posle Eratostena, verovatno prvi pokušao da izvede eksperiment velikih razmara za merenje obima Zemlje pomoću triangulacije (Torge, Müller, 2012). U svom delu *The terrae Ambitus vera kuantitate* (1617) pod pseudonimom *Hollandski Eratosten* Snelijus opisuje metode koje je koristio. Došao je do procene od 28.500 rajsinskih štapova (107,37 km) [9] za jedan stepen geografske širine. Pomnožio je 360 sa 107,37 i

dobio vrednost za obim Zemlje od 38.653 kilometara. Snelijus je u svom proračunu napravio grešku za 3,5%. Snelijus je došao do svog rezultata izračunavanjem rastojanja između većeg broja visokih tačaka u ravnici zapadne i jugo-zapadne Holandije koristeći triangulaciju. Da bi tačno izvršio ova merenja, Snelijus je napravio veliki kvadrant sa kojim je mogao precizno meriti uglove u desetinkama stepena.

Ovaj kvadrant se još uvek može videti u muzeju Boerhaave u Lajdenu. U mreži od četrnaest gradova izvršene su ukupno 53 triangulacije. U svojim proračunima Snelijus je koristio rešenje za ono što danas nazivamo Snelijus-Poteno problem.

Žan Pikar (*Jean Picard*) je izvršio prvo savremeno merenje meridijanskog luka 1669-1670. Izmerio je osnovnu liniju meridijana koristeći drvene šipke i teleskop, a logaritme je koristio za izračunavanje. Dobijeni rezultati su izvanredni, za obim 40.036 kilometara, a poluprečnik Zemlje 6.372 kilometara. Žan Domeniko Kasini (*Dan Domenico Cassini*), a onda njegov sin Žak Kasini (*Jacques Cassini*), nastavili su premere duž Pikardovog luka (deo pariskog meridijana) na sever do Denkerka i na jug do španske granice. Kasini je podelio izmereni luk na dva dela, jedan severno od Pariza i na drugi deo južno. Kada je izračunao dužinu po jednog stepena iz oba dela luka, zaključio je da je dužina jednog stepena geografske širine u severnom delu kraća od dužine u južnom delu. Ovaj premer, iako je doveo do pogrešnih rezultata koji su uzrokovali polemike oko oblika planete Zemlje kao i ekspedicije u Lapland i Peru, ostavio je značajnog traga u nauci zbog novokorišćenih trigonometrijskih metoda.

Prvo precizno trigonometrijsko istraživanje koje je sprovedeno u Britaniji bilo je istraživanje 1787. godine. Ovo merenje je deo anglo-francuskog istraživanja (1784-1790) tokom kog su geodetskom metodom triangulacije izmereni relativni položaji griničke i pariske observatorije. Finalni izveštaj (1790) ovog istraživanja je doneo tačne podatke o udaljenosti između Pariza i Griniča kao i preciznu geografsku širinu, dužinu i visinu britanskih triangulacionih tačaka.

Veliki napredak na polju triangulacionih merenja je napravljan nakon formiranja Struveovog geodetskog luka koga čini lanac

geodetskih triangulacija koji se proteže od Hamerfesta u Norveškoj do Crnog mora, kroz deset zemalja i preko 2.820 kilometara, što je dalo izuzetnu tačnost merenju meridijanskog luka. Geodetski lanac je uspostavio i koristio ruski naučnik nemačkog porekla Fridrik Struve (*Friedrich Georg Wilhelm von Struve*) od 1816. do 1855. da bi utvrdio tačnu veličinu i oblik Zemlje. U to vreme lanac je prolazio kroz samo tri zemlje: Norvešku, Švedsku i Rusko carstvo. Prva tačka lanca nalazi se u opservatoriji Tartu u Estoniji, gde je Struve sproveo veći deo svojih istraživanja. Triangulacioni lanac obuhvata 258 glavnih trouglova i 265 geodetskih tačaka. Najsevernija tačka se nalazi u blizini Hamerfesta u Norveškoj, a najjužnija u blizini Crnog mora u Ukrajini. Struveov geodetski lanac je



↑ **Prilog 55.** Struveov geodetski lanac

Izvor: UNESCO

2005. godine upisan na UNESCO listu Svet-ske baštine čovečanstva, zbog svog značaja u geodeziji i kao svedočanstva o međunarodnoj naučnoj saradnji. Struve je 1860. godine objavio rezultate merenja, između ostalih, izračunao je i ekvatorijalni radijus Zemlje, 6.378.360,7 metara, dok je za spljoštenost Zemlje (eliptičnost) dobio rezultat od 1:294,26.

U Francuskoj, početkom XIX veka, premer pariskog meridijana je nastavljen. Primećene su brojne greške tokom ranijih triangulacionih merenja. Godine 1870, Fransoa Perije (*François Perrier*) je bio zadužen za obnavljanje triangulacije između Denkerka i Barselone. Ovo novo istraživanje luka pariskog meridijana, koje je Aleksander Ros Klark (*Alexander Ross Clarke*) nazvao Meridijanski luk Zapadna Evropa-Afrika, sprovedeno je u Francuskoj i u Alžiru pod rukovodstvom Fransoa Perjea od 1870. do njegove smrti 1888. godine. Žan Antonin Leon Bassot (*Jean-Antoine-Léon Bassot*) je završio zadatak 1896. godine.

Prema proračunima centralnog biroa međunarodne asocijације na luku velikog meridijana

koji se proteže od Šetlandske ostrva, preko Velike Britanije, Francuske i Španije do El Aguata u Alžиру, ekvatorijalni poluprečnik Zemlje iznosio je 6.377.935 metara uz eliptičnost 1:299,15 (Hugh, 1911). Merenja u XIX veku su donela nove podatke o Zemlji, između ostalih i podatke o spljoštenosti (eliptičnosti) Zemlje. Brojni naučnici su pokušali da odredite dimenzije elipsoida i njegovu spljoštenost ali su se dobijeni rezultati umnogome razlikovali. Glavni uzrok su bile razlike u polaznoj osnovi izračunavanja, pre svih, razlike u dužini velike poluose Zemlje (poluprečnika po ekvatoru). Da bi se dobio podatak o spljoštenosti Zemlje ( $e$ ), neophodno je imati podatke o velikoj (a) i maloj (b) poluosovini Zemlje. Spljoštenost označava razliku između velike i male poluosovine Zemlje, podeljena sa velikom poluosovinom Zemlje.

$$e = (a - b) : a$$

Napredak na polju geodezije, savremeni instrumenti i nove matematičke metode, dopri-

**Tabela 21.** Rezultati premera Zemljinog elipsoida

| Izvor                      | Ekvatorijalni poluprečnik (km) | Polarni poluprečnik (km) | Spljoštenost Zemlje |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------------|
| P. I. M. Maupertuis (1738) | 6.397.300                      | 6.363.806,283            | 1 : 191             |
| G. Everest (1830)          | 6.377.299,365                  | 6.356.098,359            | 1 : 300,8           |
| G. B. Airy (1830)          | 6.377.563,396                  | 6.356.256,909            | 1 : 299,32          |
| F. W. Bessel (1841)        | 6.377.397,155                  | 6.356.078,963            | 1 : 299,15          |
| A. R. Clarke (1866)        | 6.378.206,4                    | 6.356.583,8              | 1 : 294,98          |
| A. R. Clarke (1880)        | 6.378.249,145                  | 6.356.514,870            | 1 : 293,46          |
| F. R. Helmert (1906)       | 6.378.200                      | 6.356.818,17             | 1 : 298,3           |
| J. F. Hayford (1910)       | 6.378.388                      | 6.356.911,946            | 1 : 297,0           |
| IUGG <sup>1</sup> (1924)   | 6.378.388                      | 6.356.911,946            | 1 : 297,0           |
| V. A. Heiskanen (1929)     | 6.378.400                      |                          | 1 : 298,2           |
| Keasovskij (1940)          | 6.378.245                      | 6.356.863,019            | 1 : 298,3           |
| WGS-66 <sup>2</sup> (1966) | 6.378.145                      | 6.356.759,769            | 1 : 298,25          |
| IAU <sup>3</sup> 1964      | 6.378.160                      | 6.356.774,719            | 1 : 298,25          |
| IUGG (1967)                | 6.378.157,5                    | 6.356.772,2              | 1 : 298,249         |
| WGS 72 (1972)              | 6.378.135                      | 6.356.750,52             | 1 : 298,26          |
| GRS 80 <sup>4</sup> (1980) | 6.378.137                      | 6.356.752,3141           | 1 : 298,257         |
| WGS 84 (1984)              | 6.378.137                      | 6.356.752,3142           | 1 : 298,257         |
| IERS <sup>5</sup> (1989)   | 6.378.136                      | 6.356.751,302            | 1 : 298,257         |
| IERS (2003)                | 6.378.136,6                    | 6.356.751,9              | 1 : 298,256         |

<sup>1</sup> Međunarodna unija geodezije i geofizike; <sup>2</sup> Svetski geodetski sistem; <sup>3</sup> Međunarodna astronomска unija; <sup>4</sup> Geodetski referentni sistem Međunarodne unije geodezije i geofizike; <sup>5</sup> Internacionalni Zemljin referentni sistem

neli su vanredno dobri rezultatima premera Zemlje tokom XX veka.

U drugoj polovini XX veka novi premeri Zemlje su bili sve precizniji, a greške manje. U to vreme, lokalni premeri su i dalje prisutni na državnim nivoima, ali se javlja i potreba za jednim globalnim premerom. Jedinstveni geodetski sistem za Zemlju postao je od suštinskog značaja polovinom pedesetih godina XX veka iz nekoliko razloga:

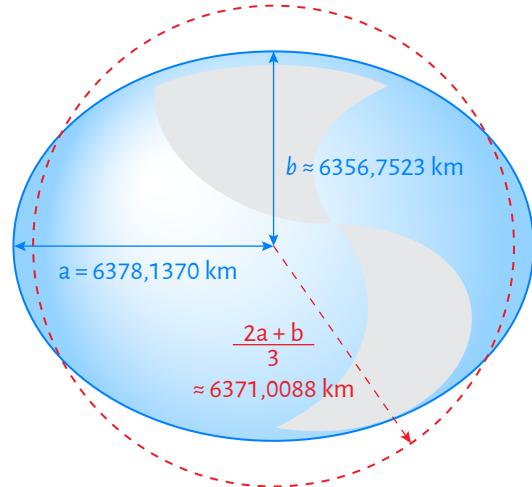
- Razvoj međunarodnih svemirskih aktivnosti i početak astronautike;
- Nedostatak usklađenih međukontinentalnih geodetskih informacija;
- Nemogućnost velikih geodetskih sistema, kao što su evropski datum (ED50), severnoamerički datum (NAD) i tokijski datum (TD), da obezbede globalnu osnovu geo-podataka;
- Potrebe za globalnim mapama za navigaciju, vazduhoplovstvo i geografiju;
- Vojna spremnost brojnih zapadnih država za hladni rat zahtevala je standardizovani geoprostorni referentni sistem za čitav NATO, u skladu sa NATO-ovim sporazumom o standardizaciji.

Krajem pedesetih godina prošlog veka, Ministarstvo odbrane Sjedinjenih Američkih Država, zajedno sa naučnicima iz drugih država, počelo je da razvija svetski sistem na koji bi se mogli uputiti geodetski podaci i uspostaviti kompatibilnost između koordinata široko razdvojenih geografskih lokacija. Zajednički naporovi američke vojske, mornarice i vazduhoplovstva doprinose razvoju prvog svetskog geodetskog sistema 1960 (World Geodetic System 1960 - WGS 60). Termin datum, kako se ovde koristi, odnosi se na glatku površinu donekle proizvoljno definisanu kao nultu nadmorskiju visinu, u skladu sa ostalim geodetskim merašima, pre svih rastojanjima između različitih tačaka i razlika u nadmorskim visinama i sve svedeno na mrežu geografskih širina, dužina

i nadmorskih visina. U kasnijem periodu, isti sistem je korigovan više puta, 1966. (WGS 66) i 1972. godine (WGS 72).

Početkom osamdesetih godina prošlog veka javila se potreba za novim izmenama u svetskom geodetskom sistemu od strane geodetske zajednice, kao i od strane američkog Ministarstva odbrane. WGS 72 više nije pružao dovoljno podataka, informacija, geografske pokrivenosti ili tačnosti. Napredak tehnologije omogućio je savremena merna sredstva za pravljenje novog WGS-a koja su doprinele poboljšanju kvaliteta podataka, povećanoj pokrivenosti podacima, novim tipovima podataka i poboljšanim tehnikama. Novi svetski geodetski sistem nazvan je WGS 84, to je referentni sistem koji koristi Globalni sistem pozicioniranja, geocentričan je i globalno konzistentan.

Referentni elipsoid WGS 84 je zasnovan na elipsoidu GRS 80, Geodetski referentni sistem Međunarodne unije geodezije i geofizike, i sadrži vrlo malu varijaciju u inverznom spljoštenju, pošto je izведен nezavisno, a rezultat je zaokružen na nešto veći decimalni broj. Ovo je rezultiralo malom razlikom od svega 0,105 milimetara u maloj poluosu (Tabela 6.2) (Hooijberg, 2007).



↑ **Prilog 56.** Zemljin elipsoid po WGS 84

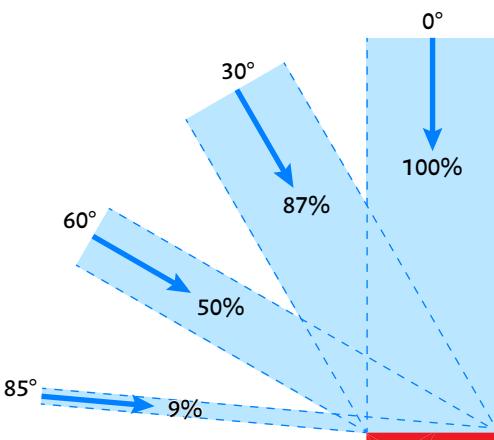
**Tabela 22.** Odnos GRS 80 i WGS 84.

| Elipsoid | Velika poluosovina (m) | Mala poluosovina (m) | Spljoštenost (1 : ...) |
|----------|------------------------|----------------------|------------------------|
| GRS 80   | 6.378.137,0            | ≈ 6.356.752,314140   | 298,257222100882711... |
| WGS 84   | 6.378.137,0            | ≈ 6.356.752,314245   | 298,257223563          |

## POSLEDICE LOPTASTOG OBLIKA ZEMLJE

Posledice loptastog oblika Zemlje su značajne i umnogome utiču na uslove na planeti. Najvažnije su dve, stvaranje uslova za formiranje toplotnih pojaseva i stalni pravci strujanja vazdušnih masa. Zemlja kao planeta konstantno dobija približno istu količinu energije sa Sunca, prosečno iznosi  $1367 \text{ W/m}^2$  (solarna - Sunčeva konstanta). Sunčeva konstanta uključuje sve vrste elektromagnetskog zračenja, ne samo vidljivu svetlost. Prosečna vrednost od  $1,367 \text{ kW/m}^2$  (mereno sa satelita) neznatno se menja sa Sunčevim ciklusima. Vrednost solarnе konstante, na gornjem delu atmosfere (termopauza), menja se u toku godine za 6,9%. Početkom godine (januar) ona iznosi  $1.412 \text{ kW/m}^2$ , dok polovinom godine (jun) je ona oko  $1.321 \text{ kW/m}^2$ , što je posledica promene udaljenosti Zemlje od Sunca. Ako se posmatra cela Zemlja, koja ima površinu poprečnog preseka od  $127.400.000 \text{ km}^2$ , ukupna primljena energija sa Sunca iznosi  $1.740 \times 10^{17} \text{ W, } \pm 3,5\%$ . Pored toga, Sunčeva konstanta se menja i tokom Sunčevih ciklusa, ali su ove promene neznatne i iznose svega 0,1%. Sama površina planete prima manju količinu energije i ona direktno zavisi od trajanja i intenziteta zračenja i od nagnutosti tj. inklinacije Sunčevih zraka. Energija sa Sunca stiže zracima koji prelaze udaljenost od blizu 150 miliona kilometara (1 AU) i zbog toga na Zemlju stižu u snopovima paralelno, a ne radijalno - zrakasto. Kada stignu do Zemlje, pod različitim upadnim uglovima dolaze do površine planete. Postoji zavisnost između upadnih uglova zraka (površine zagrevanja) i intenziteta zagrevanja. Tu zavisnost definiše

$$\text{Lambertov zakon: } E_\theta = E \cdot \cos(\Theta)$$



### Prilog 57.

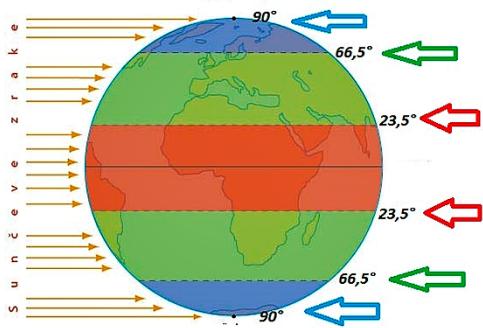
Grafički prikaz  
Lambertovog  
zakona

Lambertov (Johann Heinrich Lambert): intenzitet zračne energije je direktno proporcionalan kosinusu upadnog ugla pod kojim zraci padaju na ravnu površinu.

Upadni uglovi Sunčevih zraka su promenjiva kategorija i menja se u odnosu na geografsku širinu što je posledica zakrivljenosti Zemljine površine. Drugi razlog promene upadnih uglova zraka su dnevne i sezonalne promene u visini Sunca iznad horizonta. Zbog zakrivljenosti Zemljine površine dolazi do nejednakog zagrevanja površine planete, delovi planete oko ekvatora se najviše zagrevaju, a idući prema severu i jugu, zagrevanje se smanjuje. Ovo uzrokuje pojavu toplotnih pojaseva na Zemlji. Ako se posmatra zaključenost Zemlje, Sunčevi zraci, polazeći od ekvatora prema polovima, padaju pod sve manjim uglovima. U zoni ekvatora, upadni uglovi Sunčevih zraka su veliki, a ozračena površina mala i time je zagrevanje u ovoj zoni veliko. U blizini polova upadni uglovi zraka su mali, ozračene površine velike i zagrevanje je malo.

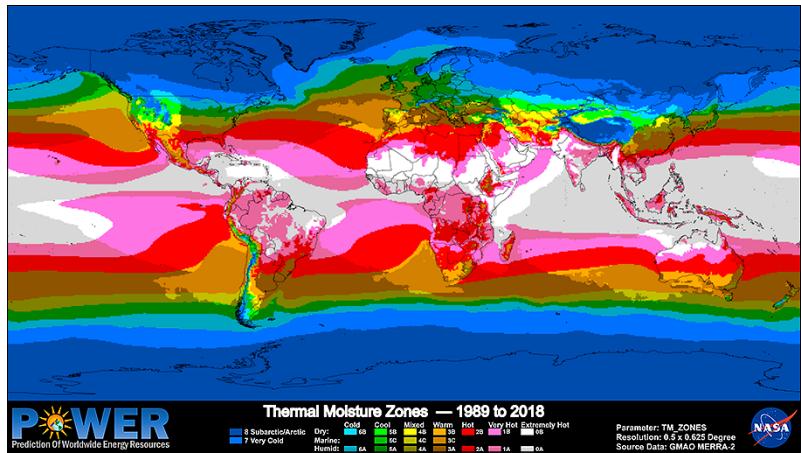
Iako su granice između pojaseva postavljene na osnovu nagiba planete koji utiče na prividno godišnje kretanje Sunca iznad horizonta, stvarne granice između pojaseva nisu jasno definisane i precizne, njihov položaj varira pod uticajem mnogih faktora kao što su položaj kopna i mora, strujanje vazdušnih masa, geomorfološke i biogeografske karakteristike kopna, eksponcija terena i dr. Usled promene u visini Sunca iznad horizonta, nastaju dnevne i sezonalne promene u intenzitetu zagrevanja. Ovo je uzrokovano nagibom Zemljine osovine prema ekliptici zbog čega je i dnevna kao i raspodela Sunčeve energije tokom godine znatno složenija.

I druga posledica loptastog oblika Zemlje je klimatskog karaktera. Vazdušne mase koje struje meridijanskim pravcem, ako idu ka severu ili jugu, u zoni polova dolazi do njihovog nagomilavanja. Suprotno, prilikom njihovog spuštanja na manje geografske širine, one se konstantno razređuju, a u zoni ekvatora je njihovo širenje najizraženije. Ovo je logična posledica loptastog oblika Zemlje gde se kružni luk uporedničkog stepena smanjuje sa povećanjem geografske širine. Na ekvatoru, kružni



Prilozi 58. i 59. Toplotni pojasevi na Zemlji

Izvor: [nasa.com](http://nasa.com)



luk uporedničkog stepena je dužine 111,1 kilometara dok je već na 45° severne i južne geografske širine dužina luka znatno smanjena i iznosi 78,6 kilometara ([sco.wisc.edu](http://sco.wisc.edu)). Ova osobina utiče na karakteristike globalnih vazdušnih kretanja na Zemlji.

Ako posmatramo stalne vetrove meridijanskog pravca, pasati ili polarni vetrovi koji stižu u niže geografske širine se postepeno razređuju. Suprotno tome, sva kretanja prema severu ili jugu ka većim geografskim širinama, uzrokuju nagomilavanje vazdušnih masa. Globalna cirkulacija vazdušnih masa, raspored antiklonalnih i ciklonalnih zona, zone zagrevanja i hlađenja vazdušnih masa se većinom odvijaju u zoni pasatskih, zapadnih i polarnih vetrova, a u formiranju tih zona ključnu ulogu ima loptast oblik planete Zemlje ali i njena rotacija. Nagomilavanje nije samo vezano za vazdušne mase, voda u vodenim strujama se ponaša na isti način, nagomilava se u kretanju ka višim geografskim širinama i obrnuto, razređuje se u kretanju ka nižim geografskim širinama.

Tabela 23. Dužina kružnog luka uporedničkog stepena po geografskoj širini

| Geografska širina | kružni luk $1^{\circ}$ km | kružni luk $1^{\circ}$ m |
|-------------------|---------------------------|--------------------------|
| $0^{\circ}$       | 111,1                     | 111.111,1                |
| $15^{\circ}$      | 107,3                     | 107.325,1                |
| $30^{\circ}$      | 96,2                      | 96.225,0                 |
| $45^{\circ}$      | 78,6                      | 78.567,4                 |
| $60^{\circ}$      | 55,6                      | 55.555,6                 |
| $75^{\circ}$      | 28,2                      | 28.757,7                 |
| $90^{\circ}$      | 0                         | 0                        |

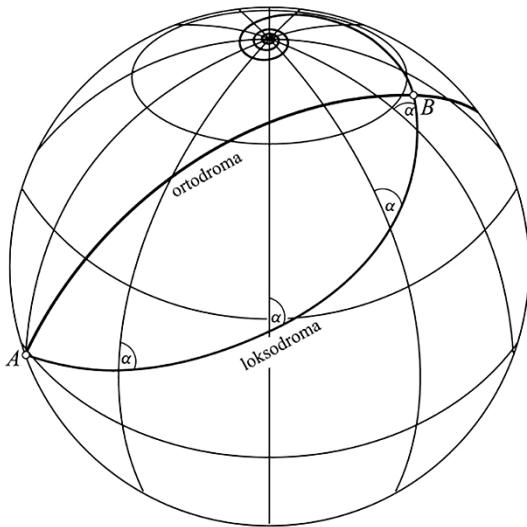
Izvor: [sco.wisc.edu](http://sco.wisc.edu)

Loptast oblik Zemlje utiče i na karakter horizonta. Kružni oblik horizonta, kao i njegovo povećanje sa porastom nadmorske visine tačke stojišta posmatrača, je posledica loptastog oblika planete Zemlje. Takođe, slična posledica loptastog oblika Zemlje je i širenje vidika sa povećanjem nadmorske visine stojišta posmatrača.

Posledica loptastog oblika Zemlje je i karakteristično merenje udaljenosti po površini. Na sfernim površinama, udaljenosti se drugačije mere nego na ravnim površinama gde je najkraći put između dve tačke ravna linija. Ortodroma (grč. ὁρθοδρομεῖν = kretati se ravno) je najkraći put između dve tačke na Zemaljskoj kugli, tj. na sferi. Obim ortodrome jednak je obimu sfere, to znači da su svi meridijani na Zemlji ortodrome, kao i ekvator. Ostale paralele to nisu, jer opisuju manje kružnice kojima središte nije u središtu sfere.

Na mnogim kartografskim projekcijama, uključujući najzastupljeniju Mercatorovu, put ortodrome čini se dužim. Loksodroma (grč. Λοξός = kos, i δρόμας = put) je kriva linija koja preseca sve meridijane pod istim uglom, ovim se održava isti kurs pri kretanju. Na konformnim kartografskim projekcijama – onima koje verno prikazuju uglove (npr. Mercatorova), loksodrome su ravne linije te se put po loksodromi čini najkraćim. Ipak, to nije tako. Ako posmatramo razdaljinu između dve tačke na površini Zemlje, što je veća razdaljina između dve tačke, povećava se i put po loksodromi u poređenju sa razdaljinom po ortodromi.

Oba pravca su veoma važni u praksi, a njihov značaj je najveći u pomorskom i avio saobraćaju. Ortodroma je pravac kojim lete avioni,



**Prilog 60.**  
Ortodroma i  
loksodroma

njima kopno ne predstavlja problem, a putovanjem najkraćim pravcem se smanjuju troškovi za gorivo kao i vreme putovanja. Kod brodskog saobraćaja je dugo bila dominantna loksodroma, kretanjem po njoj pomorci stalno održavaju isti kurs pa je plovidba lakša na polju navigacije. Ukoliko bi pomorci hteli da putuju po najkraćem pravcu, po ortodromi, to bi zahtevalo stalno korigovanje kursa na brodskim

kartama zato što ortodroma seče svaki meridian pod drugim uglom. Prednost ortodrome u pomorstvu je u prošlosti bila manje izražena zbog sporijeg putovanja i nerazvijenosti pomorskog saobraćaja.

Savremena plovidba brodovima koji imaju ogromne nosivosti, gde su vreme plovidbe i potrošnja goriva ključne stavke, značaj ortodrome u pomorstvu je sve veći. Ali, čak i danas na nekim delovima planete se u pomorskom saobraćaju izbegava plovidba po ortodromi. U severnim delovima Atlantskog okeana ili u Beringovom moru, brodovi i dalje plove po loksodromi. Na ovim velikim geografskim širinama, putovanje po ortodromi bi zahtevalo zalazak brodova u još više, hladnije geografske širine gde je opasnost pri plovidbi veća zbog učestalije pojave leda, a sve to zbog uštede od svega par desetina do stotinu kilometara. U ovom slučaju, moreplovci često na prvo mesto stavljaju bezbednost plovidbe u odnosu na uštedu. Najveće uštede pri plovidbi po ortodromi se postižu na malim geografskim širinama pri prelasku velikih vodenih površina, najčešće plove po njoj brodovi pri prelasku Tihog okeana.

## LITERATURA

- Fernie, J. D. 1991. Marginalia: The shape of the Earth. *American scientist*, 79, 2, 108-110.
- Fernández-Armesto, F. 1974. Columbus and the Conquest of the Impossible. Phoenix Press.
- Greenberg, L. J. 1995. Isaac Newton and the Problem of the Earth's Shape, *Archive for History of Exact Sciences*, Vol. 49, No. 4 (December 1995), pp. 371-391.
- Grant, E. 1974. A source book in medieval science. Harvard University Press.
- Hooijberg, M. 2007. Geometrical Geodesy: Using Information and Computer Technology. Germany: Springer Berlin Heidelberg. p. 20
- Hewitt, G. P. 2016. Focus on physics: when our round Earth first measured. *The Science Teacher*, 83, 6, 10-12.
- Hugh, C., ed. 1911. "Earth, Figure of the". *Encyclopædia Britannica*, 8, Cambridge University Press. p. 811.
- Terrall, M. 1992. Representing the Earth's shape: the polemics surrounding Maupertuis's expedition to Lapland. *Isis*, 83, 2, 218-237.
- Torge, W., Müller, J. 2012. Geodesy. De Gruyter.
- Thurston, H. 1994. Early Astronomy. Springer, New York.
- Rawlins, Dennis (1983). "The Eratosthenes-Strabo Nile Map. Is It the Earliest Surviving Instance of Spherical Cartography? Did It Supply the 5000 Stades Arc for Eratosthenes' Experiment?". *Archive for History of Exact Sciences*. 26 (3): 211-219.
- Russo, L. 2004. The forgotten revolution. Springer, Berlin.
- Lloyd, G. E. R. 1996. Adversaries and authorities: Investigations into ancient Greek and Chinese science. Cambridge University Press.
- Sherrington, C. 2014. The Endeavour of Jean Fernel. Cambridge University Press. p. 136.

- Snelders, H. A. M. 1989. Christiaan huygens and Newton's theory of gravitation. Notes and Records of the Royal Society of London, Vol. 43, No. 2, Science and Civilization under William and Mary (Jul., 1989), 209-222.
- Stokes, G. G. 1849. On the variation of gravity at the surface of the Earth. Transactions of the Cambridge Philosophical Society, Vol. 8, p. 672.
- Sparavagna, A. 2016. Al-Biruni and the Mathematical Geography. Philica, 443.
- King, A. D. 1993. Astronomy in the service of islam. Routledge, pp 352.
- Torge, W. 1991. Geodesy. Walter de Gruyter, Berlin, 264 pp.
- Kanet, T. 1963. Matematička geografija, Sarajevo.
- Kornel, Đ., Bugarski D. 1996. Matematička geografija, Novi Sad.
- Harper, L. W. 2011. Issac Newton's scientific method: turning data into evidence about gravity and cosmology. Oxford University Press.
- Hamidullah, M. 1982. L'Islam et son impulsion scientifique originelle. Revue tiers monde, 92, 785-790.
- Jones, H., L., Sterrett, J., R., S. 1917-1961. The Geography of Strabo. Loeb Classical Library, 49, 50, 182, 196, 211, 223, 241, 267, London.
- Jovanović, V., Đurđev, B., Srdić, Z., Stankov, U. 2012. Geografski informacioni sistemi. Univerzitet Singidunum, Beograd, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
- Listing, J. B. 1872. Über unsere jetzige Kenntniss der Gestalt und Grösse der Erde: Aus den Nachrichten der K. Ges. der Wiss. Dieterich.
- Vanicek, P., Krakiwsky, J. E. 1982. Geodesy: The Concepts. Amsterdam, Elsevier.
- Vušović, N., Srvkota, I., Vaduvesković, Z. 2012. Prostorni referentni sistemi. Rudarski radovi, 3. [www.esa.int](http://www.esa.int)
- [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)
- [www.earthobservatory.nasa.gov](http://www.earthobservatory.nasa.gov)
- [www.earthdata.nasa.gov](http://www.earthdata.nasa.gov)
- [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)
- [www.ucl.com](http://www.ucl.com)
- [www.ocenservice.noaa.gov](http://www.ocenservice.noaa.gov)
- [www.geodesy.noaa.gov](http://www.geodesy.noaa.gov)
- [www.sco.wisc.edu](http://www.sco.wisc.edu)

# ORIJENTACIJA

Reč orijentacija ima poreklo u francuskom jeziku od reči *orienter* koja potiče od latinske reči *oriens* koja znači pravac izlaska Sunca, pravac istoka. U istoriji ovaj pravac je dugo bio najznačajniji, do kraja srednjeg veka većina geografskih karti bila je usmerena ka istoku, a sakralna arhitektura uzimala je pravac istoka kao jedan od važnijih parametara pri gradnji objekata.

Geografska orijentacija podrazumeva određivanje pravca severa, a potom i ostalih glavnih strana sveta. Položaj sa kog se osmatra okolina naziva se stojište, a prostor koji vidimo sa pozicije stojišta je vidik. Vidik je ograničen vidikovom linijom iznad koje se nalazi nebeski svod. Vidikova linija ima oblik kruga na pučini mora i na velikim ravnicama dok na terenima sa izraženim reljefnim uzvišenjima ima oblik zatvorene, nepravilne linije.

U oba slučaja, vidikova linija zatvara kružnicu koja iviči površinu koja ima karakter ravnih koji nazivamo ravan horizont, linija kojom je razdvojen od nebeske sfere, naziva se linija horizonta. Pravi horizont je zatvoren linijom horizonta koja se poklapa sa linijom pravilnog kruga. Vidljivi horizont je oivičen linijom koja je nepravilna i koja ide preko reljefnih ili drugih uzvišenja. Kod određivanja položaja nebeskih tela koristi se astronomski horizont koji je takođe ravan, ali koji je paralelan sa ravnim koja prolazi kroz centar Zemlje.

U odnosu na stojište posmatrača, svakom objektu na vidiku se može odrediti pravac i položaj. Da bi se odredio položaj objekta, njegova pozicija se dovodi u odnos sa stalnim i nepromjenjivim pravcima. Stari narodi su pravac izlaska Sunca smatrali za glavni pravac na horizontu. Na latinskom, mesto ali i smer izlaska Sunca naziva se *oriens*, suprotno njemu,

mesto zalaska Sunca kao i smer zalaska, *occidens*. Kada je Sunce u najvišoj tački iznad stojišta posmatrača, smer prema njemu je *meridies* (sredina dana, podne), a njemu suprotan smer je *arktos*, koji odgovara smeru sazvezđa Malog medveda. Smer *oriens* odgovara istoku, *occidens* zapadu, *meridies* jugu i *arktos* severu.

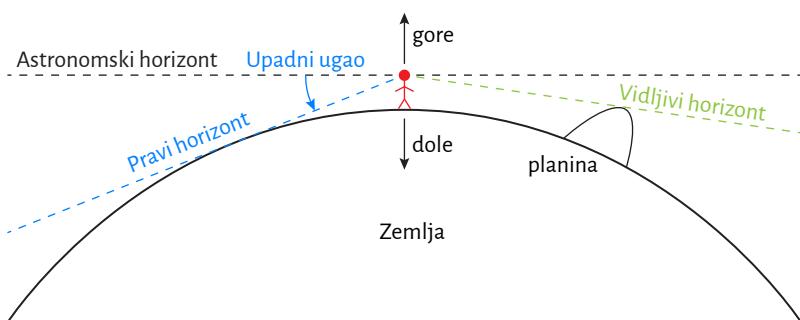
Usled prividnog godišnjeg kretanja Sunca na horizontu, tačke izlaska i zalaska Sunca menjaju svoje položaje tokom godine. Samo tokom ravnodnevice (ekvinocijske) Sunce izlazi na pravoj tački istoka i zalazi na pravoj tački zapada. Samo tada je moguće odrediti tačan pravac istok - zapad. U odnosu na ovaj pravac, pod uglom od  $90^\circ$  nalazi se pravac sever - jug. Linija koja spaja tačku severa sa tačkom juga i prolazi kroz stojište naziva se meridijan stojišta ili podnevačka linija, ona deli vidik na dva dela, istočni i zapadni deo vidika.

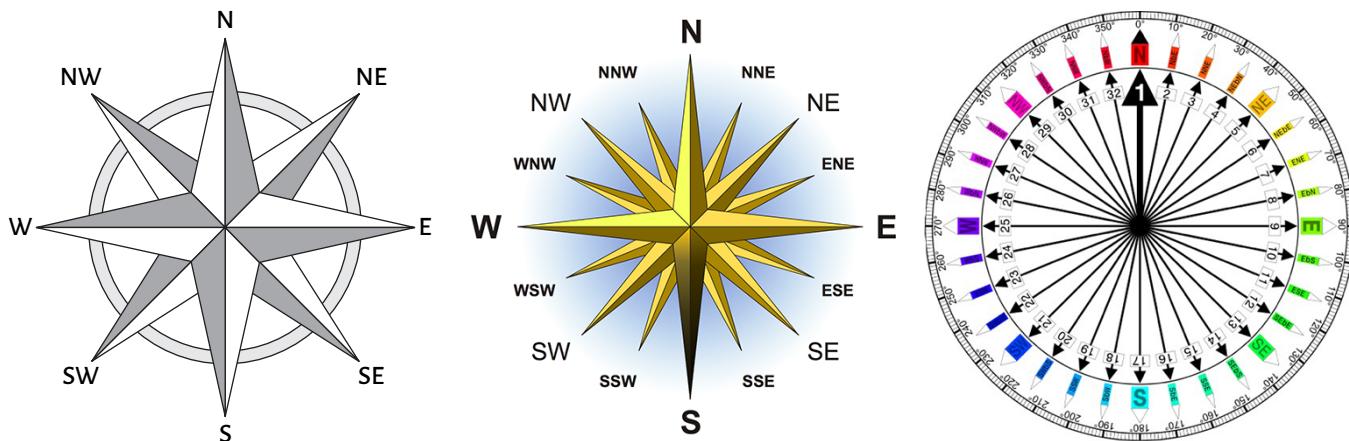
Posmatrajući horizont sa pozicije stojišta, na njemu se mogu odrediti četiri glavne tačke koje su i glavne strane sveta, a označavaju se međunarodnim oznakama koje su početna slova engleskih reči: North - sever (N), East - istok (E), South - jug (S) i West - zapad (W), između ovih tačaka je ugaoni razmak od  $90^\circ$ . Osim četiri glavne tačke, postoje i četiri pomoćne tačke, severo-istok (NE), jugo-istok (SE), jugo-zapad (SW) i severo-zapad (NW). Uz pomoć glavnih i pomoćnih tačaka, horizont je podeljen na četiri pravca sa osam smerova između kojih je ugaoni razmak od  $45^\circ$ .

Krug horizonta podeljen na dva pravca sa četiri osnovna smera i dva pravca sa četiri pomoćna smera naziva se ruža vetrova. Ruže vetrova mogu imati i više tačaka i pravaca. Ruže vetrova obično imaju 8, 16 ili 32 tačke.

Pomoćne strane sveta dobijaju ime po stranama sveta između kojih se nalaze, prvo se navodi ime važnije strane, a zatim strane nižeg

## Prilog 61. Tri tipa horizonta





➊ Prilozi 62, 63. i 64. Tri ruže vetrova, sa 8, 16 i 32 tačke

ranga. Na primer, između severa (N) i severoistoka (NE) može se postaviti još jedna tačka sa smerom sever-severoistok (NNE), a između istoka i severoistoka se nalazi istok-severoistok (ENE).

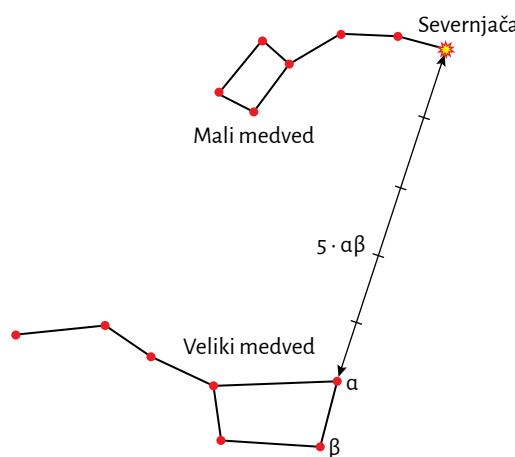
Određivanje strana sveta može se vršiti uz pomoć prirodnih pojava ili uz upotrebu instrumenata. Tokom noći, orijentacija je moguća pomoću zvezda. Tokom vedrih noći, sa severne polulopte Zemlje moguće je videti zvezdu Severnjaču (Polaris), njen položaj se poklapa sa pozicijom severa na horizontu i odatle i nosi svoj naziv. Severnjača se nalazi u vrhu repa asterizma Mala kola koga čine sedam sjajnih zvezda, koje su deo sazvežđa Mali medved (Ursa Minor).

Da bi se pronašla Severnjača, najlakše je prvo prepoznati na nebeskom svodu asterizam Velika kola koja su deo sazvežđa Veliki medved, a nalaze se nisko na nebeskoj sferi. U položaju dve poslednje zvezde  $\alpha$  - Dubhe i  $\beta$  - Merak Velikih kola (Prilog 7.3), njihovo rasto-

janje umnoženo pet puta treba preneti u nastavak njihovog pravca. Ovaj pravac vodi do poslednje zvezde rude Malih kola, to jest, zvezde Severnjače. Orientacija u prirodi je moguća i uz pomoć prirodnih karakteristika drveća te položaja mahovine, gljiva ili lišaja. Ipak, orijentaciju uz pomoć ovih metoda treba uzeti sa rezervom zbog brojnih faktora koji mogu da utiču na položaj i karakteristike biogenih struktura koji onda utiču na kvalitet rezultata orijentacije.

U antičkom svetu, za određivanje glavnih tačaka na horizontu, ali i za određivanje geografske širine, vremena kao i visine Sunca, korишćen je gnomon. Predstavlja jedan od najstarijih astronomskih instrumenata i ima izuzetno jednostavnu konstrukciju. Čini ga ravna ploča na kojoj je pod pravim uglom vertikalno postavljen štap na čijem vrhu je kugla, kružni otvor ili neki drugi marker. Postavljanjem gnomona u stojište, mogu da se dobiju mnoge informacije koje su od izuzetne važnosti za orijentaciju. Senka štapića gnomona tokom dana menja pravac kao i svoju dužinu, senka je najduža u trenutku izlaska i zalaska Sunca. Kada je Sunce najviše iznad stojišta, senka je najkraća, tada se ona poklapa sa podnevačkom linijom stojišta i moguće je tačno odrediti pravac sever - jug, a naknadno i sve druge strane sveta.

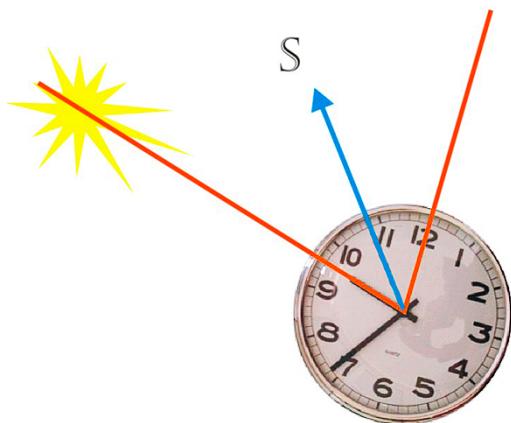
Gnomon predstavlja osnovu za konstrukciju sunčanih satova. Visina Sunca kao i pojedinih sazvežđa iznad horizonta je bila osnov orijentacije uz pomoć brojnih instrumenata kao što su kamal, astrolab, kvadrant, oktant, sekstant... Orientacija je moguća i uz pomoć ana-



➋ Prilog 65. Položaj zvezde Severnjače

• **Prilog 66.**

Orijentacija uz pomoć sata



• **Prilog 67.**

Orijentacija uz pomoć sekstanta



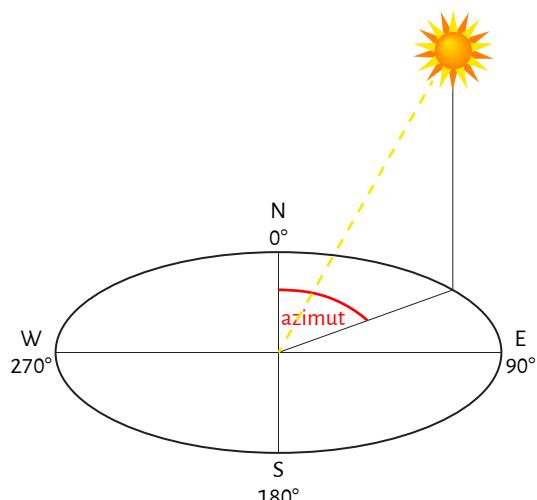
lognog sata. Sunce prividno jednom obiđe Zemlju za 24 sata, za isto vreme, satna kazaljka napravi dva kruga na analognom satu. Satna kazaljka se usmeri prema Suncu i taj pravac je jedna strana ugla, dok je druga strana ugla pravac od centra sata ka broju ili markeru na poziciji 12 na satu. Pravac simetrije između ova dva kraka ugla pokazuje stranu juga ako se stojište nalazi na severnoj polulopti ili stranu severa ako se stojište nalazi na južnoj polulopti. Ova metoda daje izvanredne rezultate, ali treba uzeti u obzir letnje računanje vremena (tada se umesto 12 koristi pozicija 13 na satu), kao i da tačnost metode opada sa manjom geografskom širinom kao i po geografskoj dužini, zbog ugaone širine od 15° kod svake časovne zone.

Kompas je navigacioni instrument koji može da pruži izuzetno tačne rezultate u orientaciji. Ovaj instrument poseduje magnetnu iglu koja reaguje na magnetno polje Zemlje i na osnovu magnetnog privlačenja moguće je precizno određivanje strana sveta. Zemlja ima

svoje magnetno polje koje se generiše unutar jezgra planete, veruje se da ono nastaje kao posledica električnih strujanja između gvožđevitih legura, a koja su posledica toplotnih konvekcijskih strujanja. Uticaj ovog magnetnog polja je prisutan na celoj površini planete Zemlje, ali i nekoliko desetina hiljada kilometara u svemiru. Ova zona se naziva magnetosfera Zemlje. Na površini Zemlje postoje dva magnetna pola, na ovim pozicijama magnetne linije sila upravne su na površini Zemlje. Severni magnetni pol nalazi se na 73° severne geografske širine i 100° zapadne geografske dužine na ostrvu Princa od Velsa, dok se južni magnetni pol nalazi na 70° južne geografske širine i 148° istočne geografske dužine na Antarktiku.

Položaj magnetnih polova se ne poklapa sa geografskim polovima Zemlje, a same lokacije magnetnih polova nisu stalne i njihova pomeranja tokom godine mogu da iznose i više kilometara. Kompas koristi osobine magnetnog polja Zemlje. Sastoji se od kutije u kojoj se nalazi šiljak na kome leži magnetna igla. U osnovi je ruža kompasa (vetrova) sa označenim stranama sveta, a na prstenu (limbu) sa gornje ili donje strane se nalazi uglavna podela 0 - 360°. Uslov za pravilan rad kompasa je da magnetna igla ima namagnetisanje samo sa jedne strane, da se slobodno kreće i da ni jedan deo kompasa nema svojstva magneta koja bi ometala okretanje igle. Magnetna igla kompasa se pod uticajem magnetnog polja Zemlje postavlja u pravac magnetnog meridijana koji se ne poklapa sa geografskim meridijanom.

Uspostavljeni ugao između pravca magnetne igle i geografskog meridijana naziva se magnetna deklinacija. Pozitivna magnetna deklinacija je ako igla kompasa otklanja od geografskog



• **Prilog 68. Azimut**

meridijana ka istoku, a negativna magnetna deklinacija je suprotna, igla kompasa pravi otklon od geografskog meridijana ka zapadu.

Kada posmatrač osmatra horizont, u odnosu na njegovo stojište, objekti na horizontu se nalaze u različitim pravcima i na različitim udaljenostima. Pravac objekata se određuje njihovim uglovnim rastojanjem od geografskog meridijana, azimutom. Azimut je odre-

đen iz tačke stojišta iz koje se meri ugao čiji je jedan krak pravac sever-jug, a drugi krak predstavlja pravac posmatranog objekta. Geodetski azimut se meri od severa ka istoku, jugu i zapadu. Astronomski azimut se meri od južne tačke horizonta ka zapadu, severu i istoku. U geografiji se koristi geodetski azimut, a da bi se dobio što tačniji rezultat, merenje se koriguje za vrednost magnetne deklinacije.

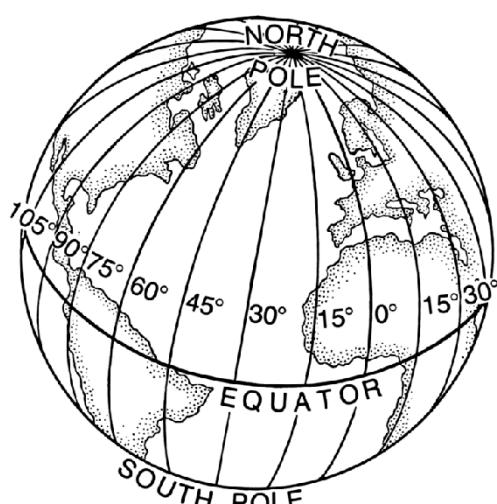
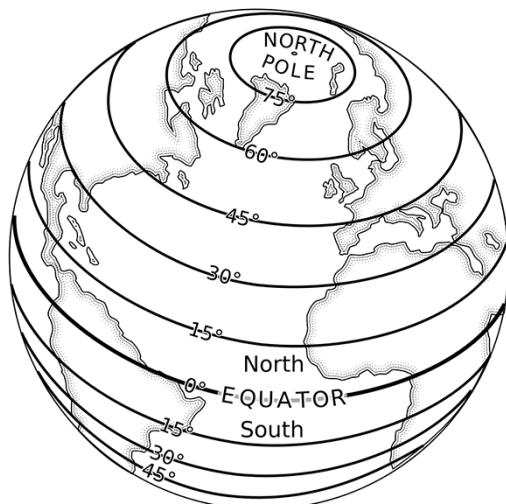
## GEOGRAFSKI KOORDINATNI SISTEM

Orijentacija na horizontu može biti izuzetno precizna, ali njeni rezultati su relativni, svako merenje je definisano i određeno mestom stojišta, a na samom horizontu može biti bezbroj stojišta. Zbog toga se od davnina javila potreba za definisanjem takvog sistema orijentacije i pozicioniranja koji ne bi bio određen mestom stojišta, već bi merenja pozicije svakog objekta bilo nepromenjivo i važilo bi sa bilo koje tačke na Zemljinoj površini.

Geografski koordinatni sistem se koristi za određivanje položaja tačaka na planeti Zemlji i čine ga uporednici i podnevci. Uporednici ili paralele su zamišljene kružne linije koje obavijaju Zemlju pravcem zapad istok. Ove kružnice su međusobno paralelne, najveća je na ekuatoru, a idući ka severu i jugu one su sve manje. Na površini Zemlje se može zamisliti bezbroj paralela, a kao osnovne se uzimaju one koje su međusobno udaljene 10, 0-90° na sever i 0-90° na jug. Meridijani su polukružne linije koje

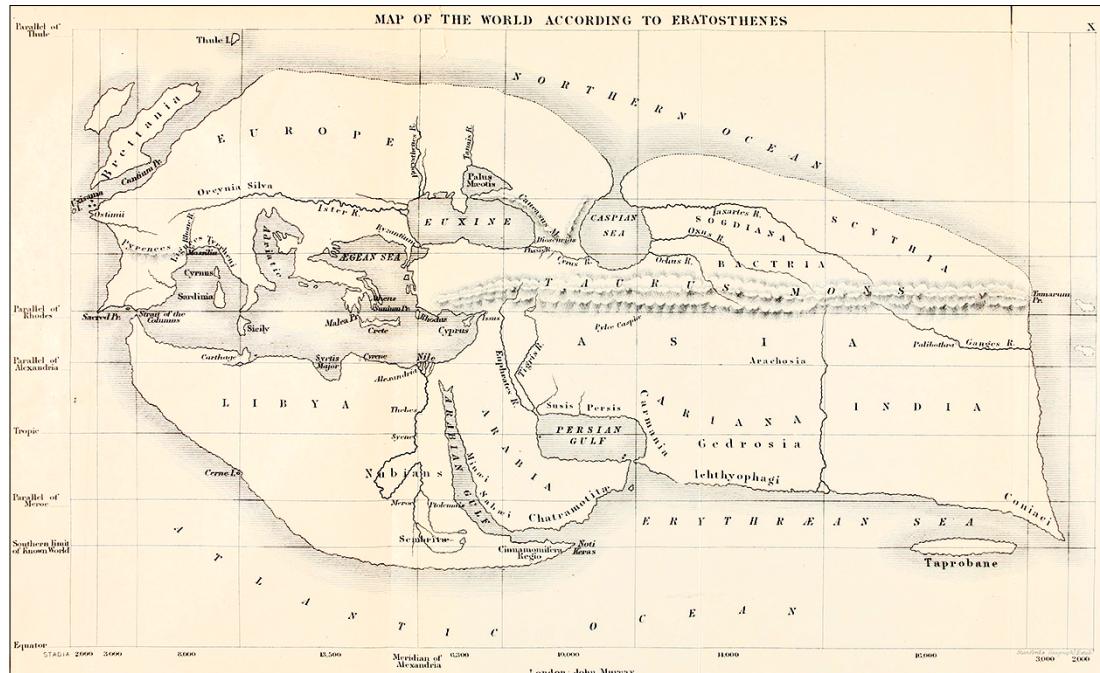
spajaju Severni i Južni geografski pol. Svi meridijani su iste dužine, a sva mesta na istom meridijanu imaju isto časovno vreme sa jedne strane Zemlje, dok na suprotnom meridijanu, sa druge strane Zemlje, sva mesta imaju isto vreme ali pomereno za 12 časova. Kada je sa jedne strane obdanica, na suprotnom meridijanu je noć. I meridijana može da bude bezbroj, ali se kao glavni uzimaju oni koji su međusobno udaljeni 10, njih ima 360.

Apscisu (vodoravnu osu) u geografskom koordinatnom sistemu čini najveći uporednik, ekvator. Istoriski gledano, ordinatu (uspravnu osu) je bilo teže odrediti. Svi meridijani su iste dužine i u matematičkom smislu, među njima nema razlike. Prvu mrežu uporednika i meridijana iscrtao je Eratosten u III veku pre nove ere u trećoj knjizi svog dela Geografija. Koristio je geografski koordinatni sistem i na karti sveta na kojoj je prikazao tada poznati deo sveta koji je obuhvatao širu zonu Meditera-



Prilog 69.  
Uporednici i  
meridijani

• **Prilog 70.**  
Eratostenova  
karta sveta,  
rekonstrukcija iz  
XIX veka  
Izvor: Bunbury, 1883.



na, sever Afrike, centralni, zapadni deo Evrope, kao i deo Azije do Indije. Početni meridijan na karti prolazi kroz Aleksandriju i Rodos. Paralele u njegovom koordinatnom sistemu nisu ravnomerno raspoređene i prolaze kroz značajne tačke i naselja.

U II veku pre nove ere Hiparh je koristio geografski koordinatni sistem koji je zasnovan na podeli kruga tako da je imao 360°. Na taj način je mogao da odredi geografsku dužinu zapadno i istočno do primarnog meridijana koji je postavio na Rodos. Ovaj položaj osnovnog meridijana nije bio najsrećniji zato što je delio poznati svet na dva dela, a problem je bio i nepoznavanje negativnih brojeva.

Ubrzo je glavni meridijan pomeren na Herkulove stubove (Gibraltar), ova pozicija je postavljala čitav poznati svet istočno od početnog meridijana. Klaudije Ptolomej je prvi koristio stalni početni meridijan, on ga je pomerio sa Herkulovih stubova na Srećna ostrva, pretpostavlja se da su to Kanarska ostrva. Ovim pomeranjem i najzapadnija tačka na Afričkom kontinentu se nalazila istočno od početnog meridijana.

Ptolomejeva "Geografija" je prvi put štampana sa kartama u drugoj polovini XV veka, a isti početni meridijan je korišćen i na globusima i mapama sve do XVI veka. Dugo se smatralo da postoji "prirodni" početni meridijan pa je zabeleška Kristofera Kolumba (*Christopher*

*her Columbus*) iz 1493. godine da je negde na sredini Atlantskog okeana igla kompasa pokazala ravan pravac ka severu bila do velikog značaja.

To je iskorišćeno i za sporazum iz Tordesiljsa iz 1494. godine po kome su podeljene sfere uticaja između Španije i Portugala. Ova linija, kao početni meridijan, se prostirala na 1.184 nautičke milje zapadno od Zelenortske ostrva (Brown, 1979). Od 1518. do 1532. godine Diogo Ribeiro je izvršio brojna kartiranja atlantske obale Severne i Južne Amerike za špansku kraljevinu. U svojim kartiranjima koristio je Zelenortska ostrva sa pozicijim na ostrvu Santa Antao ( $25,2^{\circ}\text{W}$ ).

Merkator (*Gerardus Mercator*) je na svojim kartama koristio početni meridijan koji je prolazio kroz Fuerteventuru na Kanarskim ostrvima ( $14,1^{\circ}\text{W}$ ). Kasnije, promenio je položaj početnog meridijana pa se u njegovom Atlas Cosmographicae iz 1595. godine, početni meridian nalazi malo zapadnije od ostrva Santa Maria u Azorskom arhipelagu (oko  $250\text{W}$ ).

Abraham Ortelius je autor prvog modernog atlasa, a u njemu je koristio poziciju Cape Verde kao početni meridijan. Tada je uveo i praksu da meri geografsku dužinu samo na istok 0-360°, takva praksa se održala među moreplovциma sve do XVIII veka.

Iako se vremenom pokazalo da magnetne linije ne prate meridijane, iz tog razloga je ostrvo San Miguel ( $25,5^{\circ}\text{W}$ ) u Azorskom arhip-

lagu bila pozicija početnog meridijana i za britanskog kartografa Kristofera Sakstona (*Christopher Saxton*). Tada su brojni kartografski materijali bili dostupni moreplovцима i istraživačima, ali je na njima često različit početni meridijan. Dok je starom veku problem bilo pozicioniranje tačaka istočno i zapadno od meridijana pa se težilo postavljanju čitave mape obično istočno od početnog meridijana, u periodu velikih geografskih otkrića razlozi za pomeranje meridijana su bili druge prirode.

Do kraja druge polovine XVI veka je smatранo da postoji neki osnov za "prirodni" početni meridijan, ali je to kao razlog napušteno kada se utvrdilo da postoji odstupanje od magnetnih linija u odnosu na meridijane. U isto vreme brojni moreplovci i kartografi su otkrivali nove svetove kojima je bilo potrebno opisati i kartirati obale. Radi postizanja veće tačnosti u kartografskim premerima, kartografi novih svetova su pomerali početni meridijan sve više na zapad da bi bio bliži zonama premera.

Ovi i drugi razlozi su doveli do šarolikosti u primeni osnovnog meridijana što je za posledicu imalo greške u tumačenju karata kao i komplikovanu matematičku proceduru kada se preklapao kartografski materijal iz različitih izvora. Rešenje je bilo očigledno, povratak kartografije na meridijan koji je najzapadnija tačka "Starog sveta", na ostrvo Fero (*El Hierro*) najzapadnije od Kanarskih ostrva. Ovu odluku donosi francuski kralj Luj XIII i kardinal Rišelje za potrebe kartografskih premera u korist Francuske kraljevine. Smatralo se da je ovaj meridijan tačno  $20^{\circ}$  zapadno od Pariza, iako netačna, ova činjenica je pozitivno uticala na odluku o početnom meridijanu Fero (Crone, 1968).

U XVIII veku u većini zemalja u Evropi se koristio sopstveni početni meridijan, često preko glavnog grada, pa je u Francuskoj Pariski meridijan bio primarni, u Nemačkoj je to bio Berlinski meridijan, u Danskoj Kopenhaški meridijan, u Ujedinjenom Kraljevstvu Grinički meridijan, u Rusiji se koristio Pulkovski meridijan, SAD su koristile meridijane koji prolaze kroz Vašington i Filadelfiju, Brazil meridijan koji prolazi kroz Rio de Žaneiro, Portugal Lisabonski meridijan, Španija meridijane Kadiz i Madrid, Holandija Amsterdamski, Belgija Bruselski, Norveška meridijan koji prolazi kroz Oslo, Italija Rimski i meridijan koji prolazi

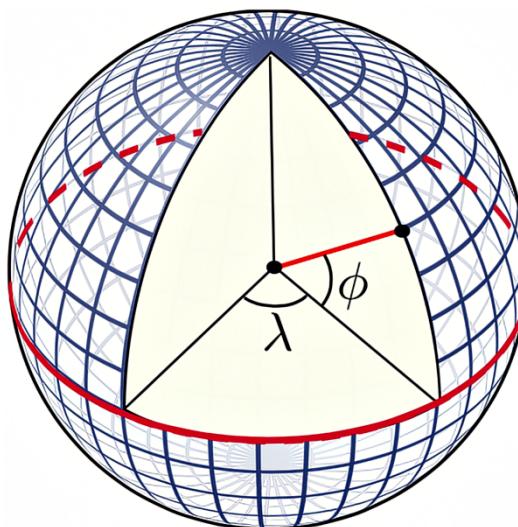
kroz Napulj, Švedska kraljevina Štokholmski, Poljska Varšavski, Japan meridijan koji prolazi kroz Kjoto i dr. (Bartky, 2008). Ovakva situacija je prouzrokovana potrebom država za što je moguće tačnijim kartografskim premerom unutar svoje teritorije, a za to je bio neophodan blizak i tačno definisan početni meridijan.

Preklapanje kartografskih materijala susednih država je ponovo bilo otežano, korišćenje pomorskih karata i drugih materijala iz različitih izvora je bilo zahtevno i često je vodilo u greške. Ponovo se u istoriji javila potreba za određivanjem jedinstvenog, svetskog, početnog meridijana. Na Međunarodnoj konferenciji o meridijanima koja je održana u Vašingtonu (SAD) 1884. godine, 22 države su prihvatile da koriste Grinički meridijan kao svetski osnovni meridijan u svojim kartografskim premerima.

Od 1984. godine upotrebljava se IERS (*Internacionalni referentni meridijan*) kao referentni meridijan, on se nalazi veoma blizu tradicionalnog meridijana koji prolazi kroz Griničku opservatoriju, udaljen je od Griničkog meridijana  $5,3''$  na istok ili 102 metra. Definisanjem internacionalnog početnog meridijana određena je jedinstvena ordinata u geografskom koordinatnom sistemu. Ekvator kao apscisa i Grinički meridijan kao ordinata su glavne orientacione linije na Zemljinoj površini. Lučnim udaljenjem od ove dve osnovne linije, može se odrediti tačan položaj svake tačke na površini Zemlje u okviru sistema koga nazivamo geografski koordinatni sistem.

Geografska širina je lučno udaljenje po određenom meridijanu od ekvatora. Njena vrednost se očitava pomoću paralela i može biti od  $0$  do  $90^{\circ}$  severno (severna geografska širina) ili južno (južna geografska širina) od ekvatora. Geografska dužina je lučno udaljenje po određenoj paraleli od nultog meridijana (IERS). Njena vrednost se očitava pomoću meridijana i može biti od  $0$  do  $180^{\circ}$  istočno (istočna geografska dužina) ili zapadno (zapadna geografska dužina) od nultog meridijana. Položaj svake tačke na Zemlji je određen u geografskom koordinatnom sistemu ako se za nju znaju geografska dužina i geografska širina. Nulti meridijan sa suprotnim meridijanom na  $180^{\circ}$  čini pun krug koji deli planetu Zemlju na istočnu i zapadnu poluloptu. Ekvator deli Zemlju na severnu i južnu poluloptu.

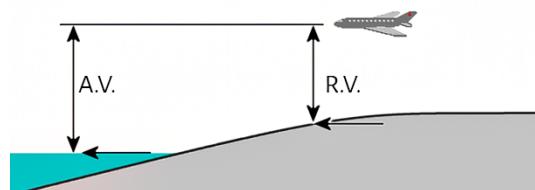
Nazivi "geografska širina" kao i "geografska dužina" potiču iz starog veka. Ptolomejeva karta sveta imala je oblik savijenog trapeza koji je prikazivao poznati svet tog doba. Prikazivala je prostor Sredozemlja i većeg dela zapadne i centralne Azije, pravcem istok - zapad je bio prikazan mnogo veći prostor na karti od prostora koji je prikazan pravcem sever - jug. Ptolomej, tada logično koristi termin geografska dužina za sve pravce istok - zapad (jer su duži) i geografska širina za pravce sever - jug. Geografska širina se označava grčkim slovom  $\phi$  (phi) i skraćenicom SGŠ, severna geografska širina ili JGŠ, južna geografska širina. Geografska dužina se označava grčkim slovom  $\lambda$  (lambda) i skraćenicom IGD, istočna geografska dužina ili ZGD, zapadna geografska dužina.



**Prilog 71.**  
Geografska širina  
 $\Phi$  i geografska  
dužina  $\lambda$

Zemljina površina nije ravna, ona je vertikalno razuđena brojnim uzvišenjima i udubljenjima. Da bi se tačno odredila pozicija bilo koje tačke na Zemlji neophodno joj je odrediti i treću koordinatu, visinu, ona se izražava u metrima (m). Za polaznu ravan u merenju visina, uzima se srednji nivo Svetskog mora odnosno okeana za koji se smatra da je 0 metara visine. Od ove ravni se računa treća koordinata koja se naziva nadmorska visina ili absolutna visina.

**Prilog 72.**  
Apsolutna i  
relativna visina  
Izvor: radartutorial.  
eu



Svaka tačka na Zemlji može biti na pozitivnoj visini, iznad nivoa mora ili na negativnoj visini, ispod nivoa mora.

Nadmorska ili absolutna visina predstavlja vertikalno odstojanje svake tačke u odnosu na ravan srednjeg nivoa Svetskog mora i može biti pozitivna ili negativna. Određivanje visinske koordinate za neku tačku može biti i relativno. Vertikalno rastojanje izraženo u metrima (m) između podnožja i vrha planine naziva se relativna visina. Dakle, relativna visina predstavlja vertikalno odstojanje dve tačke od kojih nijedna nije u ravni srednjeg nivoa Svetskog mora. Relativna visina kao podatak nekada može biti mnogo značajnija od absolutne visine, osim planinarima koji preko relativne visine dobijaju značajan podatak o usponu, pilotima prilikom leta relativna visina predstavlja jedan od najznačajnijih podataka da bi održali letelicu na bezbednoj visini od Zemljine površine.

Vertikalni geodetski datum se definiše kao referentna površ u odnosu na koju se odnosi usvojeni sistem visina. Srednji nivo Svetskog mora varira u odnosu na različite pozicije na površini Zemlje. Za geodetska merenja koristi se nivelman, uređaj koji meri visinu u odnosu na srednji nivo mora. Nivelman prati geoid, tako da su visine izražene u odnosu na geoid. Visina referentne površi (vertikalni geodetski datum) dobijena je geometrijskim nivelmanom i predstavlja površ geoida. Visina definisana u odnosu na nullu površ odnosno geoid naziva se nadmorska, absolutna ili ortometrijska visina (H). Za računanje ortometrijskih visina, pored visinskih razlika duž putanje nivelanja, meri se i ubrzanje sile Zemljine teže.

Prilikom određivanja tačne pozicije svake tačke na površini Zemlje, kao i njene geografske širine i dužine, treba uzeti u obzir da je Zemlja sferoid. Da bi se utvrdio tačan položaj i smanjile greške u koordinatama, prilikom izrade karata bira se referentni elipsoid koji najbolje odgovara području koje se mapira. Tada se bira najpogodnije mapiranje sfernog koordinatnog sistema na izabrani elipsoid koji se naziva zemaljski referentni sistem ili geodetski datum. Podaci mogu biti globalni, što znači da predstavljaju celu Zemlju, ili mogu biti lokalni, što znači da predstavljaju elipsoid koji najbolje odgovara samo delu Zemlje.

Svaka tačka na Zemljinoj površini se pomera u odnosu na druge tačke usled kretanja kontinentalnih ploča, spuštanja kao i dnevnog plimnog kretanja Zemlje izazvanog Mesecom i Suncem. Ovo dnevno kretanje može biti čak metar. Kretanje kontinenta može biti do 10 centimetara godišnje, odnosno 10 metara u veku. Područje visokog pritiska u vremenskom sistemu može izazvati potonuće od 5 milimetara. Skandinavija raste za jedan centimetar godišnje kao rezultat topljenja ledenih pokrivača poslednjeg ledenog doba, ali susedna Škotska raste za samo 0,2 centimetra.

Ove promene su beznačajne ako se koristi lokalni geodetski datum, ali su statistički značajne ako se koristi globalni geodetski datum (A guide to coordinate systems in Great Britain, 2020). Geoprostorni podaci dobijeni iz različitih izvora moraju biti referencirani na isti geodetski datum i koordinatni sistem. Geodetski datum predstavlja skup parametara koji definišu koordinatni sistem, uključujući elipsoid i položaj centra elipsoida u odnosu na centar Zemlje i orientaciju u odnosu na Zemljinu osu rotacije. Geodetski datum je bilo koja numerička ili geometrijska vrednost, ili skup takvih vrednosti, koje se koriste kao osnova za računanje drugih vrednosti.

Termini elipsoid i datum koriste se kao sinonimi. Sve horizontalne i vertikalne pozicije tačaka su relativne u odnosu na određeni geodetski datum (Vušović et al., 2012). Horizontalni geodetski datum predstavlja podatke o obrtnom elipsoidu koji najbolje odgovara Zemljinoj površini koja se prikazuje. On nosi skup podataka koji se odnose na njegovu veličinu, položaj i orientaciju. Ukoliko se geodetskim datumom opisuje deo Zemljine površine, po pravilu uz upotrebu lokalnog elipsoida, onda se on naziva lokalni geodetski datum ili regionalni geodetski datum. U slučaju da se prikazuje cela površina Zemlje ili se za njen deo koristi elipsoid koji odgovara celoj Zemlji, onda se naziva globalni geodetski datum ili geocentrični datum. Lokalni

geodetski datum bira se tako da najbolje prikazuje neki deo površine Zemlje i zavisi od lokanih uslova. Lokalni elipsoid definisan je parametrima: geografskom širinom i dužinom ishodišne tačke, referentnim azimutom orientacije, dva elementa geometrije elipsoida, geoidnom visinom ishodišne tačke, paralelnost male poluose elipsoida i ose rotacije Zemlje.

Tokom XX veka mnoge države su usvajale i koristile elipsoide koji su najbolje odgovarali delu površine Zemlje koji se mapira. U zavisnosti od potreba, isti geografski prostor može biti prikazan uz upotrebu različitih geodetskih datuma. Problemi su nastajali prilikom integracije ovako različitog kartografskog materijala. Objedinjavanje geodetskog datuma kroz jedinstven sistem odvijalo se decenijama da bi rezultiralo pojavom WGS84 1984. godine. Ovo je globalni geodetski datum koji ne predstavlja idealno nijedan deo Zemljine površine ali je odlična osnova za globalno prikazivanje kao i lokalne prikaze koji se nakon njihove izrade po ovom jedinstvenom geodetskom datumu mogu preklapati i uvezivati za veće kartografske prikaze. WGS84 je geodetski datum koji se koristi kao osnova za Globalni sistem pozicioniranja GPS i za Internacionalni zemaljski referentni sistem (ITRF) koji se koristi za merenje pomeranja kontinenata kao i deformaciju kore Zemlje (Bolstad, 2012).

Kao primer upotrebe različitih geodetskih datuma na istom prostoru, može se uzeti Velika Britanija u kojoj se pored WGS84 koristi i njihov datum OSGB36, ali i ED50 koji potenцира NATO. Razlike na terenu su relativno male, položaj Griniča u WGS84 u odnosu na OSGB36 je pomeren za 112 metara, a u odnosu na ED50 120-180 metara (A guide to coordinate systems in Great Britain, 2020). Geografska širina i dužina na mapi napravljenoj prema lokalnom datumu možda neće biti iste kao one dobijene od GPS uređaja. Konvertovanje koordinata iz jednog podatka u drugi zahteva transformaciju datuma kao što je Helmertova transformacija, iako u određenim situacijama može biti dovoljan jednostavan prevod koji će dati zadovoljavajuća nova poklapanja.

Uz pomoć geografskog koordinatnog sistema i geografskih koordinata može se odrediti apsolutni položaj svake tačke na Zemljinoj površini nezavisno od stojišta i horizonta.

- ➊ **Prilog 73.** Geoid, lokalni geodetski datum i globalni geodetski datum WGS84

Izvor: gssc.esa.int



## LITERATURA

- A Guide to Coordinate Systems in Great Britain. D00659 v3.6, Ordnance Survey, 2020.
- Bartky, I., R. 2007. One Time Fits All: The Campaigns for Global Uniformity. Stanford University Press.
- Bolstad, P. 2012. GIS fundamentals. Atlas books.
- Bunbury, E. H. 1883. A History of Ancient Geography among the Greeks and Romans from the Earliest Ages till the Fall of the Roman Empire. London: John Murray.
- Brown, L. A. 1979. The story of maps. New York: Dove publications.
- Crone, G. R. 1968. Maps and their makers. London: Hutchinson.
- Vušović, N., Svrkota, I., Vaduvesković, Z. 2012. Prostorni referentni sistemi. Rudarski radovi, 3.
- Roller, D. W. 2010. Eratosthenes' geography. New Jersey: Princeton University Press.
- Howse, D. 1980. Greenwich Time, and the discovery of longitude. Oxford University Press.
- Howse, D. 1997. Greenwich time and the longitude. London: Philip Wilson.
- gssc.esa.int

# ROTACIJA

Planeta Zemlja se kreće na više načina, a rotacija Zemlje je jedno od njenih kretanja i predstavlja okretanje Zemlje oko svoje ose. Rotaciju ne možemo neposredno opažati, već je možemo registrovati sa Zemlje posmatrajući druga nebeska tela. Posmatrajući nebesku sferu, možemo primetiti da se cela sfera zajedno sa zvezdama stajaćicama, okreće jednom dnevno oko nebeske osovine. Upravo je ovo kretanje vekovima bilo osnov za razmimoilaženje mišljenja astronoma, da li se radi stvarnom ili prividnom kretanju. U poslednjih par vekova, naučnici su došli do brojnih dokaza koji podupiru stav o prividnom kretanju nebeskog svoda. To je privid koji je posledica okretanja Zemlje oko osovine koja prolazi kroz Zemljine geografske polove.



➊ **Prilog 74.** Privid rotacije nebeskog svoda iznad La Silla opservatorije u Čileu

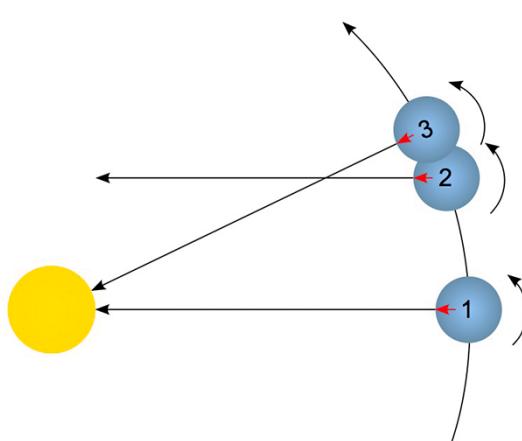
Izvor: ESO, Alexandre Santerne.

Zajedno sa planetom, rotiraju i njene sfere, atmosfera, hidrosfera i biosfera. Ako se Zemlja posmatra sa pozicije severne zvezde Polaris, Zemlja rotira u pravcu od zapada ka istoku u takozvanom direktnom smeru. Gledajući u analogni sat, to je smer suprotan smeru kretanja kazaljki. Vreme rotacije je jednak vre-

menskom razmaku između dve uzastopne kulminacije iste zvezde, 23 sata, 56 minuta i 4 sekunde, ovaj period se naziva siderički ili zvezdani dan.

Za narednih 3 minuta i 56 sekundi, Zemlja se okreće ka Suncu. Ovaj vremenski period od 24 sata se naziva sunčev (solarni) ili sinodički dan. Razlika između sinodičkog i sideričnog dana je uzrokovana drugim kretanjem planete Zemlje, revolucijom. Savremena merenja vremena atomskim časovnicima pokazala su odstupanja. Utvrđeno je da se rotacija Zemlje lagano usporava, a zvezdani dan produžava. Od VIII veka pre nove ere, prosečno, na svakih sto godina zvezdani dan biva duži za 2,3 milisekunde (Stephenson, 2003). Savremena istraživanja beleže i suprotan trend. Od 2020. godine, zabeleženo je ubrzanje rotacije Zemlje. Smatra se da je ovo povećanje brzine uzrokovano različitim faktorima, uključujući složeno kretanje njegovog rastopljenog jezgra, okeana i atmosfere, uticaj nebeskih tela kao što je Mesec, a moguće je i uticaj klimatskih promena, koje izazivaju da se led na Zemljiniim polovima topi čime se vrši pre-raspodela mase na površini Zemlje.

Prilikom jedne rotacije, različite tačke na površini Zemlje pređu različite putanje čija dužina zavisi od geografske širine. Najduži put imaju tačke na ekvatoru, a najkraće tačke u blizini polova Zemlje. Upravo na poziciji ekvatora je najveći obim Zemlje, a idući ka severu ili jugu, svaka naredna paralela je kraća. Veličina obima paralela se smanjuje sa kosinusom geografske širine, a na isti način se posledično smanjuje i rotaciona brzina. Svaka tačka, u zavisnosti od svoje geografske širine ima jedin-



➋ **Prilog 75.** Zvezdani dan (1-2), sinodički dan (1-3)

**Tabela 24.** Rotacione brzine na Zemlji

| Geografska širina       | $0^\circ$ | $15^\circ$ | $30^\circ$ | $45^\circ$ | $60^\circ$ | $75^\circ$ | $90^\circ$ |
|-------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Rotaciona brzina (km/h) | 1.674,4   | 1.617,35   | 1.450,07   | 1.183,98   | 837,20     | 433,37     | 0          |

stvenu rotacionu brzinu. Najveća rotaciona brzina je na ekvatoru i iznosi 1.674,4 km/h.

Ugaona brzina Zemlje jednaka je vrednosti ugla za koji se Zemlja pomeri u jednoj vremenskoj sekundi. Zemlja se tokom jedne vremenske sekunde pomeri za 15,4 ugaone sekunde. Ugaona brzina je direktno proporcionalna rotacionoj brzini i obrnuto proporcionalna po-

luprečniku rotacije svake tačke. Kako se povećava rotaciona brzina tako bi uvećana bila i ugaona brzina, ali kako se povećava poluprečnik rotacije, smanjuje se ugaona brzina. Zbog takve, direktne proporcionalnosti ka rotacionoj brzini i obrnute proporcionalnosti prema poluprečniku rotacije, ugaona brzina ostaje nepromenjena, ona je stalna.

## DOKAZI ZA ROTACIJU ZEMLJE

Dokazi za rotaciju Zemlje su brojni. Poznavanjem osobina brzine svetlosti dolazimo do logičnog zaključka da je nemoguće kretanje Sunca i ostalih zvezda oko Zemlje u toku jednog zvezdanog dana, jer bi se u tom slučaju sva nebeska tela kao i zvezde, kretali mnogostruko većim brzinama od brzine svetlosti, a to se protivi svim poznatim zakonima fizike. Najблиžim zvezdama Zemlji, Proxima Kentauri (4,2 svetlosne godine) i Sirijusu (8,6 svetlosnih godina), da bi napravile jedan krug oko Zemlje u toku jednog zvezdanog dana, bilo bi potrebno da se kreću 990 puta brzina svetlosti (Proxima Kentauri) i 2.235 puta brzina svetlosti (Sirijus) (Kornel, Bugarski, 1996; Bukurov, 1974). Sve druge zvezde, bliske i udaljene galaksije bi onda trebalo da se kreću nezamislivo velikim brzinama da bi izvršile dnevno kretanje oko Zemlje.

Tokom istorijskog razvoja astronomije, fizike, biologije kao i drugih prirodnih nauka, izneta su brojna mišljenja koja iznose sumnju u kretanja Zemlje, a osnov za ove tvrdnje su bila razmišljanja da ako bi se Zemlja kretala ptice ne bi mogle da pronađu svoja gnezda posle leta ili, prilikom slobodnog pada nekog tela, to telo bi trebalo da padne mnogo zapadnije od predviđene pozicije pada.

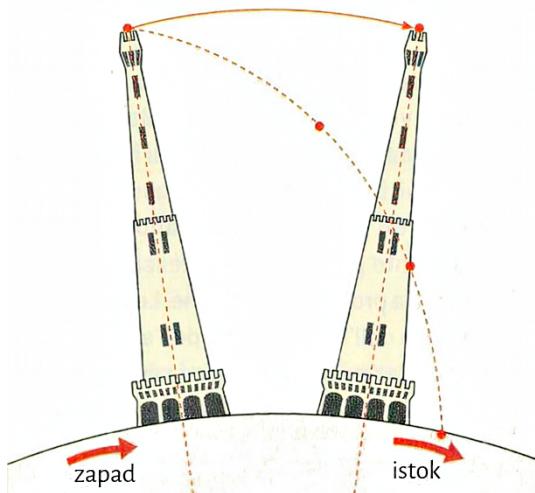
Razmišljanja na ovu temu su imala nekog osnova sve do otkrića i definisanja sile gravitacije. Eksperimenti koji su sprovedeni potvrdili su skretanje tela pri slobodnom padu, ali umešto skretanja na zapad, kako su tadašnji naučnici predviđali, registrovano je skretanje tela

ka istoku, u pravcu rotacije. I upravo, primenjeno skretanje na istok, dokazuje rotaciju Zemlje. Nakon otkrića i definisanja gravitacije, Isak Njutn je teorijski definisao eksperiment slobodnog pada tela koji dokazuje rotaciju planete Zemlje uz gravitacioni uticaj.

Eksperimentalno, ovaj dokaz je sproveo Đovani Guljemini (Giovanni Battista Guglielmini), 1790-1792. godine u Bolonji. Prilikom planiranja eksperimenta, planirao je da iskoristi kupolu Svetog Petra u Rimu ali mu to nije dozvoljeno. Eksperiment je morao da sproveđe u Bolonji, koristeći kulu Asineli. Predviđeni pomaci, čak i u visokoj kuli poput Asinelija, bili su mali - manje od 2,5 centimetra. Asineli tornanj je preko jednog stepena van vertikale, tako da bi za uspostavljanje vertikalnosti bio potreban visak dug skoro 300 metara. Na kuglu bacenu sa tornja mogao bi da utiče vetar, pa čak i prolazak kočija ulicama mogu da izazovu vibracije tornja i na taj način utiću na rezultate. Da bi otklonio uticaj vetra, Guljemini je odlučio da koristi jaja koja će puštati unutar tornja, što je značilo da je morao da probije rupe kroz nekoliko spratova. Da bi umanjio efekat prolaznih kočija, radio je usred noći. Eksperimente je ponavljao više od godinu dana, ali samo nekoliko njih je bilo korisno, jer je obično nešto uzrokovalo nestabilnost vazduha ili tornja ili viska. Takođe je rano otkrio da čak i kada su uslovi bili dobri, rezultati su dramatično varirali, što ga je navelo da posumnja da je njegov metod ispuštanja kugli (jaja) bio pogrešan. Zato je konstruisao uređaj upravo za tu name-

### Prilog 76.

Teorijski prikaz  
Guljeminijevog eksperimenta na  
tornju Asineli u Bolonji



nu, koji bi ispustio kuglu bez davanja bočnog pokreta ili okretanja (Ashworth, 2018).

Ovaj eksperiment je više puta ponovljen. Godine 1804, u Hamburgu je sa tornja visokog 76,3 metra izvršio ovakav eksperiment astronom Johann Bencenberg (*Johann Friedrich Benzenberg*), a nešto kasnije, iste godine je ponovio eksperiment u rudniku uglja Zeche Trappe sa dubinom od 80,4 metra. Njegovi rezultati su se poklopili sa teorijsko-matematičkim proračunima Karla Gausa (*Carl Friedrich Gauß*), odstupanja su iznosila 8,7 milimetara. Ferdinand Rajh (*Ferdinand Reich*) je 1831. godine koristio okno rudnika duboko 158,5 metara, dobijen rezultat je iznosio 27,4 milimetra što je bilo veoma blizu teorijsko-matematičkom očekivanom rezultatu od 28,1 milimetra.

Teorijski osnov ovog eksperimenta je veoma jednostavan. Ako se sa nekog tornja prepusti telo neke mase slobodnom padu, ona bi trebalo da padne vertikalnom putanjom tačno ispod pozicije puštanja po zakonu o slobodnom padu. Ali, telo je prepušteno slobodnom padu na pla-

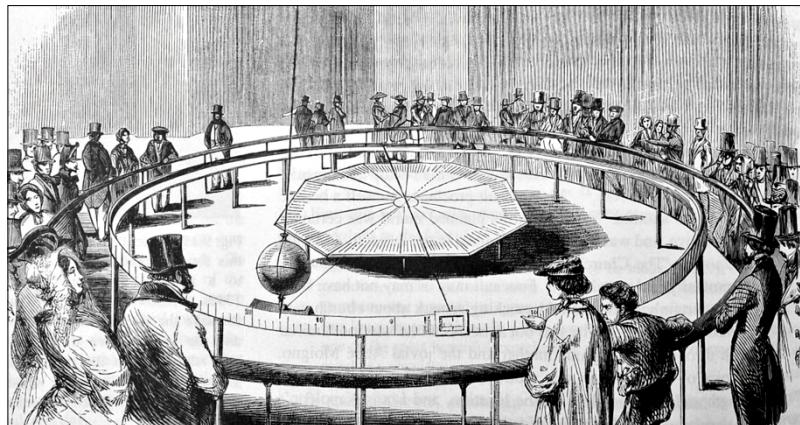
neti Zemlji koja vrši rotaciju pa će na masu tog tela uticaj imati i kretanje Zemlje, po zakonu o inerciji. Po zakonu o slobodnom padu, telo će imati ujednačeno ubrzanje pod uticajem gravitacije sve dok ne stigne po pravolinijskoj putanji do površine Zemlje, to jest do tačke ispod pozicije puštanja. Po zakonu o inerciji, telo će zadržati rotacionu brzinu vrha tornja sa kog je pušten. Podnožje tornja ima svoju rotacionu brzinu koja je manja od rotacione brzine vrha tornja jer vrh tornja za isto rotaciono vreme opiše dužu putanju u odnosu na podnožje tornja.

Razlika rotacionih brzina vrha i podnožja tornja predstavlja višak brzine koji ima telo pri padu u odnosu podnožje tornja, to jest, tačku u koju bi trebalo da padne. Ta zadržana brzina se ispoljava kao impuls koji potiskuje telo u horizontalnom pravcu. Po ovome, telo koje se pusti sa tornja će se kretati rezultantom dveju komponenti koje definišu njegovo kretanje, horizontalne koja nastaje pod uticajem inercije i vertikalne koja je određena gravitacijom. Rezultanta je kriva linija po kojoj telo uvek pada prema istoku u odnosu na tačku vertikalno ispod pozicije puštanja. Otklon prema istoku se povećava sa smanjenjem geografske širine i povećanjem vertikalnog rastojanja između tačke puštanja i tačke pada. Ukoliko se telo pusti da slobodno pada sa nekoliko stotina metara, otklon ka istoku će iznosi svega nekoliko centimetara, a sa deset kilometara visine otklon bi iznosio sedam metara.

Drugi jasan dokaz Zemljine rotacije je Fukooovo klatno. To je jednostavan instrument nazvan po francuskom fizičaru Leonu Fukou (*Léon Foucault*), zamišljen kao eksperiment za demonstriranje Zemljine rotacije, pri čemu je klatno okačeno da visi sa krova iznad kružne podloge, njegovo kretanje je praćeno tokom dužeg vremenskog perioda, pri čemu pokazuje da se njegova ravan oscilovanja rotira. Prvu demonstraciju svog klatna Fuko je sproveo u pariskoj opservatoriji u februaru 1851. godine. Nekoliko nedelja kasnije, Fuko je napravio i instalirao svoje drugo klatno, teško 28 kilograma i dugačko 67 metara u pariskom Pantheonu sa vremenom klaćenja od  $2\pi\sqrt{l/g} \approx 16,5$  s. Geografska širina pozicije klatna je  $48^\circ 52' N (\phi)$ . Klatno na toj geografskoj širini završi cikličnu kretaju za  $23h 56' / \sin \phi \approx 31,8$  h tj., 31 sat 50 minuta uz indirektnu rotaciju klatna približno  $11,3^\circ/1h$ .

### Prilog 77. Ilustracija demonstracije Fukoovog klatna u Pantheonu u Parizu

Izvor: Trinity college Dublin, tcd.ie



Na geografskim polovima ravan oscilovanja klatna predstavlja Zemlja koja rotira ispod klatna pri čemu je potreban jedan zvezdani dan da završi rotaciju. Na Severnom polu klatno će za vremenski period od jednog zvezdanog dana napraviti pun krug u indirektnom pravcu, dok će na Južnom polu klatno opisati krug u direktnom pravcu. Kada se klatno postavi na ekvator, onda je ravan oscilovanja fiksirana pa klatno ne iscrtava krug već ispod klatna ostaje iscrtana jedna linija po kojoj osciluje klatno. Pomeranjem klatna po geografskoj širini, ravan oscilovanja precesira u odnosu na Zemlju, generalno, idući od polova ka ekvatoru klatno povećava vreme oscilovanja potrebno za iscrtavanje punog kruga. Ugaona brzina w merena u stepenima direktnog pravca u toku zvezdanog dana, proporcionalna je sinusu geografske širine  $\phi$ :

$$\omega = 360^\circ \sin \phi / \text{zvezdani dan},$$

pri čemu su geografske širine severno i južno od ekvatora definisane kao pozitivne i negativne. "Dan klatna" je termin koji definiše potrebno vreme da ravan klatna završi rotaciju oko lokalne vertikale klatna. Vremenski, dan klatna odgovara zvedanom danu podeljenom sa sinusom geografske širine pozicije klatna (Daliga, 2015). Na primer, klatno postavljeno na 30° južne geografske širine, opisuje krug u direktnom pravcu, a dan klatna iznosi dva zvezdana dana. Ako klatno ima dovoljnu dužinu, moguće je registrovanje tangencijalnog pomeranja u vremenu svake pojedinačne oscilacije duž opisivanog kruga. Kod Fukoovog klatna u Pantheonu, koje ima amplitudu klatna od šest metara, vidljiva su tangencijalna pomeranja koja kod svake oscilacije iznose oko pet milimetara.

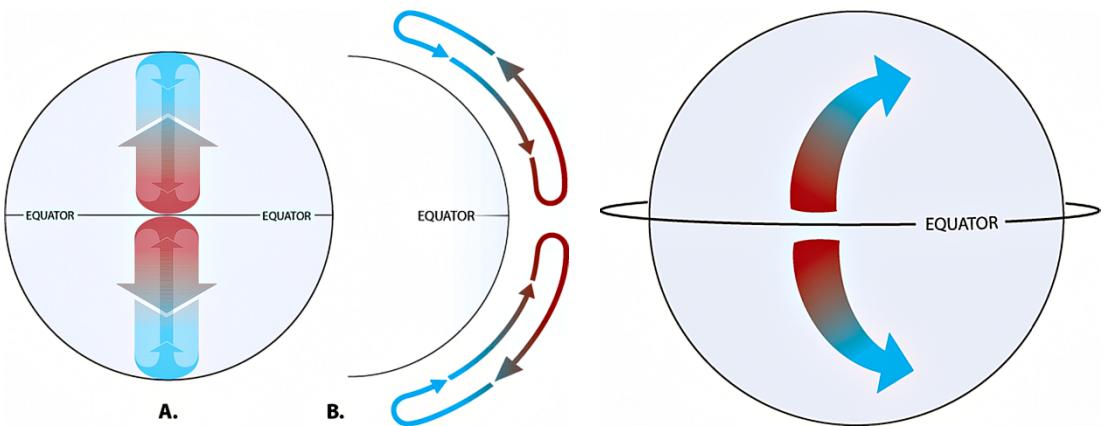
Danas, postoje brojna Fukova klatna na univerzitetima, naučnim muzejima i drugim institucijama širom sveta. Zgrada Generalne skupštine Ujedinjenih nacija u sedištu Ujedinjenih nacija u Njujorku ima klatno. Klatno je postavljeno i u kongresnom centru Oregon, njegova dužina je približno 27 metara, a postoji i veća, kao što je ona u kuli Gamov na Univerzitetu Kolorado dužine 39,3 metra. Nekada su postojala mnogo duža Fukova klatna, kao što

je klatno od 98 metara u Sabornoj crkvi Svetog Isaka u Sankt Peterburgu u Rusiji.

Postoje i drugi dokazi Zemljine rotacije. Posmatrajući tela koja se kreću meridijanskim pravcем može se primetiti da ona skreću sa svog pravca kretanja. Skretanje se registruje kod vetrova, vazdušnih masa, rečnih tokova, morskih struja kao i za antropogene tvorevine kao što su rakete, topovska đulad i dr. (Graney, 2011). Ovu pojavu je istraživao Džordž Hedli (George Hadley) na primeru pasatskih vetrova. Hedlija je zaintrigirala činjenica da su vetrovi koji su po svim pravcima trebali da duvaju pravcem sever - jug imaju izražen zapadni pravac, i tu misteriju je on htio da reši. U prvoj polovini XVIII veka, razumevanje pasata i drugih vetrova je postalo pitanje od velike važnosti u Evropi upravo zbog razvijenog pomorskog saobraćaja i trgovine između Evrope i Severne Amerike.

Ova pojava naziva se Koriolisov efekat, zakrivljenje pravolinijske putanje objekta koji se kreće u rotirajućem kooordinatnom sistemu. Ovaj efekat je dobio naziv po francuskom naučniku Gasparu Koriolisu (Gaspard-Gustave de Coriolis) koji je pojavu opisao 1835. godine, matematički obrađujući jednačinu plimnog talasa naučnika Laplasa iz 1778. godine. U geografiji, za termin Koriolisov efekat kao i njegove posledice podrazumevani rotirajući referentni okvir je planeta Zemlja. Zemlja obavlja jednu rotaciju za svaki ciklus dan/noć, tako da je za kratkotrajno kretanje objekata Koriolisova "sila" neprimetna, njegovi efekti postaju primetni samo za kretanja koja se dešavaju na velikim udaljenostima i dugim vremenskim periodima, kao što je kretanje vazdušnih masa u atmosferi ili vode u okeanu. Ova "sila" uzrokuje da pokretni objekti na površini Zemlje skreću u desno (u odnosu na pravac kretanja) na severnoj hemisferi i u levo na južnoj hemisferi. Ako bi Zemlja bila statična vazdušne mase bi kružile između polova (područje visokog vazdušnog pritiska) i ekvatora (područje niskog vazdušnog pritiska) po jednostavnom šablonu sever - jug (Prilog 78).

Rotacija Zemlje direktno utiče na skretanje atmosferskih kretanja u desno na severnoj hemisferi i u levo na južnoj hemisferi, što dovođi do zakrivljenih putanja (Prilog 79). Otklon atmosfere postavlja složene globalne obras-



**Prilog 78.** Kretanja vazdušnih masa na statičnoj Zemlji  
Izvor: NOAA

ce vetra koji pokreću i površinske okeanske struje. Svako telo koje se kreće meridijanskim pravcem je pod uticajem Korioliseve "sile". Ako se posmatra čitava planeta Zemlja, mogu se uspostaviti zakonomernosti po kojima se kreće svako telo u geografskom koordinatnom sistemu. Na severnoj hemisferi svako telo koje se kreće iz većih geografskih širina ka manjim, od severa ka jugu, duž pravca kretanja polako odstupa od njega, skreće u desno (ka zapadu). Ako se telo na severnoj hemisferi kreće od juga ka severu, duž pravca kretanja polako odstupa od njega i skreće ponovo u desno (ka istoku). Od severa ka jugu, svaka južnija tačka ima veću rotacionu brzinu od njoj severnije tačke. Kao posledica toga, svako telo koje se kreće od severa ka jugu (na severnoj hemisferi) stalno ulazi u zone većih rotacionih brzina pa zaostaje u tim zonama i skreće u desno (ka zapadu) u odnosu na referentne tačke pored kojih prolazi.

Slično se dešava i kod kretanja u suprotnom smeru, od juga ka severu (na severnoj hemisferi). U ovom slučaju tačka koja se kreće ima veću rotacionu brzinu od referentnih tačaka pored kojih prolazi i ponovo skreće u odnosu na njih u desno ali u ovom slučaju je to ka istoku. Ista zakonitost važi i na južnoj Zemljinoj polulopti, ali se skretanje na njoj uvek odvija u levo u odnosu na meridijanski smer kretanja tela. Skretanje je veće ako je veća sopstvena brzina tela kao i dužina putanje kretanja, a stepen skretanja je proporcionalan sinusu geografske širine (Bukurov, 1974), takođe, od ekvatora ka polovima stepen skretanja se povećava.

**Prilog 79.** Stvarna kretanja vazdušnih masa na Zemlji  
Izvor: NOAA

Osim skretanja, Koriolisev efekat ima i vertikalnu komponentu, tela koja se kreću sa zapada se izdižu u odnosu na površinu, a tela koja se kreću sa istoka se spuštaju u odnosu na površinu Zemlje. Korioliseva "sila" je neznatna veličina, ali ima izražen uticaj na pravce atmosferske cirkulacije na Zemlji zbog toga što direktno utiče na pravce vetrova. Posebno je vidljiv ovaj uticaj na pasatske vetrove. Pasići se kreću iz većih geografskih širina ka manjim, imaju manju rotacionu brzinu od oblasti u koju dolaze i samim tim skreću, na severnoj polulopti u desno, a na južnoj polulopti u levo. Upravo zbog toga, na severnoj polulopti su pasati severoistočni vetrovi, a na južnoj polulopti, jugoistočni vetrovi.

Smer strujanja vazdušnih masa u ciklonima i anticiklonima takođe je pod uticajem Koriolisevega efekta, pod njegovim uticajem kreću se i vodene mase ako je njihovo kretanje u meridijanskom pravcu. Reke više erodiraju svoje desne obale na severnoj Zemljinoj polulopti, dok na južnoj polulopti reke više podsecaju leve obale. Isti princip je prisutan i kod kretanja morskih struja.

Poreklo rotacije Zemlje nije definitivno određeno, ali postoje hipoteze. Najprihvaćenija je hipoteza prvobitne rotacije Zemlje koja je ostatak prvobitnog momenta impulsa oblačka prašine, kamenja i gasa koji su se spojili i formirali Sunčev sistem. Ovaj praoblak se stojao od vodonika i helijuma proizvedenih u velikom prasku, kao i težih elemenata koje su izbacile supernove. Pošto je ova međuzvezdana prašina heterogena, svaka asimetrija

tokom gravitacione akrecije rezultirala je momentom impulsa eventualne novostvorene planete. Na rotaciju Zemlje umnogome utiče i Mesec, ako je hipoteza o džinovskom udaru o poreklu Meseca tačna, ova prastopa rotacija bi bila izmenjena udarom Teje pre 4,5 milijardi godina.

Bez obzira na brzinu i nagib Zemljine rotacije pre udara, Zemlja bi trebalo da je imala vreme rotacije oko pet sati nakon udara. Efekti plime i oseke su usporavali rotacionu brzinu na njenu savremenu vrednost (Stevenson, 1987).

## POSLEDICE ROTACIJE ZEMLJE

### Prividno dnevno kretanje nebeskih tela

Prividno dnevno kretanje nebeskih tela je jedna od posledica rotacije Zemlje. Ukoliko tokom noći posmatramo nebeski svod, možemo primetiti da zvezde nemaju stalni položaj. Sve zvezde na nebeskom svodu tokom noći, kontinuirano menjaju svoj položaj od istoka ka zapadu. Neke zvezde iscrtavaju svoju putanju visoko iznad horizonta, druge su nisko, neke zalaze za horizont, a neke su tokom čitave noći iznad horizonta. Ako se posmatra jedna, uvek ista zvezda, ona svake noći izlazi i zalazi na istim tačkama na horizontu. U nekom delu noći zvezda se pojavljuje na horizontu u tački izlaska, kreće se lučnom putanjom tokom noći gde se u početnom delu putanje izdiže iznad horizonta do određene visine, a potom nastavlja po lučnoj putanji da se spušta i ponovo približava horizontu gde se u tački zalaska ona gubi iza horizonta. Ako se istovremeno posmatraju putanje više zvezda, može se konstatovati da su one uvek međusobno paralelne i upravo ta osobina prividnog dnevnog kretanja nebeskih tela čini osnov orientacije na nebeskoj sferi. Kako se zvezde kreću po međusobno paralelnim putanjama, neke će opisivati kraće, a neke duže putanje. Zvezde koje se kreću po najdužoj putanji

po najvećem krugu oko Zemlje, izlaze i zalaze u tačkama na  $180^{\circ}$  na horizontu i te tačke su pozicija pravog istoka i zapada.

Pojedine zvezde su stalno iznad horizonta i tokom noći opisuju kružne putanje. Posmatrajući ih, može se zapaziti da se njihove putanje (kružnice) smanjuju ka određenoj tački gde nema nikakvog kretanja, ta tačka se naziva nebeski pol ili stožer.

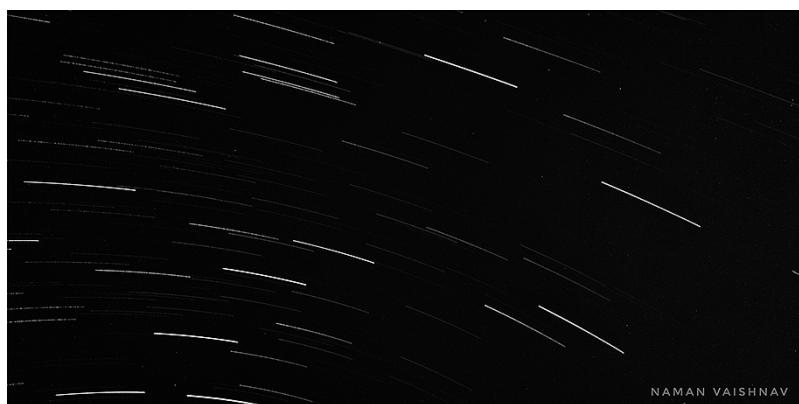
Takođe, kako se smanjuje kružnica zvezde po kojoj opisuje putanje, direktno proporcionalno se smanjuje i njena prividna brzina kretanja. Na nebeskoj sferi postoje dva pola čiji su položaji pod uglom od  $180^{\circ}$  i zajedno predstavljaju krajnje tačke nebeske osovine. Zamišljena kružnica koja prolazi kroz oba nebeska pola, zenit, severnu i južnu tačku horizonta, naziva se meridijan mesta. Meridijan mesta je kružnica koju tokom 24 sata svaka zvezda dva puta preseca, tj. ima kulminaciju.

Kulminacija može biti gornja i donja, gornja je kada je zvezda najviša iznad horizonta, a donja kulminacija se nalazi na  $180^{\circ}$  od gornje i predstavlja poziciju kada je zvezda najniža na horizontu ili ispod horizonta, a na poziciji meridijana mesta.

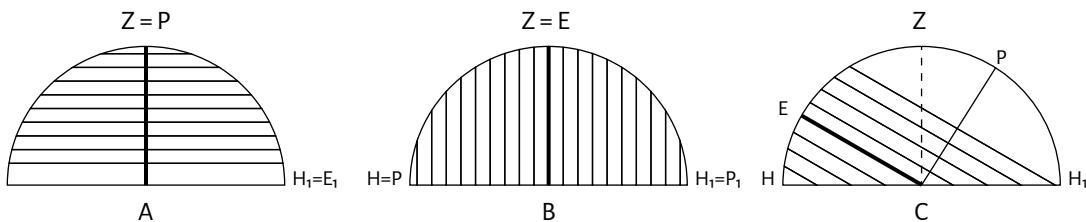
Zvezde koje su u blizini nebeskog pola imaju male putanje, nikada ne zalaze ispod horizonta tako da obe kulminacije imaju iznad horizonta, njih nazivamo cirkumpolarnim zvezdama. Zvezde koje prividno izlaze na istoku i prividno zalaze na zapadu se nazivaju necirkumpolarnе zvezde. Kod ovih zvezda linija horizonta deli njihove nebeske paralele na vidljivi deo putanje (iznad horizonta) i nevidljivi deo putanje (ispod linije horizonta). Njihova donja kulminacija je ispod horizonta.

Neke zvezde se nikada ne vide iznad horizonta, to su anticirkumpolarnе zvezde. Koje

- **Prilog 80.** Prividno dnevno kretanje zvezda, fotografija sa dugom eksponacijom  
Izvor: [quora.com](https://www.quora.com);  
foto: Naman Vaishnav



➊ **Prilog 81.** Nebeske sfere: paralelna - A, okomita - B i kosa - C  
Izvor: Kornel, Bugarski 1996.



zvezde će biti vidljive na nebeskoj sferi i kojoj grupi će pripadati, zavisi od geografske širine kao i visine tačke stojišta. Ako je posmatrač na ekvatoru nebeski pol i nebeska osovina se nalaze u ravni horizonta, a nebeski ekvator prolazi kroz zenit. Tada sve nebeske paralele sekutu horizont pod pravim uglom, a ekvator ih polovi. Posmatrač na ekvatoru vidi sve gornje kulminacije na nebeskoj sferi svih zvezda severnog i južnog neba, ali ne može videti ni jednu donju kulminaciju zvezda. Ovakva nebeska sfera se naziva okomita nebeska sfera (Prilog 81).

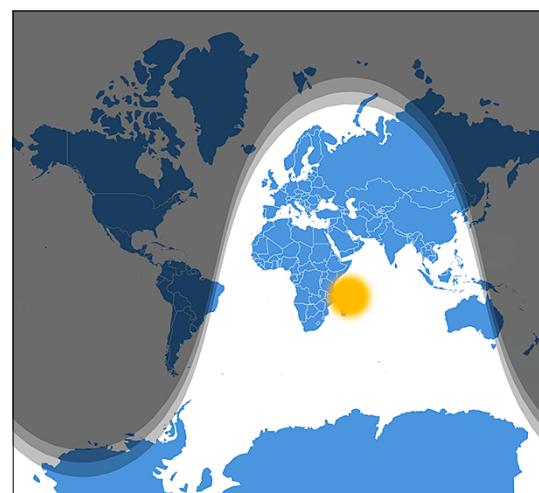
Ako se posmatrač nalazi na geografskom polu, nebeski pol mu je u zenitu i tada se nebeski ekvator i horizont posmatrača nalaze u istoj ravni, a nebeske paralele su paralelne sa horizontom. Za posmatrača na geografskom polu sve zvezde severnog ili južnog neba, u зависности od geografskog pola na kom se posmatrač nalazi, će imati i gornje i donje kulminacije iznad horizonta, dakle, sve zvezde koje vidi su mu cirkumpolarne zvezde. Ovakva nebeska sfera se naziva paralelna sfera (Prilog 81).

Ako je posmatrač između ekvatora i pola onda se čitava nebeska sfera nalazi pod uglom u odnosu na horizont. Visina pola zavisi od geografske širine i predstavlja ugaono rastojanje pola od horizonta posmatrača, njena vrednost odgovara geografskoj širini. Nebeske paralele sekutu horizont pod uglom koji odgovara razlici uglovne visine zenita i geografske širine. Nebeski pol se nalazi između zenita i ravni horizonta, a nebeski ekvator seče horizont. Sve zvezde kod kojih je ugaono rastojanje od severnog nebeskog pola manje od geografske širine stojišta, biće cirkumpolarne, zvezde kod kojih je ugaono udaljenje od severnog pola veće od  $180^{\circ}$  biće južne cirkumpolarne (anticirkumpolarne) zvezde, dok će sve ostale zvezde imati gornju kulminaciju, izlaziće i zalaziće iznad horizonta posmatrača. Ovakva nebeska sfera se naziva kosa sfera (Prilog 81). Sve opisane nebeske sfere u njihove osobine su direktna posledica stvarne rotacije Zemlje.

### Smena obdanice i noći

Smena obdanice i noći je još jedna od posledica rotacije Zemlje. Zemlja se okreće oko svoje osovine od zapada ka istoku. Direktna posledica ovog okretanja je smena osvetljenja na planeti Zemlji, to jest smena obdanice i noći. Pošto je Zemlja okruglog oblika, Sunce uvek osvetljava jednu njenu polovinu na kojoj je obdanica, u isto vreme, suprotna strana Zemlje je bez Sunčevog svetla i na njoj je noć. Linija koja čini granicu između osvetljene i neosvetljene površine na Zemlji se naziva granica osvetljenja ili terminator. Tokom rotacije Zemlje svaka tačka na površini menja svoj položaj, tokom noći se polako približava terminatoru, u trenutku kada pređe terminator počinje obdanica. Na taj način neosvetljene površine na Zemlji bivaju osvetljene dok drugi delovi, koji su bili osvetljeni takođe prelaze terminator i ulaze u tamu, neosvetljeni deo, na tim površinama počinje noć. Na ovaj način, kao direktna posledica rotacije, dolazi do smene obdanice i noći na Zemlji.

Smena obdanice i noći je veoma značajna pojava na Zemlji. One površine Zemlje koje su na obdanici primaju značajnu količinu Sunčeve energije, pa su životni procesi intenziv-



➋ **Prilog 82.** Terminator na Zemlji  
Izvor: amcharts.com

ni, a ljudske aktivnosti dostižu vrhunac. Slična situacija je i u ostalim sferama, aktivnosti u hidrosferi i atmosferi su izražene. Suprotno tome, tokom noći, manji priliv energije Sunca čini da se aktivnosti u biosferi, hidrosferi i atmosferi drastično smanjuju. Sunce na svojoj prividnoj putanji od istoka ka zapadu u jednom trenutku dostiže najvišu tačku, to je kulminacija na meridijanu posmatrača. Tada je u stojištu posmatrača podne, odnosno 12 časova, u isto vreme u mestima koje se nalaze istočnije od pozicije stojišta podne je već prošlo, a na tačkama zapadnije od stojišta tek će doći do kulminacije Sunca, to jest tek će biti podne.

Vreme koje se određuje prema prolasku Sunca kroz meridijan jednog mesta naziva se mesno ili lokalno vreme. Sve tačke na istom meridijanu imaju isto vreme. Za definisano stojište, na  $90^{\circ}$  na istok je 6 časova ujutru, na  $90^{\circ}$  na zapad je 6 časova uveče, a na suprotnoj strani planete, na  $180^{\circ}$  u odnosu na meridijan stojišta je ponoć. Na planeti Zemlji se može povući bezbroj meridijana pa samim tim ima i bezbroj lokalnih vremena. Upotreba apsolutno tačnog lokalnog vremena je veoma ograničena, svako putovanje, promena mesta pa čak i manje pomeranje dovelo bi do netačnosti u očitavanju vremena.

Koordinisanje vremena između više mesta tokom putovanja zahtevalo bi više angažovanosti nego što bi sama preciznost merenja vremena donela prednosti. Ako bi se posmatrala jedna ograničena teritorija, na primer teritorija neke države, gradovi i mesta koja se nalaze istočnije od meridijana referentnog lokalnog vremena pokazuju kasnije vreme, dok je u mestima ka zapadu suprotno.

Na teritoriji Srbije, razlika u dva krajnja, najzapadnijem i najistočnijem lokalnom vremenu je oko 16 minuta. U najistočnijoj tački u Srbiji, vrhu Srebrna glava na Staroj planini, Sunce izlazi i zalazi 16 minuta ranije u odnosu na najzapadniju tačku u Srbiji, na tromedju kod Bezdana.

Zbog toga što je Zemlja okrugla, Sunce obasjava samo jednu stranu Zemlje gde je obdanicu, a na drugoj strani je noć, a usled rotacije Zemlje, Sunce izlazi četiri minuta ranije idući na istok na svakih  $1^{\circ}$  ili na svakih  $15^{\circ}$  jedan sat ranije.

## Zonsko vreme, svetsko vreme i datumska granica

Zonsko vreme, svetsko vreme i datumska granica su pojmovi koji se vezuju za savremeno računanje vremena na Zemlji. Prividan položaj Sunca na nebu, samim tim i njegov položaj u zenitu varira u zavisnosti od lokacije što je posledica sfernog oblika Zemlje. Posmatrajući geografsku dužinu, prividno pomeranje Sunca za  $1^{\circ}$  geografske dužine se odvija za svakih četiri minuta vremenski. Ako posmatramo Srbiju, najzapadnije naseljeno mesto je Bezdan koji se nalazi na  $18^{\circ} 55' 30''$ , a najistočnije je Senokos koji se nalazi na  $22^{\circ} 55' 20''$ , njihova razdaljina je približno 40 geografske dužine. To znači da postoji značajna razlika u mesnom vremenu ova dva naselja, u Senokosu Sunce izlazi, nalazi se u zenitu i zalazi 16 minuta ranije u odnosu na Bezdan.

Razlike u mesnim vremenima nisu praktične pa je bilo potrebno standardizovati vreme na široj teritoriji. Prvo standardizovano vreme u svetu je ustanovljeno u Kraljevskoj opservatoriji u Griniču još 1675. godine i nazvano je Griničko srednje vreme (GMT), isprva su ga koristili moreplovci, pretežno britanska mornarica za tačno pozicioniranje i određivanje geografske dužine. U Engleskoj u XIX veku, kako se transport i telekomunikacije naglo razvijaju, postalo je nemoguće da se za svaku lokaciju posmatra mesno vreme.

U Velikoj Britaniji je 1840. godine Velika zapadna železnica prva počela da koristi GMT, a ovu praksu su ubrzo sledile druge železničke kompanije i postala je poznata kao železničko vreme. Ovo je prva standardizacija vremena na nivou jedne države u ovom slučaju za potrebe železnice. Do 1855. godine, skoro svi javni satovi u Velikoj Britaniji su bili podešeni da prikazuju GMT vreme, a zakonsko - državno vreme GMT je postao tek 2. avgusta 1880. godine.

Zanimljivo je da je 2. novembra 1868. tadašnja britanska kolonija Novi Zeland zvanično usvojila standardno vreme koje se posmatra u celoj koloniji. Zasnovan je na geografskoj dužini  $172^{\circ} 30'$  istočno od Griniča, što je 11 sati i 30 minuta ispred GMT. Ovaj standard je bio poznat kao novozelandsko srednje vreme.

U Severnoj Americi je železnički sistem koristio različite standarde vremena. Charles F. Daud (*Charles F. Dowd*) je predložio sistem

standardnih vremenskih zona po jednom satu za severnoameričke železnice oko 1863. godine. Godinu dana nakon konsultacije sa železničkim zvaničnicima (1869), predložio je četiri vremenske zone koje se smenjuju pravcem sever-jug, a granice čine prirodne celine. Severnoameričke železnice nikada nisu prihvatile Daudov sistem. Umesto toga, američke i kanadske železnice primenile su verziju koju je predložio William F. Alen (William F. Allen). Granice njegovih vremenskih zona prolazile su kroz železničke stanice, često u većim gradovima (White, 2005). Severnoameričke zone su nazvane Interkolonijalna, Istočna, Centralna, Planinska i Pacifička. Američki Kongres je zvanično usvojio standardne vremenske zone Zakonom o standardnom vremenu od 19. marta 1918. godine. Osim za potrebe železnica i generalnog transporta, standardizovano vreme je kao ideja postojalo i nešto ranije.

Italijanski matematičar Giuseppe Barilli (pseudonim Quirico Filopanti) uveo je ideju o svetskom sistemu vremenskih zona u spisu koji je objavljen 1858. Predložio je dvadesetčetvorotčasovne vremenske zone, koje je nazvao „longitudinalni dani“, gde je prva zona sa središtem na meridijanu Rima. Takođe je predložio univerzalno vreme koje bi se koristilo u astronomiji i telegrafiji. Međutim, njegova

knjiga nije privukla pažnju sve do dugo nakon njegove smrti (Parmeggiani, 2007).

Isti sistem je predložio i Kanađanin Sanford Fleming (Sandford Fleming) koji je 1876. godine, podelio svet na dvadeset četiri vremenske zone sa oznakom A-I (preskačući J), od kojih svaka pokriva 15° geografske dužine. Svi satovi u istoj zoni bi bili podešeni na isto vreme, ali bi se razlikovali za jedan sat od onih u susednim zonama (Stromberg, 2011).

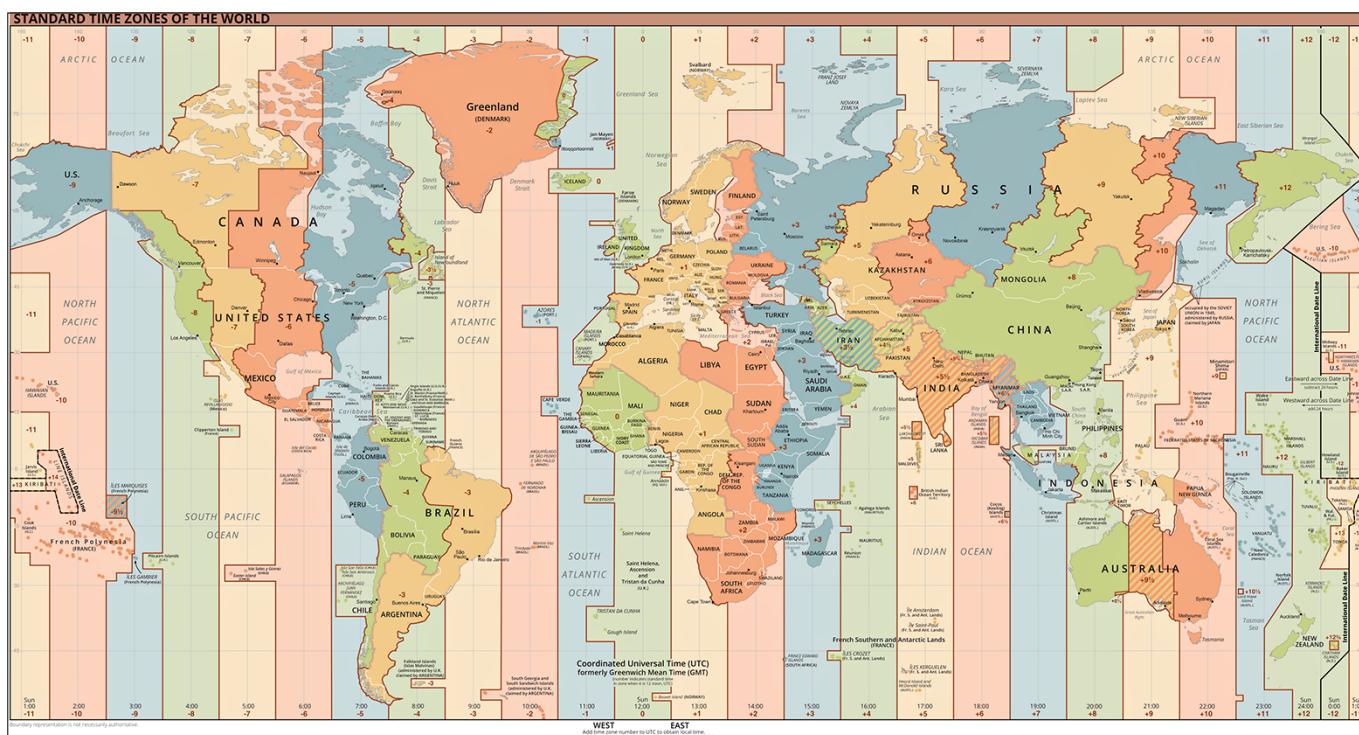
Od 1897. godine, sve države u Evropi su usvojile sistem vremenskih zona sa izuzetkom Francuske koja je sistem prihvatala 1911. godine (Parmeggiani, 2007). Otprilike do 1900. godine, skoro sve države na Zemlji su usvojile standardnu vremensku zonu, ali samo neke od njih su koristile odstupanje po satu od GMT-a. Mnogi su primenili vreme u lokalnoj astronomskoj opservatoriji na celu državu, bez ikakvog pozivanja na GMT. Prošlo je mnogo decenija pre nego što su sve vremenske zone bile zasnovane na nekom standardnom pomaku od GMT ili koordinisanog univerzalnog vremena (UTC).

Do 1929. godine, većina zemalja je usvojila vremenske zone po satu, iako su neke zemlje kao što su Iran, Indija, Mjanmar i delovi Australije imale vremenske zone sa pomeranjem od 30 minuta. Nepal je bio poslednja zemlja

## 1 Prilog 83.

Vremenske zone na Zemlji

Izvor: [cia.gov/the-world-factbook](http://cia.gov/the-world-factbook)



koja je usvojila standardnu zonu, blago se pomjerivši na UTC+05:45 1986. godine.

Zemlja je podeljena na 24 časovne zone, svaka ima širinu od  $15^{\circ}$  geografske dužine i vremenski su razmagnute za jedan sat. Vreme unutar jedne zone je jedinstveno i važi u svakoj tački te zone. Vreme u svakoj zoni je određeno na osnovu mesnog vremena centralnog meridijana posmatrane vremenske zone. Svaka zona je označena rednim brojem. Nulta zona se prostire između  $7,5^{\circ}$  IGD i  $7,5^{\circ}$  ZGD, na sredini nulte zone nalazi se Grinički meridijan. Istočno od nulte zone, nalazi se prva zona, između  $7,5^{\circ}$  IGD i  $7,5^{\circ}$  IGŠ. Srednji meridijan po kome se računa vreme prve zone udaljen je  $15^{\circ}$  istočno od Griničkog meridijana. Sledeća, prema istoku je vremenska zona tri, nalazi se između  $22,5^{\circ}$  IGD i  $37,5^{\circ}$  IGD, a centralni meridijan ove zone je udaljen  $30^{\circ}$  istočno od Griničkog meridijana. Na isti način se smenjuju sve naredne vremenske zone.

Vremenske zone nose i dodatne nazive, nulta se naziva i Zapadnoevropska časovna zona, zona jedan se zove i Srednjeevropska časovna zona, zona dva je Istočnoevropska časovna zona, itd. Časovne zone se smenjuju na sat vremena prema istoku u pozitivnom smeru, nulta zona, zona +1 sat, zona +2 sata, zona +3 sata... Ako se zone posmatraju ka zapadu, od nulte zone se zone vremenski smenjuju u negativnom smeru, nulta zona, zona -1 sat, zona -2 sata, zona -3 sata... Praktično, ako se zone prelaze krećući se na istok, za svaku pređenu zonu se dodaje po jedan sat, ukoliko se zone prelaze na putovanju u smeru zapada, za svaku pređenu zonu se oduzima jedan sat.

Poslednja zona se nalazi na  $180^{\circ}$  u odnosu na nultu zonu, njen centralni  $180^{\circ}$  meridijan je deli na njenu zapadnu polovicu u kojoj je vreme -12 sati i na njenu istočnu polovicu u kojoj je vreme +12 sati. Ovo je jedina časovna zona u koja je vremenski podeljena i to na  $7,5^{\circ}$  geografske dužine za vremenski jedan sat.

Matematičke granice vremenskih zona uslovljene su sfernom površinom Zemlje, jasno su definisane, i pored toga mnoge države drugačije određuju vreme na svojoj teritoriji. Uobičajno je da granica između vremenskih zona bude međudržavna granična linija, a ne meridijan, što je vidljivo na kopnenim delovima Zemlje. Nekoliko država i dalje koristi pola sata

ili četvrt sata odstupanja od standardnog vremena, Novi Zeland većinom je UTC+12:00, a na Karam ostrvima UTC+12:45. Neke ostrvske države i teritorije imaju standardno vreme van okvira kranje zone, Kiribati, Tonga, Tokelau i Samoa UTC+13:00. Najzapadnija vremenska zona koristi UTC-12, što je dvanaest sati iza UTC, najistočnija vremenska zona koristi UTC+14, što je četrnaest sati ispred UTC.

Godine 1995, ostrvska država Kiribati pomerila je svoje atole na ostrvima Line sa UTC-10 na UTC+14 kako bi sve teritorije Kiribati bile u istom datumu.

Neke države, kao što su Kina i Indija, koriste jednu vremensku zonu iako obim njihove teritorije daleko premašuje idealnih  $15^{\circ}$  geografske dužine za jedan sat; druge zemlje, kao što su Španija i Argentina, koriste standardne pomake zasnovane na satu, ali ne nužno one koje bi bile određene njihovom geografskom lokacijom.

U Rusiji, koja ima 11 vremenskih zona, dve vremenske zone su uklonjene 2010. godine i ponovo vraćene 2014. godine. Vremenske zone su umnogome pod uticajem političkih, trgovачkih i saobraćajnih interesa, a na vreme unutar zone mogu da utiču i druge prakse, na primer letnje računanje vremena.

Letnje računanje vremena (DST) je praksa pomeranja časovnika (obično jedan sat) tokom toplijih meseci, tako da mrak pada u kasnijim časovima. Tipična primena DST-a je da se satovi pomeraju za jedan sat unapred u proleće i da se satovi vrate za jedan sat unazad u jesen da bi se vratili na standardno vreme. Kao rezultat toga, postoji jedan dvadesetetročasovni dan u rano proleće i jedan dvadesetpetočasovni dan sredinom jeseni.

Ideju o usklađivanju budnog vremena sa dnevnim satima radi očuvanja sveća prvi je predložio, doduše u satiričnom kontekstu, američki naučnik Bendžamin Frenklin (Benjamin Franklin) 1784. godine i sugerisao da bi se ranijim buđenjem tokom leta uštedelo na korisćenju sveća (fi.edu). Godine 1908. u Ontarioju, Kanada, počelo je da se koristi letnje računanje vremena prvi put u svetu. Počevši od 30. aprila 1916. godine, Nemačko carstvo i Austrougarska su organizovale prvu implementaciju.

Mnoge zemlje su od tada koristile DST u različito vreme, posebno od energetske krize se-

damdesetih godina XX veka. DST se generalno ne primećuje u blizini ekvatora, gde vremena izlaska i zalaska sunca ne variraju dovoljno da bi to bilo opravdano. Neke zemlje ga primenjuju samo u nekim regionima (Australija). Nasuprot tome, ne primećuje se na nekim mestima na visokim geografskim širinama, jer postoje velike varijacije u vremenu izlaska i zalaska Sunca i jednočasovna smena ne bi napravila veliku razliku. Sjedinjene Države koriste DST, osim država Havaja i Arizone. Manji deo svetske populacije koristi DST, Azija, Afrika, Latinska Amerika i Karibi uglavnom nemaju letnje računanje vremena. Na prostorima bivše Jugoslavije letnje računanje vremena je uvedeno 1983. godine.

Uvođenjem zonskog vremena nije ponuđen način jedinstvenog vremena na celoj planeti Zemlji. Termin "Univerzalno vreme (UT)" 1928. godine, počela je da koristi Međunarodna astronomска unija za označavanje GMT vremena, sa danom koji počinje u ponoć po GMT-u. Sve do pedesetih godina XX veka, vremenski signali emitovanja su bili zasnovani na UT, a samim tim i na rotaciji Zemlje.

Godine 1955, konstruisan je cezijum atomska sat. Ovo je omogućilo stabilnije merenje vremena i pogodnije od astronomskih posmatranja. 1956. godine, američki nacionalni biro za standarde i američka mornarička opservatorija počeli su da razvijaju vremenske skale atomske frekvencije. Do 1959, ove vremenske skale su korišćene za generisanje vremenskih signala WWV, nazvanih po kratkotalasnoj radio-stanici koja ih emituje. Godine 1960, Američka pomorska opservatorija, Kraljevska opservatorija u Griniču i Nacionalna fizička laboratorijska Ujedinjenog Kraljevstva koordinirale su svoje radio emisije tako da su vremenski koraci i promene frekvencije bili koordinisani, a rezultujuća vremenska skala je neformalno nazvana „koordinisano univerzalno vreme - UTC“ (McCarthy, Dennis, 2009).

Koordinisano univerzalno vreme ili UTC je primarni standard vremena kojim svet reguliše satove i vreme. Nalazi se unutar jedne sekunde srednjeg sunčevog vremena (kao što je UT1) na  $0^{\circ}$  geografske dužine (na IERS referentnom meridijanu kao trenutno korišćenom osnovnom meridijanu). UTC je naslednik srednjeg vremena po Griniču (GMT). Sistem je priagođavan nekoliko puta, trenutna verzija UTC

definisana je Preporukom Međunarodne unije za telekomunikacije (ITU-R TF.460-6), emisijom standardne frekvencije i vremenskih signala i zasnovana je na Međunarodnom atomskom vremenu (TAI) sa dodatkom prestupnih sekundi na nepravilnim intervalima za kompenzaciju akumulirane razlike između TAI i vremena merenog Zemljinom rotacijom. Prestupne sekunde se ubacuju po potrebi da bi se UTC održao unutar 0,9 sekundi od UT1 variјante univerzalnog vremena (nist.gov).

UTC ima puno primena, vremenske zone širom sveta su definisane korišćenjem pozitivnih ili negativnih odstupanja od UTC. U astronomskim posmatranjima i merenjima se koristi UTC. UTC se koristi u mnogim internet i World Wide Web standardima. Network Time Protocol (NTP), dizajniran da sinhronizuje satove računara preko interneta, prenosi informacije o vremenu iz UTC sistema.

UTC je takođe vremenski standard koji se koristi u vazduhoplovstvu za planove letenja i kontrolu vazdušnog saobraćaja. Vremenske prognoze i mape koriste UTC kako bi se izbegla zabuna oko vremenskih zona i letnjeg računanja vremena. Sve svemirske agencije u svetu kao i Međunarodna svemirska stanica takođe koriste UTC kao vremenski standard.

ISO 8601 je standard koji je uspostavila Međunarodna organizacija za standardizaciju a koji definiše metode predstavljanja datuma i vremena u tekstualnom obliku, uključujući specifikacije za predstavljanje vremenskih zona. Ako je vreme u univerzalnom koordinisanom vremenu (UTC), "Z" se dodaje direktno posle vremena bez razmaka. "Z" je oznaka zone za nulti UTC, „09:30UTC“ je stoga predstavljeno kao „09:30Z“ ili „0930Z“. Isto tako, „14:45:15UTC“ je isto kao i „14:45:15Z“ ili „144515Z“. UTC vreme je takođe poznato kao "Zulu" vreme, pošto je "Zulu" kodna reč fonetskog alfabeta za slovo "Z".

Odstupanja od UTC se pišu u formatu  $\pm hh:mm$ ,  $\pm hhmm$  ili  $\pm hh$  (bilo sati ispred ili iza UTC). Na primer, ako je opisano vreme jedan sat ispred UTC (kao što je vreme u Nemačkoj tokom zime), oznaka zone bi bila „+01:00“, „+0100“ ili jednostavno „+01“. Ovaj numerički prikaz vremenskih zona se dodaje lokalnom vremenu na isti način na koji se dodaju abecedne skraćenice vremenske zone (ili „Z“, kao

gore). Odstupanje od UTC se menja sa letnjim računanjem vremena, npr. vremenski pomak u Čikagu, koji je u Severnoameričkoj centralnoj vremenskoj zoni, je „-06:00“ za zimu (centralno standardno vreme) i „-05:00“ za leto (centralno letnje vreme) (noaa.gov).

Idući na istok, Sunce izlazi na svaki stepen geografske dužine četiri minuta ranije, što bi značilo da za 360° jedan dan ranije. Idući na zapad, Sunce na svaki stepen geografske dužine četiri minuta izlazi kasnije, za  $360^{\circ}$  jedan dan kasnije. To su primetili moreplovci, morala se postaviti granica dokle će se računati istok i zapad, to jest odrediti meridijan gde

će istovremeno biti dva datuma. Taj meridian, na kome je kraj istoka i zapada, se nalazi na  $180^{\circ}$  i naziva se datumska granica. Iz praktičnih razloga datumska granica se ne poklapa sa  $180^{\circ}$  meridianom, ona ide po vodenoj površini izbegavajući ostrva i atole. Kada se putuje na istok i pređe zamišljena datumska granica ponavlja se isti datum, nasuprot toga, kada se putuje ka zapadu i pređe datumska granica, preskače se sledeći datum. Na primer, putovanje na istok na datum 12. 5. prilikom prelaska se ponovo beleži datum 12. 5. Prilikom putovanja na zapad datum 12. 5. prilikom prelaska datumske granice beleži se datum 14. 5.

## ODREĐIVANJE POLOŽAJA NEBESKIH TELA

Na nebeskom svodu vide se brojna nebeska tela koja bez obzira na svoju stvarnu udaljenost mogu biti veoma blizu jedno drugom. Prilikom dnevnog prividnog kretanja nebeskog svoda, zvezde kao i druga nebeska tela ne menjaju svoj međusobni položaj. Da bismo odredili tačan položaj svakog objekta na nebeskom svodu, potrebno je uvesti posmatrani objekat u definisani koordinatni sistem. Koordinate svih sistema, koji se koriste za određivanje položaja nebeskih tela, su lučne i one po sferi određuju udaljenost tela od dve međusobno upravne ravni. Za osnovnu ravan, apscisu, uzima se ravan horizonta, ravan nebeskog ekvatora, ravan ekliptike ili ravan galaksije. U odnosu na ove, upravna, vertikalna ravan predstavlja ordinatu definisanoj nebeskog koordinatnog sistema.

Prvo je nastao koordinatni sistem horizonta gde ravan horizonta predstavlja apscisu, a kasnije i koordinatni sistem ekvatora, ekliptike i galaksije. Geografi su pre svega zainteresovani i koriste koordinatne sisteme horizonta i ekvatora, a astronomi koriste ekliptički i galaktički koordinatni sistem. Prilikom orijentacije na nebeskoj sferi, polazi se od toga da se pozicija stojišta nalazi u orijentacionom centru. Kružna, horizontalna površina u čijem centru se nalazi stojište i koja seče nebesku sferu, naziva se horizont, a sama ravan, ravan horizonta.

Iznad ravni horizonta se nalazi nebeska kugla u čijem se geometrijskom centru nalazi tačka stojišta sa kog se vidi unutrašnji deo

kugle koju nazivamo nebeska sfera, a na kojoj su projekcije zvezda i drugih nebeskih tela. Linija koja vertikalno prolazi kroz poziciju stojišta i kroz ravan horizonta, naziva se vertikala ili vertikalni pravac. Njene krajnje tačke su zenit, tačka ravno iznad stojišta i nadir, tačka na suprotnoj strani od zenita, nalazi se na nevidljivom delu nebeske sfere.

Kružnice čije su ravni upravne na vertikalu, a paralelne sa ravnim horizontom nazivaju se almukantarati. Svaka zvezda kao i svako drugo nebesko telo se u svakom trenutku nalazi na nekom almukantaratu.

Nebeska osovina ili polarna osovina je zamišljena linija koja prolazi kroz centar nebeske sfere i dodiruje je u severnom i južnom polu i u nastavku je Zemljine osovine. Ako posmatramo zvezde, sve zvezde opisuju potpune krugove po nebeskoj sferi na svaka 24 sata. U centru njihovih krugova je nebeska osovina, a njihove ravni krugova su upravne na nebesku osovinu. Krugovi po kojima se kreću, kao i njihove ravni, su međusobno paralelni i sve su manji idući ka polovima.

Kružne putanje zvezda nazivaju se nebeske paralele, a najveća nebeska paralela, naziva se nebeski ekvator. Nebeski ekvator deli nebesku sferu na severnu i južnu. Nebeski ekvator dodiruje svaki horizont na Zemlji u istočnoj i zapadnoj tački i po pravcu istok-zapad deli ravan horizonta na severnu i južnu površinu horizonta.

Na severnom i južnom polu, ravan horizonta je paralelna sa ravni nebeskog ekvatora. Podnevački krug ili meridijan stojišta je krug koji prolazi kroz nebeski pol, severnu tačku horizonta, nadir, južni nebeski pol, južnu tačku horizonta i zenit. Pomoću navedenih elemenata nebeske sfere i uz korišćenje ravni horizonta, ravni ekvatora, ravni ekliptike ili ravni galaksije, možemo odrediti položaj svakog nebeskog tela na nebeskoj sferi. Osnovna izabranu ravan čini apscisu, a zajedno sa vertikalom, koja je ordinata, čine koordinatni sistem. Položaj nekog tela na nebeskoj sferi je određen njegovim lučnim rastojanjem od apscise i ordinate.

### Koordinatni sistem horinta

Koordinatni sistem horinta je osnovni sistem za orijentaciju na nebeskoj sferi. Osnovni krug u ovom sistemu je krug horinta na kome se nalaze četiri glavne strane sveta. Stojište posmatrača se nalazi u središtu tog kruga i u središtu nebeske sfere. Osovina kruga je vertikala, a krajnje tačke vertikale su tačke zenita i nadira.

Kroz zenit i nadir može da prolazi bezbroj vertikalnih krugova upravnih na ravan horinta. Među njima, najznačajniji je meridijan stojišta. Ravan horinta i ravan meridijana stojišta su osnovne ravni za određivanje horizontskih koordinata, ravan horinta čini apscisu dok ravan meridijana stojišta čini ordinatu u horizontskom koordinatnom sistemu.

Azimut nebeskog tela je deo luka horizontskog kruga od južne tačke horinta do tačke

u kojoj se presecaju vertikalni krug posmatranog nebeskog tela i horizont. Drugim rečima, azimut je ugao između ravni meridijana stojišta i vertikalnog kruga posmatranog objekta. Azimut se izražava u ugaonim stepenima od 0 do  $360^\circ$ , a meri se od južne tačke horinta u suprotnom pravcu od Zemljine rotacije, od juga ka zapadu, severu i istoku. Visina je deo luka vertikalnog kruga i predstavlja lučni isečak od ravni horinta do posmatranog nebeskog tela, to jest visina je ugao između ravni horinta i pravca od stojišta do posmatranog nebeskog objekta, a po vertikalnom krugu tog objekta. Visina se izražava u ugaonim stepenima od 0 do  $+90^\circ$  prema zenitu za nebeska tela iznad horinta i od 0 do  $-90^\circ$  prema nadiru za tela ispod horinta.

Na osnovu karakteristika horizontskog koordinatnog sistema, može se zaključiti da nebeska tela koja se nalaze na istom vertikalnom krugu imaju isti azimut kao i da nebeska tela koja se nalaze na istoj nebeskoj paraleli imaju iste visine. Zenitna daljina (z) je retko korišćena koordinata koja predstavlja dopunu visini, odnosno ugaonu udaljenost nebeske paralele posmatranog nebeskog tela od zenita. Može se nalaziti u intervalu  $0^\circ$ - $180^\circ$  ugovornih stepeni.

Nedostatak koordinatnog sistema horinta je da određene koordinate za posmatrani objekat važe samo za određeno stojište i za određeno vreme u kojem se vršilo posmatranje.

### Ekvatorijalni koordinatni sistem

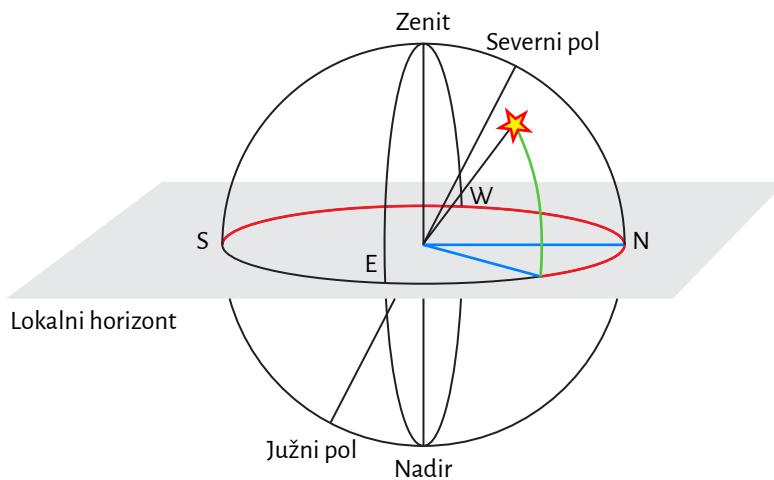
Ekvatorijalni koordinatni sistem se bazira na nebeskom ekvatoru koji leži u ravnini Zemljineg ekvatora. Upravno na ravan nebeskog ekvatora možemo iscrtati bezbroj nebeskih krugova koji prolaze kroz Severni i Južni pol, a samim tim i kroz nebesku osovinu. Ti krugovi se nazivaju deklinacioni krugovi ili časovni krugovi, nebeski meridijani ili podnevački krugovi.

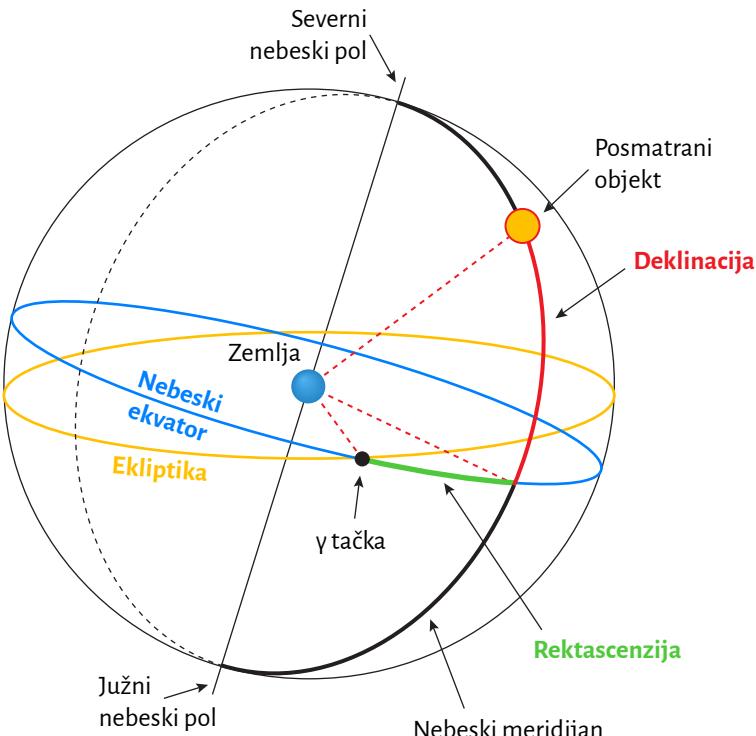
Jedan od njih prolazi kroz vertikalu stojišta i to je meridijan stojišta. Ravan početnog meridijana i ravan nebeskog ekvatora su osnovni ovog koordinatnog sistema, gde je deklinacija ordinata i časovni ugao apscisa.

Deklinacija je deo luka deklinacionog kruga od ravan nebeskog ekvatora do posmatranog nebeskog tela. Izražava se ugaonim stepenima

#### Prilog 84.

Koordinatni sistem horinta, azimut - crvena linija, visina - zelena linija





### Prilog 85.

Koordinatni sistem  
ekvatora

od  $0^\circ$  gde se nalazi ravan nebeskog ekvatora do  $+90^\circ$  gde je tačka severnog nebeskog pola ili do  $-90^\circ$  gde se nalazi tačka južnog nebeskog pola. Deklinacija može biti pozitivna ili negativna, a umesto pozitivna može se označiti i kao severna, a negativna deklinacija može nositi prefiks južna. Nebeska tela mogu imati istu deklinaciju i to znači da se nalaze na istoj nebеској паралели. U ekvatorijalnom koordinatnom sistemu, nebeska tela se kreću paralelno sa nebеским ekvatorom i od njega su uvek na istoj udaljenosti, samim tim deklinacija svakog nebeskog tela je stalna vrednost koja se ne menja tokom noći.

Druga koordinata, to jest apscisa u **lokalnom koordinatnom sistemu ekvatora** je časovni ugao. On predstavlja deo luka ekvatora od južne tačke, preko zapadne, severne i istočne tačke do deklinacionog luka posmatranog nebeskog tela, meri se u pravcu koji je suprotan rotaciji Zemlje. Časovni ugao je promenljivi i zavisi od doba dana ili noći što je posledica rotacije Zemlje. Promenljivost časovnog ugla je pravilna i predvidiva pa je i odnos između časovnog ugla kao ugaone komponente i vremenskih intervala lako ustanoviti:  $360^\circ = 24\text{h}$ ;  $180^\circ = 12\text{h}$ ;  $90^\circ = 6\text{h}$ ;  $1^\circ = 4\text{ minuta}$ ;  $1' = 4\text{ sekunde}$  i  $1'' = 0,066\text{ sekundi}$ .

Ako se koristi površina meridijana stojišta kao ordinata, onda je merenje časovnog

ugla problematično iz dva razloga, tokom noći menja se položaj posmatranog nebeskog tela usled rotacije Zemlje, a drugo, sva merenja koja se obave važe samo za određeno stojište pa svaka promena mesta zahteva ponovna premeravanja. Da bi se rešio problem apscise koristi se **svetski koordinatni sistem ekvatora** koga je prvi predložio Hiparh. On je predložio korišćenje prolećne tačke, mesta gde se sekut ekliptika i ravan ekvatora. Meridijan koji prolazi kroz prolećnu i jesenju tačku naziva se ekvinokcijski krug, a prolećna i jesenja tačka su pozicije u kojima se Sunce nalazi 21. marta i 23. septembra za vreme ravnodnevica, kada Sunce prividno opisuje najveći krug na nebeskoj sferi. Tačka u kojoj Sunce prolazi ekvator i prelazi sa južne na severnu poluloptu, naziva se prolećna tačka.

Uzimanjem ekvinokcijskog kruga za početni meridijan moguće je u bilo kom delu godine i sa bilo kog mesta na Zemlji, ekvinokcijski krug se ne menja sa stojištem i relativno je stalni. Ugao koji se nalazi između meridijana posmatranog nebeskog tela sa ekvinokcijskim krugom se naziva rektascenzija. Lučna udaljenost nebeskog tela od ekvinokcijskog kruga je stalna i karakteristična je za svako nebesko telo, slično kao i deklinacija. Meri se od početnog meridijana, u ovom slučaju ekvinokcijskog kruga, suprotno od pravca kazaljke na satu (direktni pravac). Sva nebeska tela koja imaju istu rektascenziju kulminiraju u isto vreme i leže na istom meridijanu.

### Pomeranje Zemljinih polova

Pomeranje Zemljinih polova je pojava koja je uslovljena rotacijom. Rotaciona osovina planete Zemlje ne zadržava uvek isti položaj nego pokazuje izvesno kolebanje koje se odražava na položaj polova. Ova pojava je uzrokovana nepodudaranjem rotacione osovine sa inercijskom osovinom planete Zemlje, već se prilikom okretanja Zemlje rotaciona osovina kreće oko inercijske osovine i opisuje kupu oko nje. Krajnja tačka rotacione osovine je geografski pol, a krajnja tačka inercijske osovine je astronomski pol.

Prilikom rotacije Zemlje, geografski pol opisuje u pravcu Zemljine rotacije spiralnu putanju u čijem centru je astronomski pol. Njegovo pomeranje se odražava i kao promena mesta

pola na samoj površini planete. Pri pomeranju, geografski pol se u odnosu na astronomski pol ne pomera više od devet metara na jednu stranu i devet metara na drugu njegovu stranu što znači da je ukupna amplituda pomeranja geografskog pola do 18 metara (Zinovy, 2009).

Ovo pomeranje poznato je pod nazivom Čendlerovo (*Seth Carlo Chandler*) kolebanje ili slobodna nutacija, a svojstvena je slobodno rotirajućim objektima koji nisu idealna sfera. Ovo kolebanje ima period od 433 dana (Myeller, 1969; Zinovy, 2009).

Dugo se smatralo da brojni faktori utiču na pojavu i održanje pomeranja rotacionog pola, kao što su: premeštanje vodenih masa usled plima i vetra, promene nivoa okeana, denuvacija, formiranje kopnenog leda, sferoidni oblik Zemlje, nehomogenost kao i različit sastav unutar grada Zemlje, tektonski poremećaji, promene obalske linije, vulkanska aktivnost pa čak i meteorski uticaji (Kanaet, T, 1963; Đere, Bugarski, 1984). Međutim, Zemlja nije kruto telo i Čendlerovo kolebanje bi trebalo da se smanji sa vremenskom konstantom od oko 68 godina (Gross, 2000) što je veoma kratak period u poređenju sa geološkim vremenским okvirima.

Ipak, postoje procesi koji neprestano ponovo pobuđuju ovo kolebanje. Iako se pretpostavljalno da to mora da je posledica promena u distribuciji mase ili ugaonog momenta spoljaš-

njeg jezgra Zemlje, atmosfere, okeana ili kore (od zemljotresa), dugo vremena je stvarni izvor bio nejasan, pošto se činilo da nijedno raspoloživo kretanje nije koherentno sa slobodnom nutacijom.

Godine 2001. u laboratoriji za mlazni pogon Kalifornijskog instituta za tehnologiju, uz pomoć modela ugaonog momenta atmosfere i okeana, u kompjuterskim simulacijama je dokazano da je od 1985. do 1996. godine, Čendlerovo kolebanje (slobodna nutacija) bilo pobuđeno kombinacijom atmosferskih i okeanskih procesa, pri čemu su dominantni mehanizam pobude bile fluktuacije pritiska na dnu okeana (Gross, 2000). Gross je otkrio da je dve trećine «kolebanja» uzrokovano fluktuirajućim pritiskom na morsko dno, što je, zauzvrat, uzrokovano promenama u cirkulaciji okeana izazvanim varijacijama u temperaturi, salinitetu i vetrusu. Preostala trećina kolebanja je izazvana fluktacijama atmosferskog pritiska (Gross, 2000).

Savremena istraživanja potvrđuju ove rezultate (Xin et al., 2021). Posledica pomeranja polova su promene u geografskim koordinatama na Zemlji. Geografski koordinatni sistem sa mrežom uporednika i paralela je fiksiran za geografske polove, a ako polovi menjaju svoje mesto onda se pomera i čitav sistem. Ipak, ove promene ne utiču drastično na pozicioniranje tačaka na površini Zemlje upravo zbog malog opsega pomeranja polova.

## LITERATURA

- Ashworth, B. W. 2018. Scientist of the day - Giovanni Battista Guglielmini. Linda hall library, ([lin-dahall.org](http://lin-dahall.org)).
- Bukurov, B. 1974. Matematička geografija. Institut za geografiju, Novi Sad.
- Daliga, K., Przyborski, M., Szulwic, J. 2016. Foucault's Pendulum. Uncomplicated Tool In The Study Of Geodesy And Cartography. EDULEARN15, 7th International Conference on Education and New Learning Technologie, 6-8 July, Barcelona, Spain.
- Đere, K., Bugarski, D. 1984. Matematička geografija. Institut za geografiju, Novi Sad.
- Đere, K., Bugarski, D. 1996. Matematička geografija. Departman za geografiju, Novi Sad.
- Graney, C. 2011. Coriolis effect, two centuries before Coriolis. Physics today, 64, 8, 8.
- Gross, R. S. 2000. The Excitation of the Chandler Wobble. Geophysical Research Letters, 27 (15): 2329-2332.
- Kanaet, T. 1963. Matematička geografija. Sarajevo.
- Stephenson, F. R. 2003. Historical eclipses and Earth's rotation. Astronomy & Geophysics. 44, 2, 2.22-2.27.
- Stevenson, D. J. 1987. Origin of the moon—The collision hypothesis. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 15, 1, 271-315.

- Stromberg, J. 2011. Sandford Fleming Sets the World's Clock. Smithsonian magazin.
- McCarthy, D. D., Seidelmann, P. K. 2009. Time from Earth rotation to atomic physics. Weinheim: Wiley VCH. ISBN 978-3-527-40780-4.
- Mueller, I. I. 1969. Spherical and Practical Astronomy as Applied to Geodesy. Frederick Ungar Publishing, NY, pp. 80.
- Parmeggiani, G. 2007. The origin of time zones. Osservatorio astronomico di Bologna, Wayback machine.
- Zinovy, M., Miller, N. 2009. Chandler wobble: two more large phase jumps revealed. *Earth, Planets and Space*, 62 (12): 943-947.
- Jin, X., Liu, X., Guo, J., Shen, Y. 2021. Analysis and prediction of polar motion using MSSa method. *Earth, planets and space*, 73, 147.
- White, W. M. 2005. The economics of the time zones. Wharton Business School, Univ of Pennsylvania, Wayback machine.
- [www.oceanservice.noaa.gov](http://www.oceanservice.noaa.gov)
- [www.nhc.noaa.gov](http://www.nhc.noaa.gov)
- [www.fi.edu/en/benjamin-franklin/daylight-savings-time](http://www.fi.edu/en/benjamin-franklin/daylight-savings-time)
- [www.nist.gov/pml/time-and-frequency-division/leap-seconds-faqs#often](http://www.nist.gov/pml/time-and-frequency-division/leap-seconds-faqs#often)

# REVOLUCIJA

## PRIVIDNO GODIŠNJE KRETANJE SUNCA

Sunce je centralna zvezda našeg planetarnog sistema, a Zemlja, kao i ostale planete, vrši kružno kretanje oko nje. Da bi se razumelo kretanje Zemlje kao osobine njene putanje, potrebno je analizirati prividno godišnje kretanje Sunca koje se može posmatrati u odnosu na horizont, na Zemlju kao telo i u odnosu na nebeski prostor.

### Prividno godišnje kretanje Sunca na horizontu

Prividno godišnje kretanje Sunca na horizontu je vidljivo ako se tokom godine posmatra njegov položaj. Prividno, Sunce u toku svaka 24 časa opiše kružnu putanju, nebesku paralelu koja ima svoj vidljivi obdanični, vidljivi deo luka i svoj nevidljivi noćni deo luka koji je posmatraču ispod linije horizonta. Dužina vidljivog dela luka je srazmerna vremenu koje Sunce provede iznad linije horizonta, to jest dužini obdanice.

Tokom godine, prividno dnevno kretanje Sunca na horizontu se menja. Tokom godine, Sunce svakim novim danom menja tačke izlaska i zalaska iza horizonta, menja svoju deklinaciju kao i dužinu obdaničnog (vidljivog) dela luka svoje nebeske paralele, samim tim, azimuti tačaka izlaska i zalaska Sunca se svakim novim danom menjaju. Ako se tokom godine posebno prate tačke izlaska i zalaska Sunca, mogu se primetiti ravnomernosti u promeni njihovih pozicija. Sunce 20. marta izlazi na tački koju nazivamo pravi istok, a istog datuma zalazi u tački koju nazivamo pravi zapad.

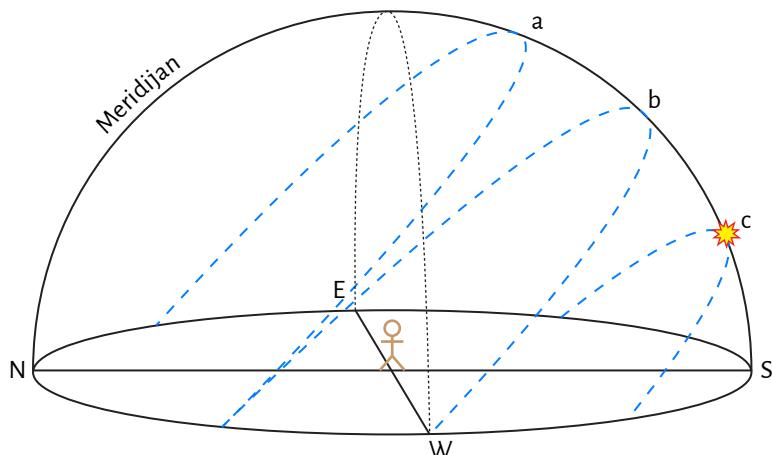
Linija koja spaja tačke izlaska i zalaska Sunca - ravnodnevička linija vidika, deli horizont na severni i južni deo, a obdanični deo luka Sunca je jednak noćnom pa samim tim obdanica i noć jednako traju. Ova pojava se naziva prolećna ravnodnevica ili prolećni ekvinoći. Tog dana, Sunce se kreće po nebeskom ekvatoru, a visina nebeskog ekvatora za staj-

nu tačku se dobija kada se od  $90^\circ$  oduzme geografska širina stajne tačke. Takođe, ovog dana je deklinacija Sunca 0.

Od 20. marta Sunce pomera svoje tačke izlaska i zalaska svakim novim danom sve severnije u odnosu na ravnodnevičku liniju. Ovim pomeranjem obdanični, to jest vidljivi delovi luka Sunca postaju sve duži, a noćni sve kraći, to znači da će obdanica od 20. marta biti sve duža od 12 sati, a noćni sve kraće od 12 sati. Naravno, ukupno trajanje jednog dana sa obdanicom i noćni je uvek konstantno, nepromenljivo.

I deklinacija Sunca se iz dana u dan povećava. Tokom juna, obdanice postaju izrazito duge da bi se 20. ili 21. juna tačke izlaska i zalaska Sunca najviše pomerile na saver čime je i obdanični deo luka Sunca postao najduži. Tada je na severnoj Zemljinoj polovini obdanica najduža, a noć najkraća. Na našoj geografskoj širini, oko  $45^\circ$ , obdanica traje oko 15 sati i 20 minuta, a noć oko 8 sati i 40 minuta, odnosno toliko vremena Sunce provede iznad i ispod linije horizonta. Tog dana Sunce prestaje da pomera svoje tačke izlaska i zalaska prema severu i taj dan se naziva letnji solsticij, a linija koja spaja tačke izlaska i zalaska Sunca naziva se letnja solstijska linija horizonta ili severni povratnik vidika. Toga dana je obdanični deo luka Sunca najduži, a noćni deo luka najkraći. Sunčeva deklinacija je tada najveća i iznosi  $23^\circ 26' 29''$ , a Sunce na  $45^\circ$  severne geografske širine će imati maksimalnu deklinaciju na  $68^\circ 26' 29''$ , odnosno, toliko će iznositi i upadni ugao Sunčevih zraka.

Od ovog datuma, Sunce ponovo pomera svoje tačke izlaska i zalaska, ali sada povratno, ka jugu. Obdanični lukovi postaju sve kraći, a noćni sve duži pa se samim tim i vreme obdanice smanjuje, a noć produžava. Sunčeva deklinacija se iz dana u dan smanjuje. U drugoj polovini septembra, 22. ili 23. tačke izlaska i zalaska Sunca su se vratile na ravnodnevičku liniju. Tada su obdanica i noć ponovo jed-



➊ **Prilog 86.** Pravidno godišnje kretanje Sunca na horizontu

naki, a obdanični i noćni deo Sunčevog luka isti. Sunce je ponovo na nebeskom ekvatoru, ima deklinaciju 0, a taj dan je poznat kao jesenji ekvinocij ili jesenja ravnodnevica. Od 22. ili 23. septembra Sunce počinje da pomera svoje tačke izlaska i zalaska prema jugu, obdanični luk postaje sve kraći, noćni duži, pa samim tim i obdanica se skraćuje, a noć produžava. Od ovog datuma noći su duže od obdanice, a deklinacija Sunca je negativna i postaje sve veća.

Pomeranje Sunca prema jugu se nastavlja sve do 21. ili 22. decembra kada Sunce pomera svoje tačke izlaska i zalaska na najjužniju poziciju. Tog datuma je Sunce na južnom povratniku vidika. Na severnoj polulopti Zemlje je tada noć najduža, a obdanica najkraća jer je obdanični luk Sunca drastično kraći od noćnog luka. Na  $45^{\circ}$  severne geografske širine Sunce ima negativnu deklinaciju na  $23^{\circ} 26' 29''$ , a visina kulminacije Sunca iznosi  $21^{\circ} 33' 31''$  iznad horizonta.

Na osnovu ovoga, može se zaključiti da je pravidno godišnje kretanje Sunca na horizontu stalno, a kao vidljivu pojavu imamo varijaciju u dužini obdanice i noći. Na severnoj Zemljinoj hemisferi obdanica je najduža tokom letnjeg solsticija, a najkraća u datumu koji odgovara zimskom solsticiju. Tokom prolećnog i jesenjeg solsticija imamo ravnometerno trajanje obdanice i noći.

### Pravidno godišnje kretanje Sunca u odnosu na Zemlju

Pravidno godišnje kretanje Sunca u odnosu na Zemlju kao nebesko telo je vidljivo ako se posmatra Sunčeva deklinacija tokom godine. U

toku prividnog godišnjeg kretanja Sunca, na severnoj hemisferi Zemlje ono nikada ne prelazi pozitivnu deklinaciju od  $+23^{\circ} 26' 29''$ , dok se na južnoj hemisferi ne srušta više od  $-23^{\circ} 26' 29''$  negativne deklinacije. Kada se kroz te krajnje tačke deklinacione amplitude povuku nebeske paralele, na nebeskom svodu se dobija pojas izvan koga se Sunce nikada ne nalazi, nego se prividno kreće isključivo unutar njega.

Granične paralele ovog pojasa se nazivaju severni i južni nebeski povratnik, a nazvani su povratnicima jer se Sunce po dolasku na njih počinje vraćati ka nebeskom ekvatoru. Prvi u istoriji ove paralele pominje Homer u Ilijadi, a na grčkom je *tropai* povratak. Odatle naziv za taj pojas, tropski pojas. Krajnje nebeske paralele pojasa u kom se prividno godišnje kreće Sunce su na  $23^{\circ} 26' 29''$  geografske širine severno i južno od nebeskog ekvatora.

Ukupna ugaona širina pojasa iznosi približno  $46^{\circ}$  i  $53'$ . U starom veku, za vreme letnjeg solsticija, Sunčeva nebeska paralela se nalazila u sazvežđu Raka, a za vreme zimskog solsticija u sazvežđu Jarca, pa odatle i nazivi Rakov i Jarčev povratnik. Dalje od njih, smenjuju se nebeske paralele koje imaju negativnu ili pozitivnu deklinaciju sve do  $66^{\circ} 33,5'$  gde se nalaze polarni nebeski krugovi ili nebeski stožernici, severni i južni.

Za vreme prolećne i jesenje ravnodnevice Sunce je u zenitu u ravni polutara. Od 20. marta Sunce se kreće u zenitu u tačkama koje su severno od ekvatora sve dok ne stigne na severni povratnik kada je u zenitu na  $23^{\circ} 26,5'$  i to 20. ili 21. juna. Tada se Sunce nalazi u Rakovom povratniku. Posle ovog datuma Sunce se vraća ka ekvatoru gde je u zenitu u vreme jesenje ravnodnevice.



➋ **Prilog 87.** Pravidno godišnje kretanje Sunca u odnosu na Zemlju

Izvor: Quora.com

Posle 22. ili 23. septembra Sunce prelazi na južnu hemisferu i na tačkama ka jugu se nalazi u zenitu. Kada Sunce stigne na južni ili Jarčev povratnik ono je zenithu na  $-23^{\circ} 26,5'$  i to 21. ili 22. decembra.

Od tog datuma Sunce kreće ka severu i vraća se na ekvator 20. marta i tada je iznad ekvatora ponovo u zenithu. Tokom godine, Sunce je dva puta u zenithu iznad ekvatora i po jednom iznad severnog i južnog povratnika, izvan ovog pojasa Sunce nikada nije u zenithu.

### Pravidno godišnje kretanje Sunca u odnosu na nebesku sferu

Pravidno godišnje kretanje Sunca u odnosu na nebesku sferu je nešto zahtevnije za praćenje. Do pravidnog kretanja Sunca na nebeskoj sferi se može doći posrednim putem posmatranjem pravidnog godišnjeg kretanja Sunca u odnosu na sistem nepomičnih zvezda. Tokom godine, Sunce menja svoj položaj i kreće se, približava ili udaljava u odnosu na pojedine grupe zvezda. Ako se tokom godine u bilo kom mesecu tokom dana izmeri visina kulminacije Sunca, a istog dana se odredi u času donje kulminacije Sunca, zvezda koja kulminira na istom mestu i sa istom visinom, dobiće se niz tačaka sa označenim zvezdanim kulminacijama. Kada se te tačke unesu u zvezdanu kartu i povežu linijom dobija se pravidna Sunčeva međuzvezdana putanja.

Pravidna Sunčeva putanja na nebeskoj sferi naziva se nebeska ekliptika. Ravan nebeske ekliptike sa ravni nebeskog ekvatora zatvara ugao od  $23^{\circ}$  i  $26,5'$ . Nebeska ekliptika i nebeski ekvator se sekut u dve suprotne tačke

nebeske sfere koje su međusobno udaljene  $180^{\circ}$ . Prva od te dve tačke je prolećna tačka koja se projektuje na sazvežđe Ovna, a druga je jesenja tačka koja se projektuje na sazvežđe Vage. Kada je Sunce u nekoj od te dve tačke, tada je ravnodnevica.

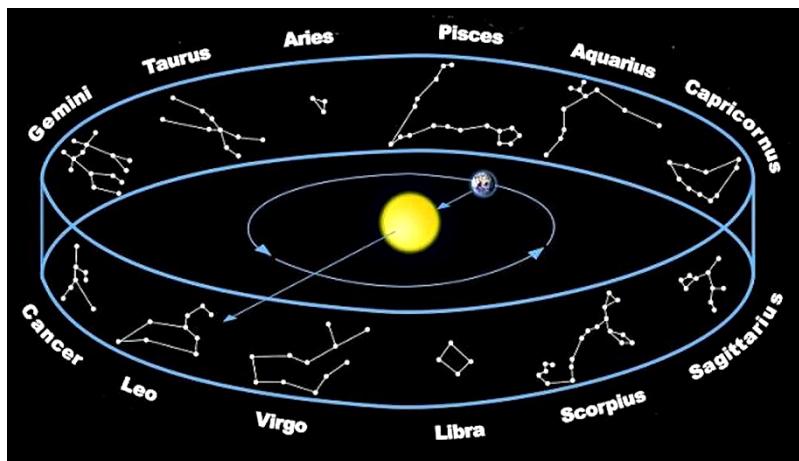
Kada se povuče vertikala normalna u odnosu na ravan ekliptike, njen kraj je pol ekliptike, a ona se nalazi pod uglom od  $23^{\circ}$  i  $26,5'$  u odnosu na vertikalu nebeskog pola. Sazvežđa kroz koja Sunce prividno prolazi tokom godine čine zodijak. Ukupno ih ima 12, a Sunčevu putanju dele na jednakde delove od kojih svaki zaklapa  $30^{\circ}$  uglovnog isečka nebeskog ekvatora. Svaki deo je dobio ime po sazvežđu koje se nalazi na tom delu nebeske sfere, a vremenski svaki deo odgovara približno jednom mesecu tokom godine.

U vreme kada je zodijak nastao, najsevernija tačka pravidne Sunčeve putanje je pada u sazvežđe Raka (danas Blizanci), a najjužnija u sazvežđe Jarca (danas Strelac), prolećna tačka u sazvežđe Ovna (danas Ribe), a jesenja tačka u Vagi (danas Device). Prolećna tačka se zadržala oko 2.160 godina u istoj zoni od  $30^{\circ}$ , ali kako je izašla iz nje, tako je došlo do pomeranja svih tačaka zodijaka. Pri posmatranju je najbolje poći od prolećne tačke. Ako se nebeska sfera posmatra 20. marta, može se videti da je Sunce prividno u sazvežđu Riba. U tom trenutku Zemlje je tada na  $180^{\circ}$  u odnosu na prolećnu tačku. Tada je Zemljin ekvator u ravni sa nebeskim ekvatorom i Sunce ravnomerno obasjava čitavu planetu, to jest obe Zemljine polulopte dobijaju istu količinu energije.

Posle tri meseca, u junu, Zemlja se u odnosu na prolećnu tačku pomeri za  $90^{\circ}$  i Sunce se tada prividno nalazi u sazvežđu Blizanaca i izgleda da je severno od nebeskog ekvatora u najvišoj tački svoje pravidne putanje. Posle nova tri meseca, u septembru, Sunce se nalazi u sazvežđu Device i nalazi se u tački u kojoj se sekut nebeski ekvator i nebeska ekliptika. Tada počinje jesenja ravnodnevica, jesen počinje na severnoj i proleće na južnoj Zemljinoj hemisferi. U nastavku godine Sunce se sve više prividno spušta od nebeskog ekvatora i u decembru je najniže kada se projektuje u sazvežđu Strelca, a na nebu se nalazi u svojoj najjužnijoj tački. U toku sledeća tri meseca, Sunce se prividno ponovo približava nebe-

• **Prilog 88.** Pravidno godišnje kretanje Sunca u odnosu na nebesku sferu, zodiak

Izvor: [www.astronomski-centar-rijeka.hr](http://www.astronomski-centar-rijeka.hr)



skom ekvatoru, da bi 20. marta ponovo bilo u čvoru gde njegova prividna putanja seče nebeski ekvator.

Ako se povežu prividna godišnja kretanja Sunca prema nebeskoj sferi i prema Zemlji kao telu, može se zaključiti da, kada je Sunce u ze-

nitu iznad ravnodnevičkih tačaka i sazvežđa koja odgovaraju tim tačkama su u zenitu (Ovan i Devica). Kada je Sunce na severnom i južnom povratniku, to jest u letnjoj i zimskoj solsticijskoj tački, tada su i odgovarajuća sazvežđa u zenitu (Blizanci i Strelac).

## Karakteristike Zemljine revolucije

Zemlja se tokom godišnje revolucije kreće prema istim sazvežđima zodijaka na koja pada i Sunčeva projekcija ali pri tom kretanju Zemlja se nalazi na suprotnoj strani u odnosu na Sunčevu projekciju. Zemljina putanja po kojoj vrši revoluciju, to jest kretanje oko Sunca, je ekliptična putanja koja se takođe zove ekliptika. Zemljin ekvator leži u ravni nebeskog ekvatora i prema ekliptici je nagnut za  $23^{\circ}$  i  $26,5'$ , dok je Zemljina osovina nagnuta prema polu ekliptike  $23^{\circ}$  i  $26,5'$ , a prema ravni ekliptike  $66^{\circ}$  i  $33,5'$ . Nebeski pol je od pola ekliptike udaljen takođe  $23^{\circ}$  i  $26,5'$ .

Prilikom kretanja oko Sunca, to jest prilikom revolucije, Zemljina osovina je uvek nagnuta prema ravni ekliptike za  $66^{\circ}$  i  $33,5'$ . Tokom godine, u bilo kojoj tački na ekliptici, Zemljina osovina je uvek u paralelном položaju sa položajem osovine u bilo kojoj prethodnoj tački ili bilo kojoj budućoj tački na ekliptici.

Ova zakonitost je od ogromnog značaja za raspodelu Sunčeve energije i svetlosti na Zemlji. Nikola Kopernik je smatrao da Zemljina ekliptika ima kružnu putanju, a tek je Kepler zaključio da je Zemljina putanja elipsa koja veoma malo odstupa od kruga.

Krajnje tačke velike osovine ekliptike (apsidna linija) su perihel i afel. Kada je na severnoj Zemljinoj polulopti zima, Zemlja se nalazi u perihelu između 3. i 5. januara i tada je Ze-

mlja najbliža Suncu, svetlost sa Sunca na Zemlju stiže za 8 minuta i 17 sekundi. Zemlja je najudaljenija od Sunca u afelu, u toj tački ekliptike Zemlja se nalazi između 4. i 7. jula, a svetlost sa Sunca na Zemlju stiže za 8 minuta i 27 sekundi.

Zemljina ekliptika nije putanja definisana stalnim, nepromenjivim vrednostima. Tokom vremena Zemljino kretanje oko Sunca se odvija pod brojnim varijacijama ali u stalnim opsesima. Na primer, brzina Zemlje pri revoluciji je prosečno  $107.208 \text{ km/h}$  ili  $29,78 \text{ km/s}$ , ali ta vrednost nije stalna. Brzina Zemlje u afelu je  $29,29 \text{ km/s}$ , a u perihelu  $30,29 \text{ km/s}$  što je u skladu sa Keplерovim drugim zakonom. Takođe, na ekliptici variraju i pozicije afela i perihele (Tabela 25), dok je prosečna udaljenost Zemlje od Sunca  $149.598.262 \text{ kilometara}$ .

Ravan Zemljine ekliptike se ne nalazi u ravni Sunčevog ekvatora već u odnosu na njega zaklapa ugao od  $7,155^{\circ}$ , a zaklapa i ugao od  $1,578690^{\circ}$  prema konstantnoj ravni Sunčevog sistema koja je normalna na vektor sume obrnutih momenata svih ravni planetarnih orbita (Laplasova nepromenjiva ravan). Sama putanja koja čini ekliptiku je elipsa koja se veoma malo razlikuje od kruga. Ova osobina se naziva ekscentricitet i definiše stepen izduženosti elipse ili odstupanje elipse od kruga. Zemljina ekliptika ima ekscentricitet od  $0,0167086$  (Egler,

**Tabela 25.** Vreme i udaljenosti perihela i afela Zemlje, po srednjeevropskom vremenu

| Godina | Perihel             | Udaljenost     | Afel             | Udaljenost     |
|--------|---------------------|----------------|------------------|----------------|
| 2023   | 4 Januar 2023 17:17 | 147.098.925 km | 6 Jul 2023 22:06 | 152.093.251 km |
| 2024   | 3 Januar 2024 01:38 | 147.100.632 km | 5 Jul 2024 07:06 | 152.099.968 km |
| 2025   | 4 Januar 2025 14:28 | 147.103.686 km | 3 Jul 2025 21:54 | 152.087.738 km |
| 2026   | 3 Januar 2026 18:15 | 147.099.894 km | 6 Jul 2026 19:30 | 152.087.774 km |
| 2027   | 3 Januar 2027 03:32 | 147.104.592 km | 5 Jul 2027 07:05 | 152.100.481 km |

2007). Zemlji je potrebno 365,256.363.004 dana da obide oko Sunca u direktnom pravcu na ekliptici koja je duga više od 940.000.000 kilometara.

Na Zemljinoj ekliptici se nalaze četiri karakteristične tačke, letnjeg i zimskog solsticija kao i prolećne i jesenje ekvinocije. Linija koja

spaja tačke letnjeg i zimskog solsticija se zove solsticijalna linija, a linija koja spaja ekvinocijske tačke ekliptike je ekvinokcijalna linija. Ove linije se seku pod pravim uglovom, solsticijalna linija sa apsidnom linijom zatvara ugao od  $11^\circ$ . To je razlog zašto se perihel i afel ne poklapaju sa zimskim i letnjim solsticijima.

## DOKAZI ZA ZEMLJINU REVOLUCIJU

### Godišnja paralaksa zvezda

Godišnja paralaksa zvezda je pojava koja je uslovljena kretanjem Zemlje. Da bi prešla put duž ekliptike duge 940 miliona kilometara tokom jedne godine, ona mora da se kreće izuzetno brzo. Za očekivati je da se položaj brojnih zvezda prividno menja sa pomeranjem položaja Zemlje na ekliptici. Ovaj dokaz Zemljine revolucije prisutan je skoro od nastanka heliocentričnog sistema.

Kopernikanska heliocentrična teorija Sunčevog sistema dobila je potvrdu zapažanjima Galilea Galileja i Tiha de Brahea kao i matematičkim proračunima Keplera i Njutna. Tomas Diges (Thomas Digges) je 1573. godine prvi sugerisao da bi se paralaktičko pomeranje zvezda trebalo desiti u skladu sa heliocentričnim modelom, pa bi samim tim zvezdana paralaksa bila potvrda ovom modelu. Žan Pikar (Jean

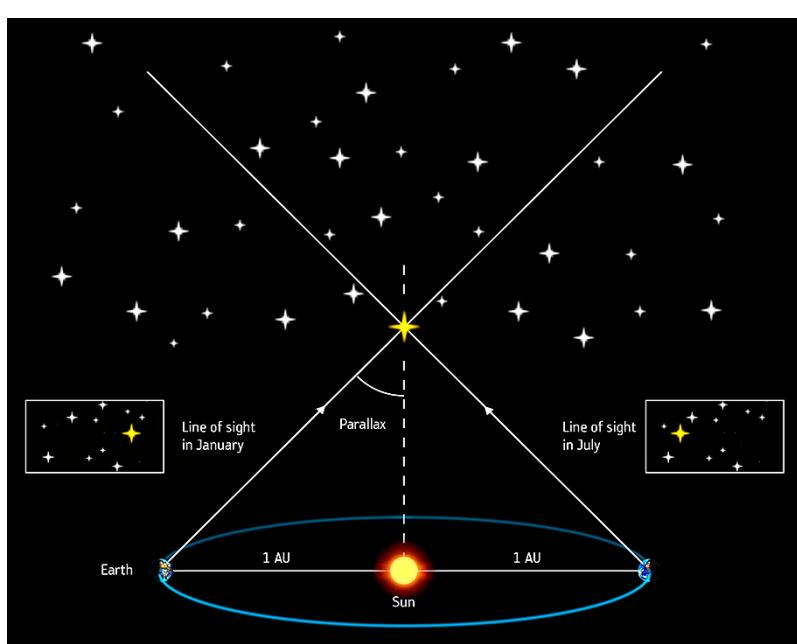
Picard) je 1680. godine u "Voyage d'Uranibourg" objavio rezultat desetogodišnjih posmatranja, da polarna zvezda Polaris, pokazuje varijacije u svom položaju do  $40''$  godišnje. Džon Flamstid (John Flamsteed) je na osnovu merenja izvršenih 1689. godine svojim metodama došao do sličnog zaključka da je deklinacija Polaris-a bila  $40''$  manja u julu nego u septembru.

Poznato je da su zvezde na nebeskom svodu iako prividno blizu po pravilu na veoma velikim međusobnim udaljenostima, a posebno zbog toga što se na nebeskom svodu položaj zvezda vidi samo u dve dimenzije. Posmatranjem jedne iste zvezde tokom godine može se otkriti promena položaja njene projekcije na nebesku sferu. Projekcija jedne iste zvezde tokom godine pada na različite tačke, a kada se spoje te tačke dobije se elipsa, krug ili linija u zavisnosti od geografske širine sa koje se posmatra.

Ova pojava pri kojoj se tokom godine pomeri položaj projekcije pojedinačne posmatrane zvezde, naziva se paralaktično kretanje, a oblik koji nastaje kada se spoje tačke paralaktičnih položaja, paralaktična elipsa, krug ili linija. Ova pojava je stalna i može se pratiti sa bilo koje pozicije Zemlje i u bilo kom trenutku tokom godine.

Ako se vrši posmatranje neke zvezde u trenutku kada je Zemlja u letnjoj solsticijalnoj tački, projekcija zvezde će pasti na tačku koja je na suprotnoj strani paralaktične putanje od pozicije na ekliptici na kojoj se nalazi Zemlja. Kada se Zemlja pomeri na ekliptici za  $90^\circ$  i nađe se u jesenjoj ekvinokcijskoj tački i projekcija zvezde se pomeri za isti ugao na paralaktičnoj putanji. Posle godinu dana, kada Zemlja završi svoj put po ekliptici, čini se da je i pro-

- **Prilog 89.** Godišnja paralaksa zvezda  
Izvor: [www.esa.int/  
Science\\_Exploration/  
Space\\_Science/Gaia/  
Parallax](http://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Gaia/Parallax)



projekcija zvezde napravila malu, zatvorenu, eliptičnu putanju.

Paralaktično kretanje zvezdane projekcije obavlja se u istom smeru (direktnom) kao i revolucija Zemlje ali se odvija u vremenski suprotnim tačkama u odnosu na tačke na ekliptici u kojima se nalazi Zemlja. U svakom trenutku, zvezdana projekcija se nalazi u tački paralaktične putanje koja je na  $180^{\circ}$  u odnosu na odgovarajuću tačku na ekliptici u kojoj se u tom trenutku nalazi Zemlja. Ako se zvezdana projekcija posmatra sa Zemljinog pola, onda će paralaktična putanja odgovarati obliku kruga, dok će, u slučaju posmatranja iz zone ekvatora, zvezda svoju projekciju iscrtati u obliku ravne linije. Ako se mesto posmatranja pomera sa ekvatora ka većim geografskim širinama, na kraju ka polu, oblik paralaktične putanje će se menjati od ravne linije, izuzetno izdužene elipse, blago izdužene elipse, elipse, elipse koja liči na krug i na polovima će paralaktična putanja biti pravilan krug.

Pojava godišnje paralakse zvezdane projekcije je pouzdan dokaz za heliocentričan sistem koja jasno dokazuje pomeranje planete Zemlje u odnosu na zvezde. Period pomeranja je godinu dana, Sunce prema zvezdama miruje dok Zemlja vrši eliptično kretanje, a ova pojava nedvosmisleno dokazuje revoluciono kretanje naše planete.

### Aberacija svetlosti (astronomski aberacija)

Aberacija svetlosti (astronomski aberacija) je pojava pri kojoj nebeski objekti pokazuju prividno kretanje u odnosu na svoj pravi položaj, a koje je uzrokovan kretanjem posmatrača. Posmatrajući zvezdane paralakse, engleski astronom Bredli (James Bradley) je 1727. godine primetio i objasnio pojavu 1728. godine, a koju danas nazivamo aberacijom svetlosti. Njegovi naporci su bili usmereni na potvrđujuće postojanja zvezdane paralakse kao dokaza za Zemljino kretanje i zajedno sa Samuellom Molineom (Samuel Molyneux) je započeo posmatranja 1725. godine. Posmatrali su zvezdu Draconis u sazvežđu Zmaja i došli do zaključka da se zvezda od septembra do marta "pomerila" za  $40''$  ka jugu, a zatim je promenila svoj smer kretanja od marta do septembra. U isto vreme,

35 Camelopardalis, zvezda sa pravim uspo-

nom skoro tačno suprotnim onoj kod Draconisa, bila je  $19''$  severnija početkom marta nego u septembru (Bradley, 1832).

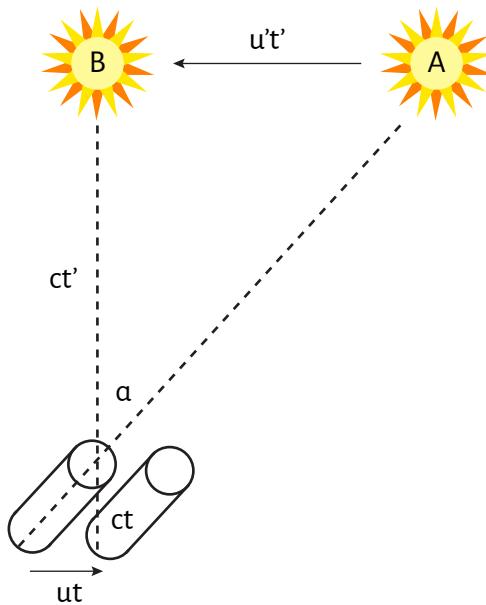
Ovi rezultati su bili potpuno neočekivani i neobjašnjivi postojećim teorijama. Narednih godina dana Bredli je razvijao teoriju koja objašnjava ovu pojavu. Ako se prepostaviti da je posmatrač u apsolutnom mirovanju i da se Zemlja ne kreće, onda bi posmatrač video jednu istu zvezdu uvek na istom mestu u njegovom pravcu, to jest stvarnom pravcu, upravo jer se svetlost širi pravolinijski konstantnom brzinom. Međutim, pošto se Zemlja kreće po ekliptici, a sa njom i posmatrač na Zemlji, iako je sam posmatrač nepomičan, sa Zemljom se ipak kreće i on će biti u mogućnosti da registruje pojavu aberacije.

Upravo je sam Bredli aberaciju objasnio na primeru posmatrača sa teleskopom. Svetlost posmatrane zvezde stiže do objektiva teleskopa, prolazi kroz telo i stiže do okulara. Kako se Zemlja kreće po ekliptici brzinom od  $29,78 \text{ km/s}$  i teleskop će se pomerati tom brzinom u smeru kretanja Zemlje. Da bi svetlost stigla od objektiva do okulara potrebno je izvanredno malo vremena, ali za to isto vreme teleskop se zajedno sa Zemljom pomeri. Kao posledica tog pomeranja, svetlost umesto da pada na centralni deo okulara ona će pasti blago izmagnuta od centra okulara. Pozicija u koju će pasti zrak svetlosti je izmagnuta od očekivanog pada svetlosti (centra okulara) u suprotnom smeru u odnosu na smer kretanja Zemlje.

Između očekivanog pravca i otklonjenog pravca svetlosti se stvara ugao koji se naziva aberacioni ugao. Za vrednost aberacionog ugla, zvezda će prividno pomeriti svoj položaj. Da bi svetlost sa zvezde ponovo pala u centar okulara potrebno je pomeriti ugao teleskopa za vrednost aberacionog ugla. Aberacioni ugao nije isti i zavisi od mesta na nebeskoj sferi gde se nalazi zvezda koja se posmatra.

Ukoliko se zvezda nalazi oko pola ekliptike onda će pravac svetlosti sa zvezde biti normalan u odnosu na pravac kretanja Zemlje i aberacioni ugao će biti najveći. Nasuprot toga, ukoliko se posmatrana zvezda nalazi u pravcu kretanja Zemlje, to jest u ravni ekliptike, aberacioni ugao će biti zanemarljiv. Vrednost aberacionog ugla je izuzetno mala upravo zato što je ona rezultanta brzine svetlosti i brzine revolucije Zemlje.

Maksimum aberacionog ugla, naziva se aberaciona konstanta. Kako se Zemlja kreće na dnevnom, godišnjem i sekularnom nivou, tako i aberacije mogu biti dnevne, godišnje i sekularne i one su i jedan od čvrstih dokaza za ta kretanja. Godišnja aberacija svetlosti je direktna posledica revolucije Zemlje pa je samim tim i dokaz za nju.



#### Prilog 90.

Astronomска  
aberacija

Izvor: Maers, Wayne  
2011.

Zemlja tokom godine menja pravac kretanja i menja svoj položaj pa se i menja ugao pod kojim se vidi neka zvezda sa Zemlje. Ako se posmatrana zvezda nalazi na samom poluekliptike, aberacioni ugao je najveći i vrednost je konstantna - aberaciona konstanta, ona iznosi  $20,49551''$  (Britannica.com). Konstantnost aberacije za zvezdu koja se nalazi na polu ekliptike je posledica njenog položaja, ona se uvek vidi pod istim uglom bez obzira na položaj Zemlje na ekliptici. Tokom godine, prividni položaji iste zvezde nastali kao posledica aberacije obrazuju oko stvarnog položaja zvezde mali krug koji se naziva aberacioni krug. Ako se posmatrana zvezda nalazi između pola ekliptike i same ravni ekliptike, zvezda će opisati aberacionu elipsu koja će biti sve ekscentričnija što je položaj zvezde bliži ravni ekliptike.

#### Pomračenje Jupiterovih satelita

Pomračenje Jupiterovih satelita je još jedan čvrsti dokaz Zemljine revolucije. Senka Jupitera pokriva ogromnu površinu i nalazi se u ravni ekliptike

ke planete. Sama planeta ima veliki broj satelita koji kruže u ravni Jupitera, njihov položaj ih dovodi u senku matične planete. Period boravka satelita u senci Jupitera se naziva pomračenje satelita. Sateliti sa Zemlje ostaju nevidljivi sve dok su u senci. Ulazak satelita u senku se naziva imerzija, a izlazak iz senke emerzija. Vreme koje satelit provede u senci kao tačno vreme imerzije i emerzije se može tačno izračunati (Lieske, 1981; Westfall, 1983-84).

Međutim, primećeno je da postoji razlika između stvarnog trenutka imerzije i proračunatog trenutka. Kada je Jupiter u konjukciji, pomračenje satelita kasni, a kada je Jupiter u opoziciji pomračenje nastaje ranije. Ova činjenica ukazuje na kretanje Zemlje sa koje se prati pomračenje satelita. Kada je Jupiter u opoziciji onda je bliži Zemlji (4,2 AU), a kada je u konjukciji udaljeniji je od Zemlje (6,2 AU).

Zbog razlike u udaljenostima, svetlost sa Jupitera, kada je on u opoziciji, stiže do Zemlje posle 34 minuta i 36 sekundi, dok kada je konjukciji, svetlosti sa Jupitera do Zemlje treba znatno više vremena, 51 minut i 33 sekunde. Razlika između ovih vremena je znatna, 16 minuta i 57 sekundi. Zbog toga, kada je Jupiter u opoziciji svetlost će stizati ranije pa će i pomračenje trajati kraće, suprotno tome, period duž koga će satelit provesti u senci će biti za to vreme duži kada se Jupiter nalazi u konjukciji prema Zemlji. Jasno je da kretanje Zemlje po ekliptici definiše njen položaj u odnosu na Jupiter pa su varijacije u vremenu pomračenja Jupiterovih satelita jasan dokaz revolucionog kretanja Zemlje.

#### Pojava meteora

Pojava meteora je jedan od validnih dokaza Zemljine revolucije. Meteori ne padaju ravnomerno na Zemlju već je primećeno dnevno, sezonalno i godišnje kolebanje broja meteora. Primećeno je da ih je najviše od sutona do zore kao i da ih je znatno više u jesen nego u proleće. Mnogi astronomi su još u XIX veku smatrali da je to pojava koja nije lokalna već da ima kosmički karakter. Jedan od naučnika koji je empirijski analizirao pojavu je Šmit. Posmatrao je ranije definisani deo nebeske sfere tokom dva vremenska intervala svakog dana i beležio pojavu meteora.

**Tabela 26.** Šmitovi rezultati posmatranja padanja meteora

| Vreme u opsegu 0-6h | Broj meteora | Vreme u opsegu 18-24h | Broj meteora |
|---------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 0-1                 | 17           | 18-19                 | 5            |
| 1-2                 | 20           | 19-20                 | 6            |
| 2-3                 | 22           | 20-21                 | 8            |
| 3-4                 | 22           | 21-22                 | 10           |
| 4-5                 | 18           | 22-23                 | 12           |
| 5-6                 | 17           | 23-24                 | 15           |

Ovakav raspored padanja meteora na Zemlju se može lako objasniti Zemljinom revolucijom. Zemlja se kreće po ekliptici brzinom od 29,78 km/s, strana Zemlje na kojoj je vreme u intervalu od ponoći do 6 časova okrenuta je u smeru kretanja Zemlje po ekliptici, to je tada njen "čeoni" deo. Upravo tada, na toj strani Zemlje pada najviše meteora jer ih Ze-

mlja svojim kretanjem po ekliptici "pokupi", čak i one sporije meteore koji možda ne bi pali na Zemlju da se ona nije kretala ka njima. U drugim vremenskim intervalima na Zemlju pada osetno manje meteora, ali ih ima i tada, jer brzi meteori ipak stignu Zemlju i uđu u njenu atmosferu. Tada, strane Zemlje na kojima padaju meteori nisu okrenute ka smeru kretanja Zemlje na ekliptici pa je i broj meteora znatno manji.

Zbog toga se ove zakonomernosti u raspolazu padanja meteora na Zemlju mogu lako objasniti kao zajednička posledica godišnjeg kretanja Zemlje po ekliptici, kao i njene rotacije. Možda je najbolje objašnjenje ove pojave poređenje sa pešakom na kiši. Prilikom hoda, moraće malo da spusti kišobran da ne bi pokisao zato što pešak, prilikom kretanja, ide u susret kapima kiše.

## POSLEDICE ZEMLJINE REVOLUCIJE

Posledice Zemljine revolucije su brojne, a kao takve su i neoborivi dokazi o kretanju Zemlje oko Sunca.

### Smena godišnjih doba na Zemlji

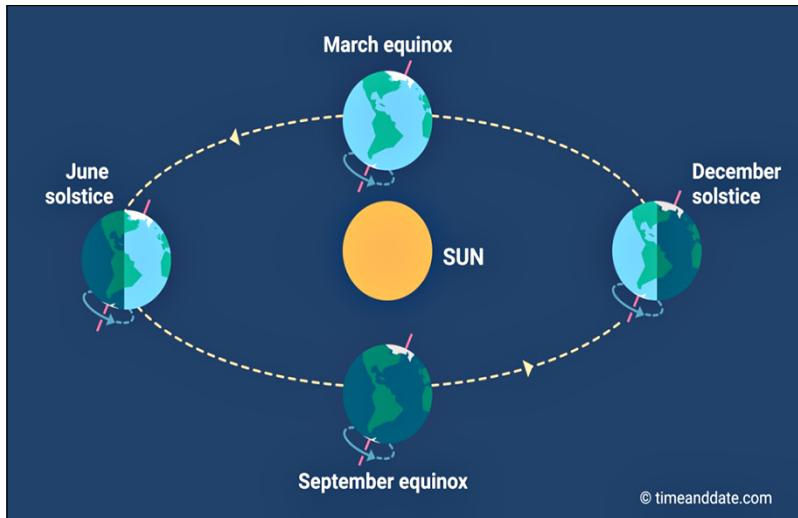
Smena godišnjih doba na Zemlji je najvažnija posledica Zemljinog kruženja oko Sunca i nagnutosti njene osovine u odnosu na ravan ekliptike. Godišnjim dobom nazivamo vremenski interval od kada se Zemlja pomeri iz tačke ekvinokcije, bilo prolećnog ili jesenjeg do tačke solsticija, bilo letnjeg ili zimskog.

Ovakvih vremenskih intervala ima četiri, proleće, leto, jesen i zima. Sva godišnja doba se međusobno razlikuju, kako po vremenskim tako i po klimatskim karakteristikama, što je posledica nejednakе raspodele Sunčeve energije na Zemljinoj površini tokom godine.

Proleće na severnoj hemisferi traje od datuma prolećne ekvinokcije 20. marta do datuma letnjeg solsticija koji je 20. ili 21. juna, u istom periodu na južnoj hemisferi je jesen. Na dan prolećne ekvinokcije krug osvetljenja se poklapa sa podnevcima i prelazi preko polova. Na celoj Zemljinoj površini obdanica jednako traje

**Tabela 27.** Datum i vreme ekvinokcija i solsticija na Zemlji, po GMT

| Godina | Ekvinokcija |       | Solsticij |       | Ekvinokcija |       | Solsticij |       |
|--------|-------------|-------|-----------|-------|-------------|-------|-----------|-------|
|        | Mart        |       | Jun       |       | Septembar   |       | Decembar  |       |
|        | Datum       | Vreme | Datum     | Vreme | Datum       | Vreme | Datum     | Vreme |
| 2023.  | 20.         | 21:25 | 21.       | 14:58 | 23.         | 06:50 | 22.       | 03:28 |
| 2024.  | 20.         | 03:07 | 20.       | 20:51 | 22.         | 12:44 | 21.       | 09:20 |
| 2025.  | 20.         | 09:02 | 21.       | 02:42 | 22.         | 18:20 | 21.       | 15:03 |
| 2026.  | 20.         | 14:46 | 21.       | 08:25 | 23.         | 00:06 | 21.       | 20:50 |
| 2027.  | 20.         | 20:25 | 21.       | 14:11 | 23.         | 06:02 | 22.       | 02:43 |
| 2028.  | 20.         | 02:17 | 20.       | 20:02 | 22.         | 11:45 | 21.       | 08:20 |



➊ **Prilog 91.** Godišnja doba na Zemlji  
Izvor: [timeanddate.com](http://timeanddate.com)

kao i noć, zato na dan prolećne ekvinokcije kažemo da je to dan prolećne ravnodnevice. Sunčevi zraci tada padaju normalno na ekvator, a količina energije i svetlosti koju Zemlja prima od Sunca je jednaka na severnoj i južnoj polulopti. Ovo je direktna posledica dnevnog kretanja Sunca na nebeskom svodu, tog dana se Sunčeva putanja poklapa sa nebeskim ekvatorom.

Od prolećnog ekvinokcija Zemlja počinje da nagnje svoju severnu poluloptu ka Suncu i postepeno, obdanice postaju sve duže, a noći sve kraće. Kako vreme odmiče ka letnjem solsticiju tako upadni uglovi Sunčevih zraka postaju sve veći, a zagrevanje površine intenzivnije. U ovom periodu, tokom proleća, Sunčeva energija koju prima severna polulopta se bolje koristi, promena upadnih uglova Sunčevih zraka uzrokuje veće zagrevanje površine u odnosu na južnu poluloptu gde se zagrevanje smanjuje što je opet posledica smanjenja upadnih uglova Sunčevih zraka.

Direktna posledica toga je konstantan rast srednjih dnevnih temperatura vazduha na severnoj polulopti i pad temperatura na južnoj polulopti. U drugoj polovini juna, Sunce dostiže najvišu tačku na horizontu severne polulopte i najnižu tačku na horizontu južne polulopte, tada je Zemlja na poziciji letnjeg solsticija. Tada na severnoj Zemljinoj hemisferi počinje leto i traje sve do jesenje ekvinokcije, a u istom periodu je na južnoj hemisferi zima. Na dan letnjeg solsticija Sunčevi zraci padaju normalno na severni povratnik, a pod uglom od  $0^{\circ}$  na južni polarni krug, odnosno na  $660\ 33,5'$  južno od ekvatora. Južno od južnog polarnog kruga

nema obdanice već noć traje 24 sata, dok idući severno obdanica se povećava, a noć smanjuje.

Kada se pređe severni polarni krug,  $660\ 33,5'$  severno do ekvatora, obdanica traje 24 sata tokom leta na severnoj hemisferi. Takođe, na severnoj hemisferi je Sunce duže iznad horizonta, površina duže prima Sunčevu energiju pa je i zagrevanje veće. Obdanica duže traje u odnosu na noć, zagrevanje je duže u odnosu na kraći interval hlađenja koji se odvija tokom noći pa je i porast srednjih dnevnih temperaturu vazduha očekivan.

Upravo zbog toga, leto je najtoplje godišnje doba. Suprotno, na južnoj hemisferi je period hlađenja duži, noć je duža od obdanice i vladaju niske temperature, tamo je zima. Kako leto odmiče, Sunčeva nebeska putanja se polagano spušta ka horizontu i ponovo se približava ekvatoru. U drugoj polovini septembra, Sunce će se naći tačno iznad ekvatora i taj dan je jesenja ekvinokcija. Jesenja ekvinokcija je druga čvorna tačka u kojoj se ekliptika seče sa nebeskim ekvatorom, a na svom putu po ekliptici Zemljin dolazak u tu tačku označava početak novog godišnjeg doba na Zemlji, počinje jesen na severnoj hemisferi i proleće na južnoj hemisferi. Sunčevi zraci ponovo padaju pod pravim uglom na ekvator, ponovo je obdanica iste dužine kao i noć, i ponovo na čitavoj Zemlji imamo ravnodnevnicu.

Od septembarskog ekvinokcija Zemljina severna polulopta se polako nagnje suprotno od Sunca, dok se severna polulopta nagnje ka Suncu. Otklanjanje od Sunca uzrokuje na severnoj polulopti skraćivanje obdanice, upadni uglovi Sunčevih zraka se smanjuju, a ukupno zagrevanje je manje. Suprotno je na južnoj polulopti gde se ukupno zagrevanje povećava. Zemlja nastavlja svoj put po ekliptici da bi u drugoj polovini decembra stigla do tačke koju nazivamo zimska solsticija. Tada je Sunce najniže u toku godine na horizontu severne hemisfere, a njegovi zraci padaju pod uglom od  $90^{\circ}$  na južni povratnik. U isto vreme, Sunčevi zraci padaju pod uglom od  $0^{\circ}$  na severni polarni krug. Tada, na severnoj polulopti počinje zima, dok na južnoj polulopti počinje leto i traju do prolećne ekvinokcije. Toga dana Južni pol počinje da bude okrenut Suncu i na njemu počinje obdanica, dok na Severnom polu počinje noć, takođe, ovog dana je obdanica na se-

vernoj hemisferi najkraća, a noć najduža i suprotno na južnoj hemisferi.

Iz prethodnog se može zaključiti da se najtoplijе ili najhladnije godišnje doba ne poklapaju sa najvišim ili najnižim položajem Sunca iznad horizonta. Na severnoj hemisferi prividno, Sunce je najviše iznad horizonta u drugoj polovini juna i tada severna polulopta prima najviše Sunčeve energije. Ali, nisu dostignute najviše temperature vazduha koje se dešavaju tek tokom jula i avgusta što je i razumljivo jer zagrevanje atmosfere kasni za zagrevanjem podloge.

Datumi kojim počinju godišnja doba se vremenom menjaju. Iako je gregorijanski kalendar napravljen da prati vreme Zemljine revolucije ipak nije savršeno tačan. Konkretno, eliminise prestupne dane u godinama veka koje nisu podjednako deljive sa 400, kao što su 1.700, 1.800 i 2.100, kao i milenijumske godine koje su deljive sa 4.000, na primer, 8.000 i 12.000.

Prema tome, datumi ekvinokcija i solsticija mogu da se pomere za dan ili dva tokom vremena, što uzrokuje da se i datumi početka godišnjih doba pomeraju tokom vremena. Godišnja doba ne traju isto, a dužina svakog godišnjeg doba se menja iz godine u godinu. Kada je Zemlja bliža Suncu, gravitaciona sila Sunca je nešto jača, zbog čega naša planeta kreće nešto brže po svojoj ekliptici. Za nas na severnoj hemisferi, što je rezultat kraće jeseni i zime, jer se u to doba godine brže krećemo kroz svemir. Nasuprot tome, Zemlja se kreće sporije kada je najudaljenija od Sunca, a rezultat toga je duže proleće i leto. Na južnoj hemisferi je suprotno. Drugim rečima, Zemlji je potrebno manje vremena da pređe od jesenje ravnodnevice do prolećne ravnodnevice nego da pređe od prolećne ravnodnevice do jesenjeg ekvinocija. Zbog svega ovoga godišnja doba traju od oko 89 dana do oko 94 dana.

### Razlike u dužinama obdanice i noći

Razlike u dužinama obdanice i noći je još jedna posledica Zemljine revolucije kao i nagnutosti osovine Zemlje u odnosu na ravan ekliptike. Na Zemlji, dužina obdanice i noći tokom godine varira i zavisi od geografske širine. Ukoliko je ugao između Zemljine osovine i ravni ekliptike veći, utoliko su razlike između obdanice

i noći manje. Ukoliko je ugao između osovine Zemlje i ravni ekliptike manji, utoliko se razlike između obdanice i noći povećavaju.

U oba slučaja, promene i razlike u dužinama obdanice i noći biće stalne i ponavljajuće se na celoj površini Zemlje uz dva izuzetka, na ekvatoru i u vreme ekvinokcija. Na ekvatoru su obdanica i noć tokom cele godine jednakog trajanja. U čvornim tačkama na Zemljinoj ekliptici Zemlja se nalazi u ekvinokciju i tada na čitavoj Zemlji imamo isto trajanje obdanice i noći, tu pojavu nazivamo ravnodnevica. Postoji prolećna ravnodnevica koja se događa u trenutku prolećne ekvinocije i jesenja ravnodnevica koja se događa u trenutku jesenje ekvinocije.

Terminator uvek seče ekvator na dva jednakata dela i zbog toga su obdanica i noć na ekvatoru uvek jednakog trajanja. Na svim ostalim Zemljinim širinama, obdanica je najduža kada je Sunčeva deklinacija najveća, a noć je najduža kada je Sunčeva deklinacija najmanja. Uprorednici, ekvator, dva povratnika i dva stožernika su značajne geografske širine sa aspektom osvetljenja i zagrevanja Zemlje, a njihov značaj je utemeljen na nagnutosti Zemljine osovine u odnosu na ravan Zemljine ekliptike.

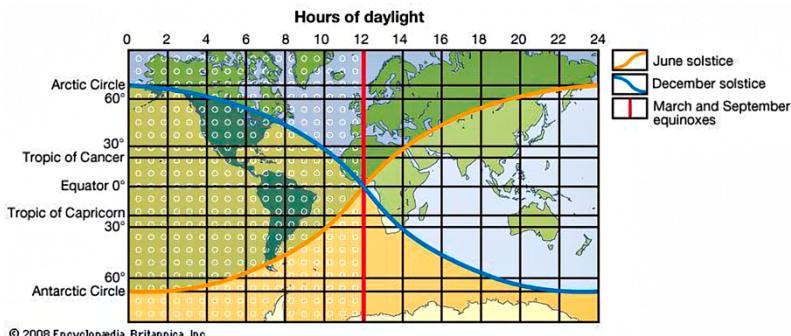
Vreme, kao i trajanje obdanice, je od velikog značaja na skoro svim poljima antropogenog delovanja ali na polju prirode i geografije. Vreme obdanice iznad nekog mesta zavisi od dužine luka Sunčeve prividne putanje iznad horizonta, a on odgovara časovnom uglu koji je definisan izlaskom i zalaskom Sunca. Upravo dužina vidljivog i nevidljivog dela luka prividne putanje Sunca određuje trajanje obdanice i noći za bilo koje mesto na Zemlji i u bilo koje doba godine. Na ekvatoru su te dve polovine Sunčevog luka jednake i trajanje obdanice i noći je isto. Ako se pogleda severnije ili južnije, od ekvatora do stožernika kako severnog tako i južnog, nalaze se dva pojasa geografske širine u kojima dolazi do varijacija u trajanju obdanice i noći tokom godine. Ako se posmatra vreme obdanice tokom godine, sa porastom geografske širine razlika između trajanja najduže i najkraće obdanice raste.

Najduža obdanica raste sa geografskom širinom ali se isto tako i skraćuje trajanje najkraće obdanice. Ako se posmatra trajanje noći, trend je isti.

**Tabela 28.** Maksimalno i minimalno trajanje obdanice na različitim geografskim širinama

| Geografska širina | $10^{\circ}$ | $20^{\circ}$ | $30^{\circ}$ | $40^{\circ}$ | $50^{\circ}$ | $60^{\circ}$ |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Najduža obdanica  | 12:35        | 13:13        | 13:56        | 14:51        | 16:09        | 18:30        |
| Najkraća obdanica | 11:25        | 10:47        | 10:04        | 9:09         | 7:51         | 5:30         |

Na severnom i južnom polarnom krugu najduža obdanica i najduža noć u godini traju po 24 časa. Na severnom polarniku Sunce je na datum letnjeg solsticija 24 časa iznad horizonta, ceo Sunčev dnevni luk je vidljiv i obdanica traje 24 časa, a noći nema. Suprotno se dešava na datum zimskog solsticija, tada Sunčev dnevni luk nema vidljiv deo koji je iznad horizonta i tog dana noć traje 24 sata, a obdanice nema. Na južnom polarniku se dešava ista pojava ali obrnutim redosledom, u vreme junskega solsticija noć traje 24 sata, a u vreme decembarskog solsticija obdanica traje 24 sata.



**Prilog 92.** Trajanje obdanice na Zemlji tokom godine  
Izvor: Encyclopedia Britannica, Inc.

U pojasu između polarnika i polova, smena obdanice i noći je specifična jer se na geografskim širinama iznad polarnika javljaju periodi kada obdanica ali i noć traju duže od 24 časa.

Na geografskim širinama iznad polarnika razlike u trajanju obdanice i noći su najizraženije. Na samim polovima obdanica i noć traju po pola godine. Na severnom polu Sunce izlazi na datum martovske ekvinocije, ima kulminaciju iznad horizonta u vreme letnjeg solsticija i zalazi na datum jesenje ekvinocije. Tokom čitavog ovog perioda, Sunce je iznad horizonta, od marta do juna se povaćavaju upadni uglovi Sunčevih zraka, a od juna do septembra

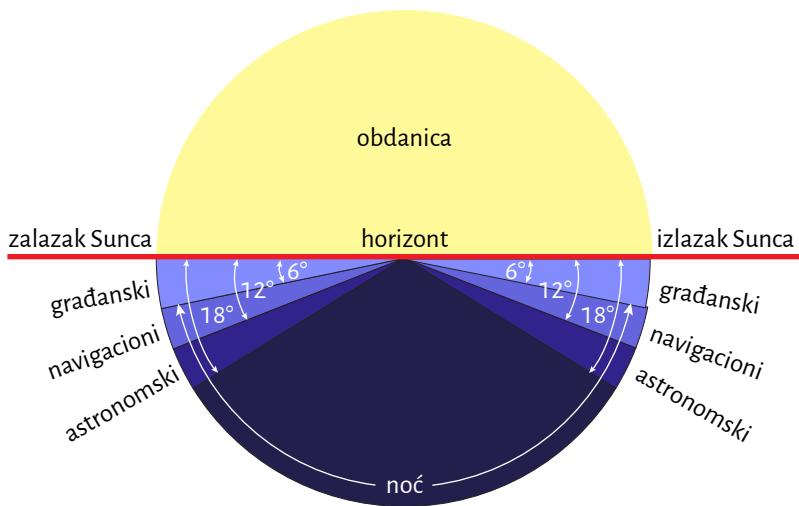
se smanjuju. Na južnom polu Sunce izlazi na datum jesenje ekvinocije, kulminaciju iznad horizonta ima na datum decembarskog solsticija, a zalazi na datum martovske ekvinocije. Ovakav raspored osvetljenja i noći umnogome utiče na život i privredne aktivnosti ljudi koji žive u oblastima sa većom geografskom širinom u odnosu na polarne krugove. Najsevernije stalno naselje na Zemlji je Longjerbijen, glavni grad norveške teritorije Svalbard. Naselje se nalazi na  $78^{\circ} 13' 24''$  SGŠ i zbog svog položaja njegovi stanovnici su morali da se priviknu na ektremne svetlosne uslove. Obdanica u Longjerbijenu traje od 20. aprila do 23. avgusta, a noć od 26. oktobra do 15. februara.

Na dužinu obdanice i noći utiče i pojava prelamanja svetlosti koju nazivamo refrakcija. Delimično osvetljenje donjih slojeva atmosfere i površine Zemlje koje je ostatak rasipanja Sunčeve svetlosti u gornjim slojevima atmosfere, kada je Sunce ispod horizonta, je redovna svakodnevna pojava koja se primećuje u dva navrata tokom 24 časa. Ovo osvetljenje nazivamo sumrak. Postoji večernji sumrak ili suton koji se javlja neposredno po zalasku Sunca i postoji jutarnji sumrak ili svitanje, koji se javlja neposredno pre izlaska Sunca. Večernji sumrak nastupa po zalasku Sunca i traje do spuštanja Sunca do  $6^{\circ}$  ispod horizonta i naziva se građanski sumrak.

Za vreme građanskog sumraka smanjuje se osvetljenje površine Zemlje, na nebeskom svodu počinju da se naziru najsajnije zvezde i pojedine sjajne planete. Navigacioni sumrak počinje kada se Sunce spusti na  $6^{\circ}$  ispod horizonta i traje dok Sunce ne stigne do  $12^{\circ}$  ispod horizonta. Pri svetlosti navigacionog sumraka još se može orijentisati u prostoru, mogu se

**Tabela 29.** Trajanje obdanice i noći na geografskim širinama iznad polarnika

| Geografska širina                           | $70^{\circ}$     | $75^{\circ}$     | $80^{\circ}$     | $85^{\circ}$     | $90^{\circ}$     |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Najveća Sunčeva kulminacija iznad horizonta | $43^{\circ} 27'$ | $38^{\circ} 27'$ | $33^{\circ} 27'$ | $28^{\circ} 27'$ | $23^{\circ} 27'$ |
| Najduža obdanica                            | 65 dana          | 103 dana         | 132 dana         | 161 dana         | 186 dana         |
| Najduža noć                                 | 60 dana          | 97 dana          | 127 dana         | 153 dana         | 179 dana         |
| Broj dana sa smenom obdanice i noći         | 240 dana         | 165 dana         | 104 dana         | 41 dan           | 0 dana           |



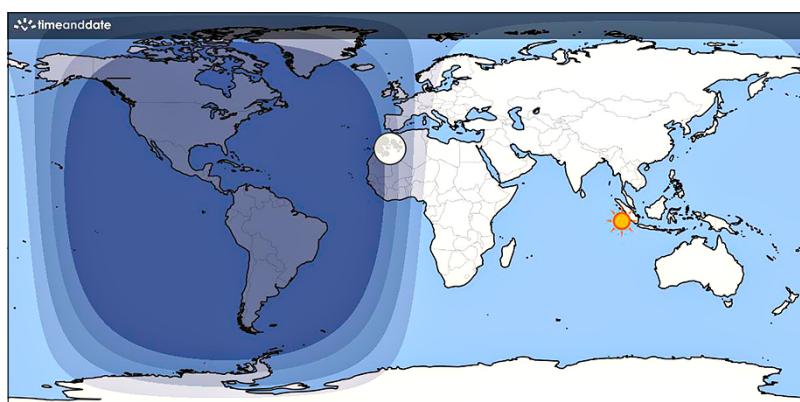
**Prilog 93.** Vrste sumraka

videti siluete objekata. Mornari na otvorenom moru još mogu da vide jasno liniju horizonta pa je orientacija i dalje moguća, odatle i naziv ovom sumraku.

Kada se Sunce spusti ispod  $12^\circ$  u odnosu na horizont nastaje skoro potpuni mrak. Do spuštanja Sunca ispod  $18^\circ$  u odnosu na horizont, ovaj period nazivamo astronomskim sumrakom. U astronomskom sumraku, osvetljenje neba je toliko slabo da bi većina povremenih posmatrača smatrala da je nebo potpuno tamno, posebno pod urbanim ili prigradskim svetlosnim zagađenjem. U astronomskom sumraku, horizont se ne nazire i umereno sjajne zvezde ili planete se mogu posmatrati golim okom pod nebom koje nije zagađeno svetlošću.

Ali da bi se testirale granice posmatranja golim okom, Sunce mora biti više od  $18^\circ$  ispod horizonta. Tačkasti izvori svetlosti kao što su zvezde i planete mogu lako da se proučavaju od strane astronoma u astronomskom sumraku. Ali difuzne izvore svetlosti kao što su galaksije, magline i globularna jata treba posmatrati pod potpuno tamnim nebom, ponovo kada je

**Prilog 94.** Zone obdanice, građanskog, navigacionog, astronomskog sutona i noći  
Izvor: [timeanddate.com](http://timeanddate.com).



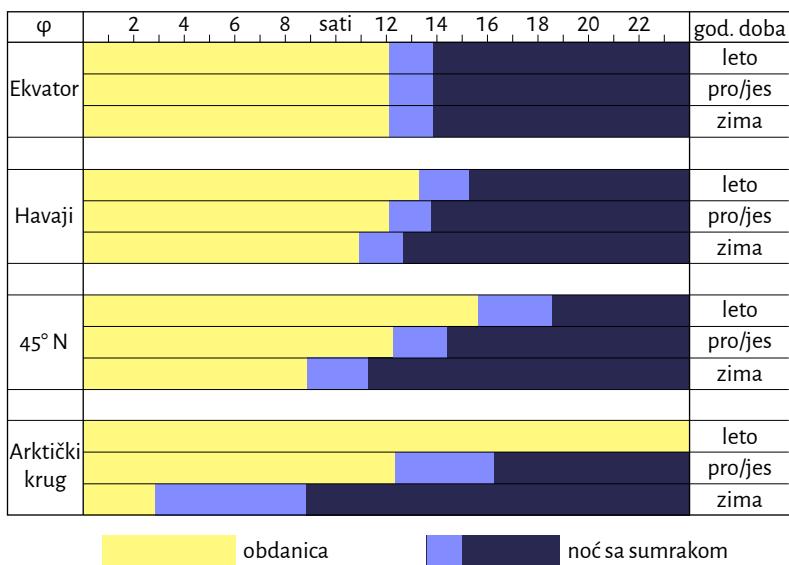
Sunce više od  $180$  ispod horizonta ([noaa.weather.gov](http://noaa.weather.gov)).

Vreme trajanja sumraka određeno je geografskom širinom i u manjoj meri Sunčevom deklinacijom odnosno, periodom godine. Na ekvatoru, Sunčev luk prividnog dnevnog kretanja pod velikim je uglom u odnosu na horizont, zbog toga Sunce brzo zalazi i brže prolazi oblast od  $0$  do  $18^\circ$  ispod horizonta. Posledica toga je da na ekvatoru građanski sumrak traje do 23 minuta. U tropskim predelima, sumrak kratko traje i potpuni mrak brzo zavlada, u ovoj oblasti svi večernji (ili jutarnji) sumraci ukupno, maksimalno traju do 70 minuta.

Na većim geografskim širinama, severno od severnog i južno od južnog povratnika, ugao koji Sunčev luk prividnog dnevnog kretanja zaklapa sa horizontom je manji, a idući ka severu na severnoj polulopti i idući ka jugu na južnoj polulopti, konstantno se smanjuje. Pod ovakvim uslovima, sumraci traju znatno duže. Na  $50^\circ$  geografske širine građanski sutan traje od 33 do 48 minuta u zavisnosti od dela godine.

Unutar polarnih krugova, dvadesetčetveročasovna dnevna svetlost se sreće samo leti, a u regionima veoma blizu polova, sumrak može da traje nedeljama u zimskom delu godine. Na geografskim širinama gde je ugaona udaljenost od polarnog kruga manja od ugla koji definiše sumrak, sumrak se može nastaviti do lokalne ponoći u vreme letnjeg solsticija. Precizan položaj polarnih krugova i regiona u kojima se sumrak može nastaviti tokom lokalne ponoći, neznatno varira iz godine u godinu sa aksijalnim nagibom Zemlje. Najniže geografske širine na kojima se različiti sumraci mogu nastaviti do lokalne ponoći su približno  $60^\circ 33' 43''$  za građanski sumrak,  $54^\circ 33' 43''$  za nautički sumrak i  $48^\circ 33' 43''$  za astronomski sumrak.

Unutar polarnih krugova tokom zime, retko je prisutan potpuni mrak u trajanju od 24 sata. Ovo može da se desi samo na pozicijama koje su iznad  $84,5^\circ$  geografske širine i to samo na datume oko zimskog solsticija. Na druge datume, kao i na svim ostalim geografskim širinama, polarna noć obuhvata i dnevne perioode sumraka. Oko zimskog solsticija, nekoliko nedelja traje potpuni dnevni mrak, na Južnom polu od 11. 5. do 31. 7, a na Severnom polu od 13. 11. do 29. 1. Tokom ovih perioda nema sumraka na Južnom i Severnom polu. Takođe, u



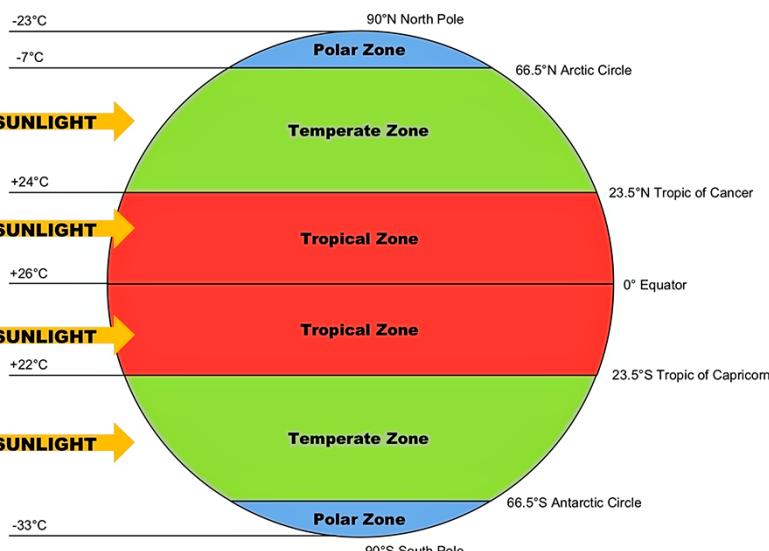
**Prilog 95.** Trajanje sumraka po geografskim širinama i delu godine  
Izvor: [cso.caltech.edu](http://cso.caltech.edu)

polarnim krugovima su moguće i pojave lokalnog podneva tokom sumraka.

Lokalno podne u nautičkom sumraku je moguće na geografskim širinama između  $67^{\circ} 24'$  i  $72^{\circ} 34'$ . Lokalno podne u nautičkom sumraku je moguće na geografskim širinama između  $72^{\circ} 34'$  i  $78^{\circ} 34'$ , a lokalno podne u astronomskom sumraku je moguće na geografskim širinama između  $78^{\circ} 34'$  i  $84^{\circ} 34'$ .

Lokalno podne tokom noći je moguće na geografskim širinama između  $84^{\circ} 34'$  i  $90^{\circ}$  severno i južno od ekvatora. Na geografskim širinama iznad  $81^{\circ}$  ugaoni položaj Sunca u odnosu na horizont je uvek manji od  $18^{\circ}$ , u ovoj oblasti sumrak može da traje 24 sata. Ovo se dešava jedan dan na geografskim širinama blizu  $81^{\circ}$  i

**Prilog 96.** Toplotni pojasevi na Zemlji  
Izvor: [edrawsoft.com](http://edrawsoft.com)



produžava se i do nekoliko nedelja što se više ide prema  $90^{\circ}$ .

### Toplotni pojasevi

Toplotni pojasevi su direktna posledica oblika Zemlje ali na njihovo prostiranje kao i granice utiču revolucija i nagnutost ose Zemlje prema ekliptici. Zonalnost zagrevanja površine Zemlje je bila poznata još u antičkom periodu kada su Pitagora, Tales, Parmenid i drugi, delili Zemlju na zone prema intenzitetu zagrevanja površine i temperaturama vazduha. Zone su slične pojasevima koji obavijaju Zemlju, a ograničeni su povratnicima i polarnicima. Ima ih pet, tropski, dva umerena i dva polarna toplotna pojasa. Dugo se verovalo da su nastanjene samo umerene zone i da je tropska suviše topla i polarne suviše hladne za život. Strabon je tvrdio suprotno, da ima života u svim zonama, pa ipak, ovakvo verovanje se zadržalo skoro do XV veka.

Tropski ili žarki toplotni pojaz se prostire severno i južno od ekvatora. Severno se pruža do severnog povratnika, do približno  $23,5^{\circ}$  sgš, a južno od ekvatora do južnog povratnika, do približno  $23,5^{\circ}$  jgš. Sunce je iznad krajnjih granica to jest, povratnika, jednom u zenithu tokom godine, dok je iznad svih drugih tačaka u ovom pojusu, dva puta u zenithu. Upadni uglovi Sunčevih zraka dostižu  $90^{\circ}$  kada Sunčeva deklinacija ima istu vrednost kao vrednost geografske širine iznad koje se nalazi Sunce. Ova pojava se dešava na obe hemisfere u letnjem delu godine i to dva puta. Prvi put kada se Sunce prividno kreće od ekvatora ka povratniku i drugi put kada se Sunce vraća, spušta od povratnika ka ekvatoru.

Sunce se nalazi iznad ekvatora na svakih šest meseci. Tokom jedne polovine godine, Sunce obasjava pod uglovima severni ili južni deo tropskog pojasa Sunčevim zracima koji imaju upadne uglove koji su blizu  $90^{\circ}$ , dok su za to vreme upadni zraci na drugoj polovini ovog pojasa nešto manjih uglova. U drugom delu godine, Sunce prelazi iznad drugog dela ovog pojasa pa je situacija obrnuta. Pa ipak, u čitavom pojusu upadni uglovi Sunčevih zraka zaklapaju velike uglove u odnosu na površinu Zemlje pa je zagrevanje tokom čitave godine veliko.

Kolebanje kulminacije Sunca iznad ekvatora tokom godine je  $+/-23,5^{\circ}$  dok iznad povratnika kulminacija Sunca ima godišnju varijaciju od  $+/-47^{\circ}$ .

Upravo iz ovog razloga su temperature u ovom pojasu visoke tokom cele godine pa nema izraženih godišnjih doba. Takođe, sezonalne razlike u dužinama obdanice i noći su male. Umerenih pojaseva na Zemlji ima dva. Severni umereni pojas se prostire od severnog povratnika,  $23,5^{\circ}$  sgš do severnog polarnika,  $66,5^{\circ}$  sgš. Južni umereni pojas se prostire od južnog povratnika,  $23,5^{\circ}$  jgš do južnog polarnika,  $66,5^{\circ}$  jgš. U umerenim pojasevima Sunčev zenitalni položaj nikada ne dostiže  $90^{\circ}$ , a razlike u upadnim uglovima Sunčevih zraka tokom godine su izražene. Osim toga, od povratnika do polarnika Sunčevi zraci stižu na površinu Zemlje pod sve manjim uglom i zagrevaju veće površine. Usled toga je zagrevanje u umerenim pojasevima izrazito neujednačeno.

Tokom godine, razlike u dužinama obdanice i noći su velike. Nejednaka godišnja raspodela energije kao i njena sezonalnost, uzrokuje izraženu pojavu godišnjih doba. Gledajući

svaki umereni pojas po geografskoj širini, karakter godišnjih doba varira. U oblastima bližim povratnicima leta su duža od zime, a prelazna godišnja doba su kratka.

Obrnuto je u oblastima bliže polarnicima gde su zime duže od leta. Hladnih pojaseva takođe ima dva. Severni hladni pojas se prostire od severnog polarnika,  $66,5^{\circ}$  sgš do Severnog pola, dok se južni hladni pojas prostire od južnog polarnika,  $66,5^{\circ}$  jgš do Južnog pola Zemlje. U ovim pojasevima se tokom godine dešava prestanak redovne smene obdanice i noći za 24 sata.

Tokom godine se dešavaju periodi duge obdanice ili duge noći kao i periodi sa redovnom smenom obdanice i noći. Tokom čitave godine upadni uglovi Sunčevih zraka su mali, na polarnicima najveći ugao Sunčevih zraka koji se dostiže tokom godine je  $47^{\circ}$ , a na polovima je  $23,5^{\circ}$ . Zbog tako malih upadnih uglova, zagrevanje površine Zemlje je malo pa su temperaturе vazduha niske tokom cele godine. U zonama blizu polarnika se pojavljuje kratko ali prohладno leto u toku godine. Krajnji severni i južni delovi ovih zona su pod stalnim ledom i snegom.

## OSTALA ZEMLJINA KRETANJA

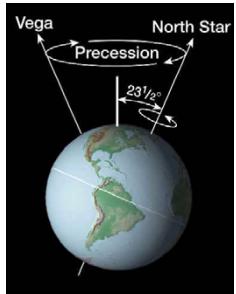
Univerzalna gravitacija upravlja kretanjima u Sunčevom planetarnom sistemu. Interakcija među svim članovima Sunčevog sistema je stalna i utiče na sve članove. Pored već po-minjanih kretanja Zemlje rotacije i revolucije, Zemlja vrši još neka kretanja koja nazivamo perturbacijama. Postoje dve grupe, perturbacije Zemljine osovine ili periodske perturbacije i perturbacije Zemljine putanje ili sekularne perturbacije. U periodske perturbacije spadaju precesija i nutacija dok u sekularne perturbacije spadaju kolebanje nagiba ekliptike, promene ekscentričnosti Zemljine putanje i pomera-nje apsidne linije.

### Precesija

Precesija je bila treće otkriveno kretanje Zemlje, posle daleko očiglednije dnevne rotacije kao i godišnje revolucije. Pomeranje Zemljine ose je pojava za koju su se interesovali astronomi još

u starom veku, a kao pojava je praćena stotinama godina. U sastavljanju svog čuvenog kataloga zvezda (završenog 129. pre nove ere), grčki astronom Hiparh je primetio da su položaji zvezda na sistematski način pomereni u odnosu na ranije vavilonske (haldejske) mere. Ovo je ukazivalo na to da se ne kreću zvezde, već platforma sa koje se posmatra to jest, Zemlja. Takvo kretanje se naziva precesija i sastoji se od cikličnog kolebanja u orientaciji Zemljine ose rotaciјe. Ova pojava se manifestuje na nebeskoj sferi kao ispisivanje kruga od strane produžetka Zemljine osovine. Kada se produži osa rotacije ona pokazuje pravac ka tački Severnog pola neba. Tokom vremena, ova tačka se kreće u odnosu na udaljene, nepomične zvezde, a kretanje se odvija po kružnici. Vreme za koje nebeski pol opiše kružnicu iznosi približno 25.772 godine, a taj period se naziva Platonska godina.

Precesija ose rotacije se dešava zbog per-turbacija, a pod uticajem Meseca, Sunca na



➊ Prilog 97. Precesija Zemlje  
Izvor: [epm.ethz.ch](http://epm.ethz.ch)

prvom mestu, ali i pod veoma malim uticajem ostalih planeta Sunčevog sistema. Planeta Zemlja nije savršena sfera, njen ekvatorijalni deo je blago izbočen što je posledica rotacije. Gravitacioni uticaji Meseca i Sunca zahvataju Zemljino ispuštanje koje od njih prima torzioni momenat. Zbog toga, ekvatorijalni deo Zemlje ima stalnu težnju da se okrene ka smeru gravitacionog uticaja. Drugim rečima, da Zemlja kojim slučajem ima oblik idealne sfere, precesija ne bi postojala.

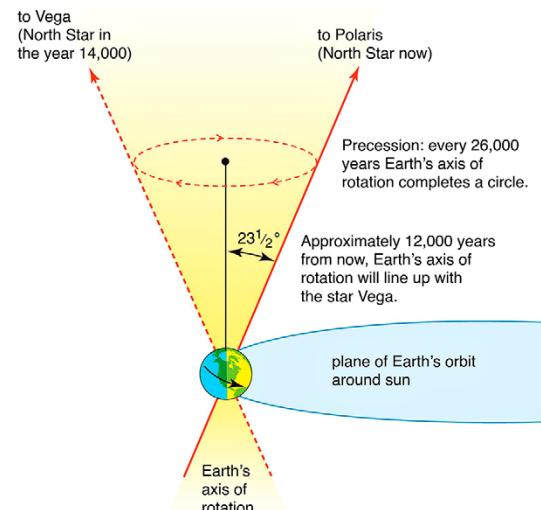
Precesija se može podeliti na dve komponente kretanja, a one su izdvojene po gravitacionom uticaju koje ga uzrokuje. Luni-solarna precesija je glavna komponenta precesionog kretanja Zemlje i uzrokuje ga gravitacioni uticaj Meseca i Sunca.

Druga komponenta precesionog kretanja Zemljinog kretanja je planetarna precesija i tu komponentu precesionog kretanja uzrokuje gravitacioni uticaj ostalih planeta u Sunčevom sistemu. Retko se izdavajaju ove komponente već se one posmatraju zajedno kao opšta Zemljina precesija. Ako posmatramo kretanje Zemlje po ekliptici, pojavu precesije možemo posmatrati kao retrogradno kretanje ekvinokcijalnih tačaka. "Istrčavanje" zvezda se lako može objasniti pomeranjem prolećne tačke u retrogradnom smeru to jest, suprotno od smera kretanja Zemlje po ekliptici.

Tako se svake godine prolećna tačka pomeri i ide u susret Zemlji, koja tako svake godine dolazi ranije u prolećnu tačku pre nego dođe u

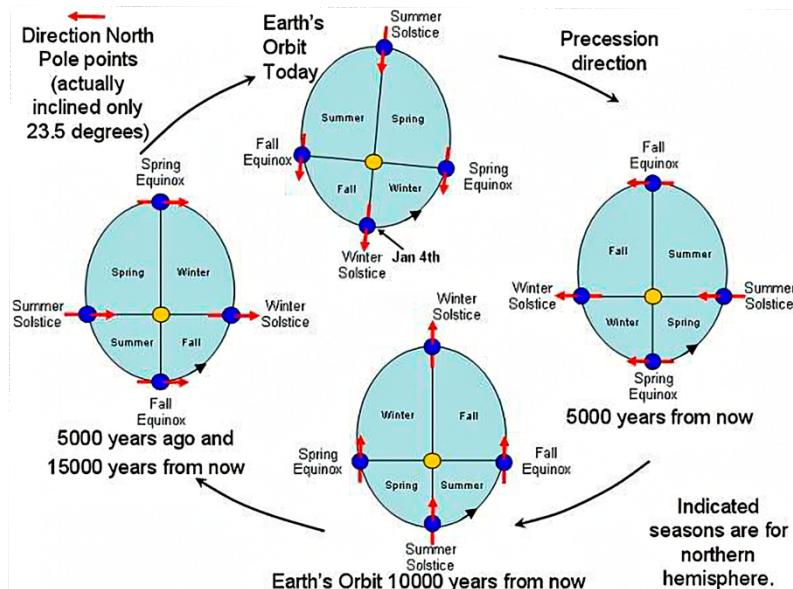
odgovarajući položaj u odnosu na neku udaljenu zvezdu. Posledica ovoga je da se trenutno nebeski pol polako udaljava od polarne zvezde (Severnjače) i da će za 10.000 godina nebeski pol biti u blizini sazvežđa Labud, potom u blizini zvezde Vega, a posle 16.000 godina u sazvežđu Herkul.

Ove promene u položaju Zemljine osovine ima za posledicu i promenu u položaju ekvatorijalne ravni. Ravan ekvatora zaklapa ugao sa ravni ekliptike 23,5°, a pozicije preseka (čvor-



© Encyclopædia Britannica, Inc.

➋ Prilog 98. Precesija Zemlje i položaj nebeskog pola sa ravni ekliptike  
Izvor: [britanica.com](http://britanica.com)



ne tačke) ove dve ravni će se vremenom pomjerati to jest, pomeraće se prolećna i jesenja tačka kao i ekvinokcijalna linija. Pošto se čvrne tačke pomeraju retrogradno, njihov položaj u odnosu na nebeska sazvežđa (zodijak) će se takođe pomerati.

Precesija ima i jednu dugoperiodičnu klimatsku posledicu koja se oseća na čitavoj površini planete. Precesija će uzrokovati da tokom Platonske godine nagnutost ose rotacije Zemlje prema ravni ekliptike bude izmenjena, a to znači da će Zemljina osovana imati različite položaje u ekvinokcijskim i solsticijalnim tačkama. Na primer, za pola Platonske godine Zemljina osovana će zauzeti suprotan položaj u odnosu na današnji po pitanju položaja solsticijskih tačaka prema afelu i perihelu. Tada će severna hemisfera u letnjem solsticiju biti bliža perihelu, a u vreme zimskog solsticija biće bliža afelu, dakle, potpuno će se zameniti položaji hemisfera pri smeni godišnjih doba u odnosu na krajnje tačke apsidne linije.

## Nutacija

Nutacija je vijugavo kretanje produžene ose rotacije Zemlje prilikom kretanja po precesijskoj kružnici. Ovo kretanje Zemlje je kasno otkriveno, a za njega je zaslužan britanski astronom Džejms Bredli (*James Bradley*) koji je otkrio nutaciju 1748. godine. Ona nastaje pod gravitacionim uticajem Meseca i Sunca, a posledica je neusaglašene Mesečeve putanje u odnosu na ravan ekvatora. Ako bi se Mesečeva putanja poklapala sa ravni ekvatora, onda bi gravitacioni uticaj Meseca i Sunca bio ujednačen u smislu pravca delovanja pa u tom slučaju nutacije ne bi bilo. Međutim, Mesečeva putanja zaklapa ugao u odnosu na ravan ekliptike od  $5^\circ 9'$  pa je gravitaciono delovanje Meseca i Sunca u ravanskom smislu razdvojeno.

Mesec deluje u pravcu pomeranja Zemlje ka ravni svoje putanje i pod takvim uticajem nastaje nutacija koja je vidljiva na precessionom krugu koji postaje vijugav. Jedna vijuga nastaje na svakih 6.978 dana ili 18,6 godina što je posledica regresije linije čvorova Mesečeve putanje. Regresija ima više komponenti, a glavna dostiže  $17''$  dužine i  $9''$  razlike u nagibu. Ostale komponente nutacije su manje, sledeća ima 183 dana i regresione amplitude koje variraju od  $1,6''$  do  $0,6''$ .

## Kolebanje nagiba ekliptike

Kolebanje nagiba ekliptike se registruje kao promena ugla koji čine ravan ekliptike i ravan nebeskog ekvatora. Viševekovna posmatranja su potvrdila ovu pojavu, a u proteklih 3.000 godina, ugao se konstantno smanjuje. Smanjenje ugla nije zanemarljivo, prema Njukombu (*Simon Newcomb*) to smanjenje iznosi  $0,4685''$  godišnje.

Prema kasnijim istraživanjima, ovo kolebanje ugla je oscilatorno i kreće se u relativno uskim granicama od  $2,5^\circ$ , a period mu iznosi 40.000 godina. Promene u nagibu ekliptike nastaju iz dva razloga.

Gravitaciona snaga planeta u Sunčevom sistemu utiče na Zemlju, menja nagib ekliptike, a sa njom se menja i položaj pola ekliptike. Ova pojava se naziva planetarna precesija. Planetarna precesija je direktnog smera pa deluje u suprotnom smeru u odnosu na lunosolarnu precesiju i upravo zbog toga u izvesnoj meri

**Tabela 30.** Trajanje obdanice i noći na geografskim širinama iznad polarnika

| Podatak              | Godina       | Nagib ekliptike     |
|----------------------|--------------|---------------------|
| Kineski stari zapisi | 1100. p.n.e. | $23^\circ 54'$      |
| Hiparh               | 150.         | $23^\circ 51' 20''$ |
| Albaten              | 880.         | $23^\circ 35'$      |
| Ibn Yunis            | 1000.        | $23^\circ 34' 26''$ |
| James Bradley        | 1750.        | $23^\circ 28' 19''$ |
| Simon Newcomb        | 1900.        | $23^\circ 27' 08''$ |
| Roskosmos            | 1982.        | $23^\circ 26' 29''$ |

Izvor: Dere et al., 1984.

smanjuje vrednost lunosolarne precesije prolećne tačke. Planetarna precesija je posledica gravitacionog uticaja ostalih planeta u sistemu, a posebno Jupitera, koje teže da ravan Zemljine ekliptike pomeri prema srednjoj ravni svih planetarnih putanja.

Drugi uzrok pomeranja nagiba Zemljine ekliptike je gravitacioni uticaj Sunca i Meseca. Kao proizvod gravitacionih uticaja planeta, kao i Sunca i Meseca, je kolebanje u nagibu ekliptike Zemlje. Pomeranjem ekliptike Zemlje menja se i ugao između ekliptike i Zemljine osovine, a time se menja i ugao koji zaklapa ravan ekvatora sa ravni ekliptike.

Ova promena utiče na širinu toplotnih pojaseva. Sa promenom nagiba Zemlje menja se i položaj povratnika i polarnika, a time i površina toplotnih pojaseva. Ako se smanjuje nagib osovine, smanjuje se i površina žarkog pojasa, a povećava se površina umerenih toplotnih pojaseva. Sa promenom nagiba osovine menja se i deklinacija Sunca što utiče na periode obdanice i noći.

Trenutno je Zemlja u smanjenju ugla ose rotacije, a samim tim i najveće Sunčeve deklinacije se smanjuju, a povratnici se pomeraju prema ekuatoru i polarnici prema polovima. Na godišnjem nivou su ta pomeranja relativno mala, oko 14,5 metara ali je površinski to pomeranje značajno.

## Promene ekscentriciteta ekliptike

Promene ekscentriciteta ekliptike je pojava koja menja oblik Zemljine putanje. Zemljina putanja ima oblik elipse ali se vremenom menja i u nekim periodima se približava obliku kruga. Godišnje kretanje Zemlje oko Sunca

nije savršeno kružno, ali je prilično blizu tome. Vremenom, sila gravitacije sa dve najveće planete našeg Sunčevog sistema, Jupitera i Saturna, uzrokuje da oblik Zemljine orbite varira od skoro kružnog do blago eliptičnog. Ekscentricitet meri koliko se oblik Zemljine orbite udaljava od savršenog kruga. Ove varijacije utiču na rastojanje između Zemlje i Sunca.

Pri ovoj promeni menja se samo dužina male osovine ekliptike dok se dužina apsidne linije ne menja. Varijacije su značajne, pri najmanjem ekscentricitetu Zemljina ekliptika je skoro krug, tada ekscentricitet iznosi 0,0034. Prilikom maksimalnog ekscentriciteta od 0,058 Zemljina ekliptika ima oblik elipse (Sewall, 2015). Kada je maksimalna, numerička ekscentričnost iznosi 10.500.000 kilometara, dok je minimalna 446.000 kilometara (Dere et al., 1984).

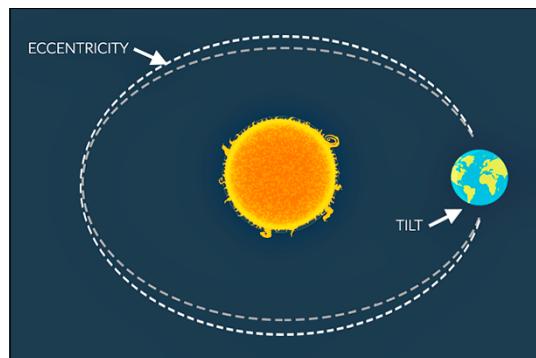
**Tabela 31.** Trajanje obdanice i noći na geografskim širinama iznad polarnika

| Ekscentricitet orbite | Perihel        | Afel           | Apsidna linija |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
| Maksimalni            | 139.000.000 km | 160.000.000 km | 299.000.000 km |
| Minimalni             | 149.000.000 km | 150.000.000 km | 299.000.000 km |

Izvor: Dere et al., 1984.

Ekscentričnost je razlog zašto su naša godišnja doba malo drugačije dužine, pri čemu su leta na severnoj hemisferi trenutno oko četiri i po dana duža od zima, a proleća oko tri dana duža od jeseni. Kako se ekscentricitet smanjuje, dužina naših godišnjih doba se postepeno ujednačava. Razlika u udaljenosti između Zemljiniog položaja u perihelu, koji se dešava 3. januara svake godine ili približno tog datuma i njenog položaja u afelu 4. jula, trenutno je oko 5,1 miliona kilometara, varijacija od 3,4 procента. To znači da svakog januara oko 6,8 odsto više Sunčevog zračenja stigne do Zemlje nego svakog jula.

Kada je Zemljina orbita najeliptičnija, oko 23% više dolaznog Sunčevog zračenja svake godine stigne do Zemlje kada je naša planeta najbliža Suncu nego na njenom najdaljem položaju od Sunca. Trenutno se ekscentricitet Zemlje veoma sporo smanjuje i približava se svom najmanje eliptičnom obliku (najkružnijem). Ove promene se dešavaju u ciklusu od oko 100.000 godina. Ukupna promena globalne godišnje insolacije usled ciklusa ekscentricite-



⊕ **Prilog 100.** Ekscentricitet Zemljine orbite

ta je veoma mala. Pošto su varijacije u ekscentričnosti Zemlje prilično male, one su relativno mali faktor u godišnjim sezonskim klimatskim varijacijama.

Jedna od posledica perturbacija je pomerenje apsidne linije. Apsidna linija spaja perihel i afel, a na svakih 21.000 godina ova linija se poklapa sa solsticijskom linijom. U međuperiodu, između ove dve linije postoji izvestan ugao koje se menja. Poslednje poklapanje apsidne sa solsticijskom linijom je bilo pre oko 3.500 godina, a danas je ugao između njih  $110^{\circ} 35'$ . Apsidna linija se pomera u direktnom pravcu i sa njom se pomjeraju i položaji afela i perihela na ekliptici.

Afel se pomera i udaljava od letnje solsticijske tačke i kreće se ka jesenjoj ekvinokcijskoj tački. Perihel se pomera i udaljava od zimske solsticijalne tačke i ide ka prolećnoj ekvinokcijskoj tački. U toku jedne godine, uglavno pomeranje na ekliptici iznosi  $11,46^{\circ}$ , pa je ciklus ovog pomeranja oko 113.000 godina. Pomeranje apsidne linije je izazvano gravitacionim uticajima ostalih planeta u Sunčevom sistemu.

I prolećna tačka se pomera na ekliptici ali u suprotnom smeru, apsidana linija u direktnom pravcu, a prolećna tačka u retrogradnom pravcu. Ovo uzrokuje stalne promene u trajanju godišnjih doba na Zemlji.

U pomeranju apsidne linije postoje karakteristični periodi, slučajevi, koji utiču na karakteristike godišnjih doba. Ako se apsidna linija i solsticijalna linija poklapaju, perihel se nalazi u zimskoj solsticijalnoj tački, tada letnja polovina godine traje 186 dana, a zimska polovina godine 179 dana. Ako se apsidna linija poklapa sa ekvinokcijskom linijom, a perihel se nalazi u prolećnoj ekvinokcijskoj tački, tada bi proleće bilo najkraće, a jesen najduža jer se jesenja ekvinokcijska tačka nalazi u afelu. Ako

se apsidna linija i solsticijalna linija poklapaju, ali se perihel nalazi u letnjoj solsticijskoj tački tada će leto biti kraće od zime, a proleće i jesen će trajati isto. U slučaju da se apsidna linija poklapa sa ekvinokcijalnom linijom, a perihel je u jesenjoj ekvinokciji, tada će jesen biti najkraća, proleće najduže, a zima i leto će trajati podjednako.

Svi slučajevi se odnose na severnu Zemljinu poluloptu, na južnoj će redosled godišnjih doba biti obrnut. Period u kom se između tri glavne linije Zemljine ekliptike, apsidne, ekvinokcijske i solsticijske, uspostave isti uglovi iznosi 21.000 godina. Ipak, prolećna tačka se ne vraća u prvobitni položaj tokom tog perioda. Prolećna tačka prelazi svake godine uglovni luk od  $50,26''$  i to u susret perihelu pošto su smerovi pomeranja prolećne tačke i apsidne linije suprotni.

Već je rečeno da se apsidna linija uglovno pomera na ekliptici za  $11,46''$  godišnje i to je vrednost za koliko se perihel pomeri prema prolećnoj tački. Pri toj uglovnoj brzini, perihel

će se za 21.000 godina pomeriti na ekliptici  $66^\circ 53' 14,5''$ , dok će krug od  $360^\circ$  zatvoriti svojim kretanjem za 113.000 godina. U tom vremenском periodu će 5,4 puta doći do poklapanja prolećne tačke i perihela. Jedna i druga tačka se kreću ekliptikom u suprotnom smeru pa idu u susret jedna drugoj ali brzinama koje se znatno razlikuju. Usled manje brzine, perihel će pri svakom susretu (poklapanju) morati da pređe  $67^\circ$  dok će prolećna tačka pre svakog susreta preći na ekliptici uglovni ostatak od  $293^\circ$ .

Geografske posledice perturbacija su brojne. Tokom geološke istorije Zemlje zabeležene su brojne klimatske promene. Najbolje dokumentovana su klimatska kolebanja tokom pleistocena. Ove promene u klimi su imale veliku ulogu u oblikovanju površine planete. Za vreme ledenih doba, hladna klima je uticala na promene u biogeografskim arealima brojnih biljnih i životinjskih vrsta, promene u sastavu i strukturi zemljišta, promene u rasprostarenosti i karakterima vodnih resursa, promene u reljefu i mnoge druge.

## LITERATURA

- Bradley, J., Rigaud, S., P. 1832. *Miscellaneous works and correspondence of the Rev. D.D., F.R.S.* Oxford University Press. p. 11.
- Buis, A. Milankovitch (Orbital) Cycles and Their Role in Earth's Climate. National Aeronautic and Space Administration.
- Chakraborty, D., Saha, S., Mridha, N., Aniruddha, R. 2018. Climate change: is it for the first time? Atmospheric science, Research gate.
- Dere, K., Bugarski, D. 1984. Matematička geografija. Institut za geografiju, Novi Sad.
- Egler, A. R. 2007. Orbital elements and astronomical terms. Dept. of Physics, North Carolina State University, Wayback machine.
- Lieske, J. B. 1981. Catalog of eclipses of Jupiter's Galilean satellites, 1610-2000. Astron. Astrophys. Supl. Ser., 44: 209-16.
- Maers, A., Wayne, R. 2011. Rethinking the foundations of the theory of special relativity: stellar aberration and the Fizeau experiment. African review of physics 5.
- Mallama, Anthony. (1991). "Light Curve Model for the Galilean Satellites During Jovian Eclipse." Icarus, 92: 324-31.
- Mallama, A., Halley, M., A., Mallama, A. C. 2004. Jovian satellite positions from Hubble space telescope images. Icarus, 167: 321-29.
- Mallama, A., Collins, D., Nelson, P., Park, J., Krobusek, B. 2000. Precise timings of Galilean satellite eclipses and assessment of the E5 Ephemeris. Icarus, 147: 348-52.
- Sewall, J. O. et al., 2015. Orbital Control, Climate Seasonality, and Landscape Evolution in the Quaternary Rocky Mountains. Geomorphology, vol. 250, pp. 89-94.
- Van Flandern, T., Pulkkinen, K. 1980. Low precision formulae for planetary positions. Astrophysical journal supplement series, 31, 3, pp 391.

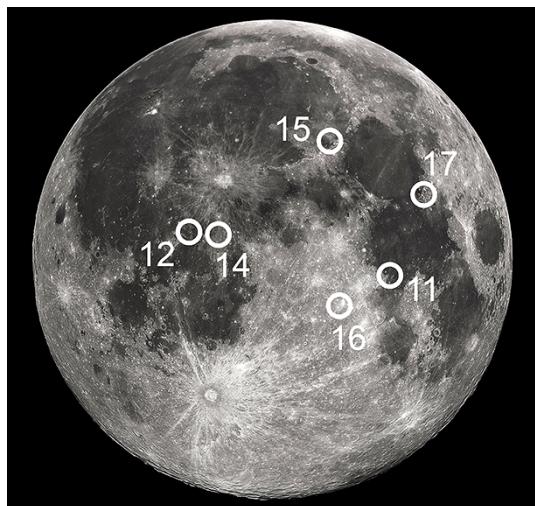
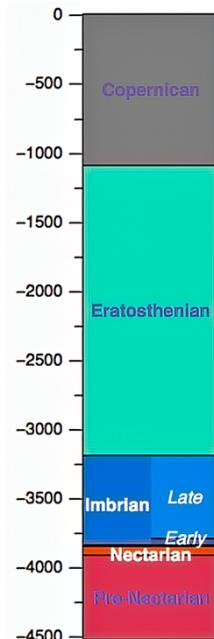
Westfall, J. E. 1983-84. Galilean satellite eclipse timings: 1975-82 Report. J.A.L.P.O., 30: 45- 53.  
(Oct.), 105-15 (Jan.), and 145-54 (Apr.).  
[www.astronomski-centar-rijeka.hr](http://www.astronomski-centar-rijeka.hr)  
[www.britannica.com](http://www.britannica.com)  
[www.climate.nasa.gov](http://www.climate.nasa.gov)  
[www.cso.caltech.edu](http://www.cso.caltech.edu)  
[www.esa.int](http://www.esa.int)  
[www.epm.ethz.ch](http://www.epm.ethz.ch)  
[www.edrawsoft.com](http://www.edrawsoft.com)  
[www.noaa.weather.gov](http://www.noaa.weather.gov)  
[www.timeanddate.com](http://www.timeanddate.com)  
[www.static.astronomija.org.rs](http://www.static.astronomija.org.rs)

# MESEC

Mesec je jedini prirodni satelit Zemlje. Mesec je najsjajniji objekat na nebeskom svodu posle Sunca, a vidljiv je i tokom obdanice. Značaj Meseca u antropogenom smislu je ogroman, kroz istoriju, Mesec je sociološki, religiozno i kulturološki bio značajan faktor u razvoju ljudskog društva. Sa druge strane, mnogi prirodni uslovi na Zemlji su dirigovani Mesečevim uticajima koji se osećaju na planetarnom nivou.

## FIZIČKE OSOBINE MESECA

Tokom istorije postojale su mnoge teorije o nastanku Meseca. Savremena istraživanja su do prinela boljem rezumevanju kako formiranja tako i uticaja Meseca na Zemlju. Mesec je jedino nebesko telo na koje je čovek stupio nogom. Prvi put je to bilo 20. jula 1969. godine u 21:17 po srednjeevropskom vremenu. Nakon toga, NASA astronauti su bili na Mesecu još šest puta i svaki put je doneta određena količina uzoraka sa Mesečeve površine.



Prilog 101. Mesečeva površina, označena su mesta sletanja i uzorkovanja misija Apolo od 11 do 17

Decenijama se materijal sa Meseca proučavao u brojnim laboratorijama širom sveta. Izotopsko datiranje lunarnih uzoraka sugerise da se Mesec formirao oko pedeset miliona godina nakon nastanka Sunčevog sistema (Thiemens, 2019). Posle brojnih teorija koje su za osnov imale fisiju materija iz Zemljine kore, gravita-

cionalno hvatanje Meseca, kao i koformaciju Zemlje i Meseca, pa ipak, danas je preovlađujuća teorija masivnog udara. Po ovoj teoriji, sistem Zemlja-Mesec nastao je nakon udara tela veličine Marsa (nazvanog *Theia*) sa proto-Zemljom. Kosi udar je izbacio materijal u orbitu oko Zemlje i materijal se vremenom akumulirao i formirao Mesec (Taylor, 1998) odmah iza Zemljine Rocheove granice od ~2,56 R (van Putten, 2017).

Smatra se da su masivni udari bili uobičajeni u ranom Sunčevom sistemu. Kompjuterske simulacije masivnog udara dale su rezultate koji su u skladu sa masom Mesečevog jezgra kao i ugaonim momentom sistema Zemlja-Mesec. Ove simulacije pokazuju da većina mase Meseca potiče od udarca, a ne od proto-Zemlje (Canup et al., 2001).

Dok teorija masivnog udara objašnjava mnoge dokaze, neka pitanja su još uvek nerezlena, od kojih većina uključuje sastav Meseca (Clery, 2013). Nakon formiranja, Mesec je bio mnogo bliži Zemlji nego danas, tako da je na nebu pra-Zemlje Mesec bio ogroman. Posledice ove blizine su se osećale kroz veoma česta pomračenja Sunca, a amplituda plime i oseke na pra-Zemlji je bila mnogo veća nego danas. Vremenom je Mesec ubrzao revoluciju i udaljio svoju orbitu od Zemlje (Wisdom et al., 2015).

Posle nastanka, Mesec se intenzivno hlađao i gubio svoju atmosferu koja je postojala na početku, a nastala je od gasova pri formiranju satelita. Po gubitku atmosfere, Mesečeva površina je bila izložena udarima većinom manjih i srednjih nebeskih tela formirajući pejzaž sa kraterima različite veličine. Upečat-

### Prilog 102.

Mesečeva geološka vremenska skala (milioni godina)

Izvor: [nasa.com](http://nasa.com)

Ijiva Mesečeva mora su nastala vulkanskom aktivnosti.

Mesec je bio vulkanski aktivan do pre 1,2 milijarde godina, a većina Mesečevih mora je nastala hlađenjem bazalta nakon vulkanskih erupcija i izlivanja tokom Imbrijanskog mesečevog perioda, pre 3,3 do 3,7 milijardi godina. Pored ove većine, postoji i mali broj mlađih mora starosti samo 1,2 milijarde godina, ali i nekolicina starijih od čak 4,2 milijarde godina (Papike et al., 1998).

Lunarna mora su većinom raspoređena na Mesečevoj bližoj strani dok se Mesečeve visoravni pretežno nalaze na suprotnoj strani satelita. Prema veličini i masi, Mesec je peti satelit u Sunčevom sistemu. Manji je od Merkura, veći je od patuljaste planete Pluton. Prečnik Meseca je 3.500 kilometara dok mu je ukupna površina oko 38 miliona km<sup>2</sup>. Mesečeva masa je 1/81 Zemljine mase, a specifična gustina od 3,34 gr/cm<sup>3</sup> kao i gravitacija od 1,62 m/s<sup>2</sup> su mu druge među satelitima Sunčevog sistema, samo Io ima veću specifičnu gustinu i gravitaciju. Unutrašnja građa mu je slična Zemljinoj, Mesec ima geochemijski izdiferenciranu koru, mantl (stenski omotač) i jezgro.

Jezgro Meseca je relativno malo, pretpostavlja se da ima prečnik do 350 kilometara ili manje. Unutrašnji deo jezgra je čvrst i bogat je gvožđem. U gornjem sloju, oko čvrstog dela, nalazi se rastopljeni deo jezgra koji je najverovatnije sastavljen od gvožđa sa malim udeлом nikla i sumpora. Oko jezgra nalazi se srednji sloj Meseca, mantl je mineralno-stenski omotač koji je izdiferenciran na tri dela, donji, srednji i gornji.

Mantl je specifične građe, nastao je u periodu hlađenja satelita pri čemu je došlo do potonuća pojedinih težih minerala, kristalizacije ogromne količine magme i isplivavanja lakših minerala u gornje slojeve. Tako se formirao omotač bogat olivinom, ksinopiroksenom, ortopiroksenom, a u gornjim slojevima je plagioklas (Shearer et al., 2006). Donji mantl je u delimično rastopljenom stanju dok su srednji i gornji čvrsti. Uzorci lavičnih izliva sa površine potvrđuju unutrašnji sastav mantla, u odnosu na Zemljin mantl, Mesečev je nešto bogatiji gvožđem (Wieczorek et al., 2006).

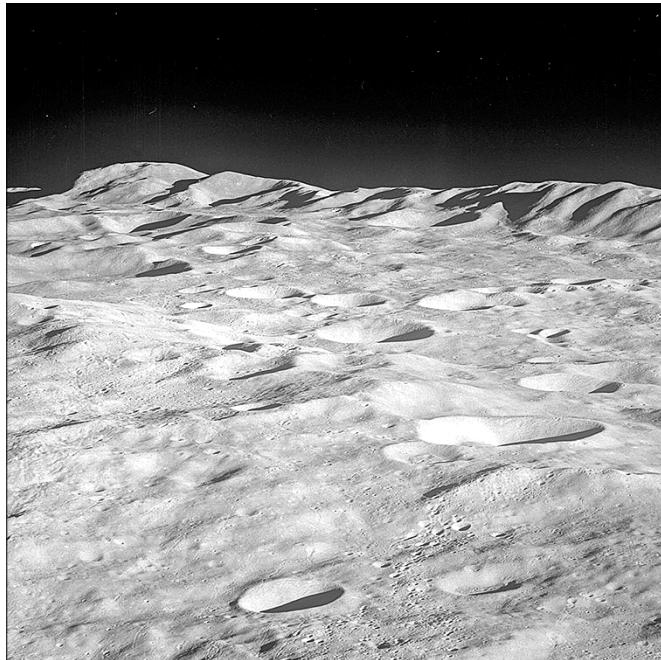
Kora koja obavlja Mesec, ima moćnost od 50 do 70 kilometara i u sastavu joj preovlađuju-

ju anortoziti (Lucey et al., 2006). Gravitacija na površini Meseca je u proseku 1,62 m/s<sup>2</sup> što je oko polovine površinske gravitacije na Marsu i oko  $\frac{1}{6}$  gravitacije na Zemlji. Gravitacija na Mesecu nije uniformna, postoje zone gravitacione anomalije - maskoni, u kojima je znatno veće gravitaciono ubrzanje. Ove zone su nastale u udarnim kraterima, a geofizičkim osobinama nastalim posle udara meteora i asteroida se objašnjava pojava gravitacionih anomalija. Jedini maskoni su uzrokovani tokovima lave i ohlađenom magmom blizu kore.

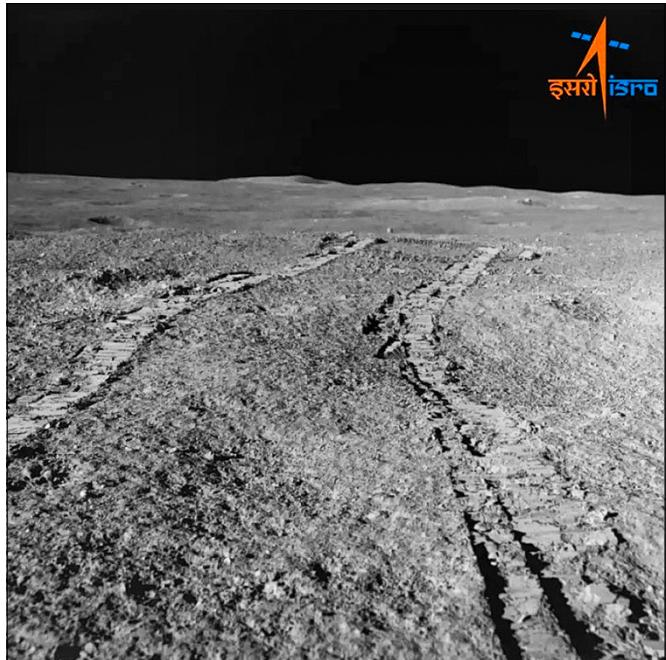
Mesec ima veoma slabo magnetno polje, oko 1/100.000 Zemljinog magnetnog polja koje potiče od magnetizma same kore Meseca. Pretpostavlja se da je to ostatak nekadašnjeg bipolarnog magnetnog polja koje je bilo prisutno u ranoj fazi postanka satelita, a koga danas Mesec nema.

Mesec ima atmosferu, ali je toliko razređena da ima skoro karakteristike vakuuma. Površinski pritisak atmosfere varira sa lunarnom sменом obdanice i noći, a vrednost mu se kreće oko 0,3 hPa ili 0,3 mbar, u odnosu na Zemlju (101,325 kPa) skoro da i ne postoji. Elementi prisutni u atmosferi su: natrijum, kalijum, argon, helijum, neon, radon, polonijum, a intrigira odsustvo kiseonika, azota, vodonika, magnezijuma i dr. Podaci indijske misije Chandrayaan-1 sugerisu i prisustvo izuzetno male količine vodene pare u atmosferi koja je prisutna od 60 do 70° geografske širine (Sridharan, 2010). Pored ovako retke atmosfere, oko Meseca se često nalaze i oblaci prašine koji nastaju nakon udara meteora u Mesečevu koru. Procenjuje se da na svaka 24 sata u Mesec udari oko pet tona različitih objekata. Svaki udar izaziva podizanje čestica prašine koje ostaju oko Meseca oko deset minuta, treba im oko pet minuta da se podignu i isto toliko da padnu nazad na površinu. Prašina se podiže do sto kilometara iznad Mesečeve kore (Horányi, 2015).

Sama površina Meseca, gornji deo kore pokriven je veoma usitnjениm, finim materijalom sive boje koji je nazvan regolit. Ovaj materijal je formiran udarnim procesima i izgrađen je od prašine koja se vraća na površinu Meseca posle udara. Sitni regolit izgrađen je od sitnih čestica sličnih staklu izgrađenih od silicijum dioksida, a sama površina prekrivena rigoli-



➊ **Prilog 103.** Planinska uzvišenja koja čine severnu ivicu Aitkin kratera, Apollo 8  
Izvor: nasa.com



➋ **Prilog 104.** Tragovi u regolitu, Chandrayaan-3, 2023.  
Izvor: isro.com

tom ima teksturu koja podseća na sneg i miris koji podseća na zapaljeni barut (NASA.com).

Površinska temperatura varira, od  $140^{\circ}\text{C}$  do  $-171^{\circ}\text{C}$ . Upravo zbog nedostatka prave atmosfere, temperature zavise od osunčanosti pozicije. Nagib Mesečevog ekvatora prema ekliptici je svega  $1,543^{\circ}$  zbog čega su varijacije u trajanju obdanice i noći male, a godišnja doba na Mesecu ne postoje.

Topografija Meseca se posmatra hiljadama godina, a savremena istraživanja potvrđuju dinamičan razvoj Mesečeve površine. Najupečatljivije obeležje Meseca je ogroman krater, Aitkin basen, na južnom polu. Krater ima prečnik od 2.240 kilometara i po dimenzi-

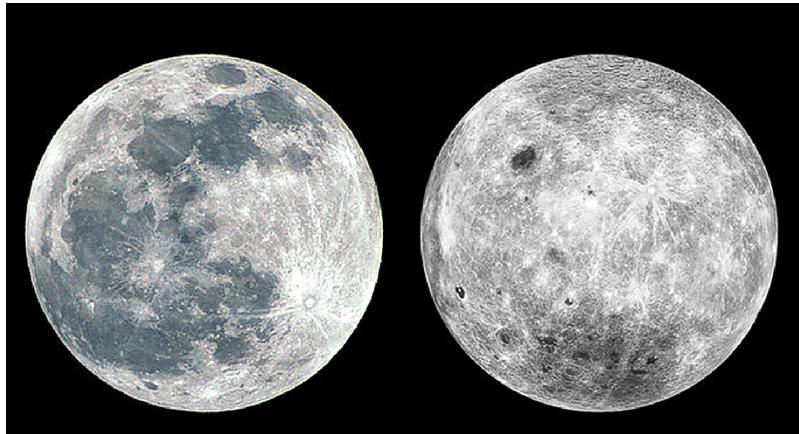
jama je drugi udarni krater u Sunčevom sistemu. Krater je dubok 13 kilometara i predstavlja najnižu tačku na Mesecu. Pored ovog kratera, postoje i brojni drugi veliki udarni krateri, Imbrijum, Serentis, Krizijum, Orjentale...

Mesec ima rasedne litice duž kojih se spušta teren. Kako nema tektonskih ploča, rasedne pukotine nastaju tokom gubljenja toplote i skupljanja delova kore. Severno more Frigoris za koje se smatralo da je geološki neaktivna zona se ipak pomera, tone i polako menja pejzaž Mesečeve površine. Na osnovu analize rasednih litica, smatra se da su se delovi Meseca spustili za 90 metara u poslednjih milijardu godina (NASA.com).

## MESEČEVA ROTACIJA

Mesec ima sinhronu, gravitaciono zaključanu rotaciju prema Zemlji pri čemu je rotaciona osovina nagnuta ka ravni Mesečeve ekliptike za  $6,687^{\circ}$ . Praktično, trajanje rotacije revolucije je isto pa Mesec prema Zemlji uvek ima okretnutu istu stranu. Strana koja je uvek okrenuta ka Zemlji se naziva bližom, dok se druga strana u odnosu na Zemlju naziva suprotna strana.

Mesec je prvobitno rotirao većom brzinom, ali je u svojoj ranoj istoriji njegova rotacija usporila i postala plimno zaključana u ovoj orientaciji kao rezultat efekata trenja povezanih sa deformacijama plime i oseke koje je izazvala Zemlja (Alexander, 1973). Vremenom se energija rotacije Meseca oko svoje ose rasipala kao toplota, sve dok nije došlo do zaključavanja ro-



➊ **Prilog 105.** Levo, bliža strana Meseca Zemlji i njoj suprotna strana, desno

Izvor: nasa.com

tacije Meseca u odnosu na Zemlju. Ako posmatramo Mesec, sa Zemlje ćemo videti uvek isti pejzaž koji se ne menja. Mesec uvek ima okretnutu istu stranu prema Zemlji i sa Zemlje deštuje da Mesec i nema rotaciju, ali ako se za referencu uzme neka zvezda, Mesec se oko svoje ose okreće za 27,32 dana, toliko Zemljinih dana traje jedan Mesečev dan. Usled skoro idealnog položaja ose rotacije prema ekliptici, obdanica i noć na Mesecu traju isto. Sektorski gledano,

kada se Mesec okreće oko svoje osovine za  $90^\circ$ , istu ugaonu putanjу pređe i na svojoj ekliptici. Ako je Mesec obišao polovinu svoje putanje na ekliptici, u isto vreme se u rotaciji okreće za  $180^\circ$  oko svoje osovine.

Do podudarnosti revolucije i rotacije Meseca je dovela Zemlja. Kada je Mesec još bio u fazi formiranja, površina mu je bila delimično tečna i rastopljena, a rotacija znatno brža. Tada je Zemlja vršila snažne gravitacione uticaje na Mesec koji su se ogledali kroz pojavu jakih plimskih izdizanja u žitkoj kori Meseca. Tako su se na Mesecu obrazovala ulegnuća i uzvišenja u tada rastopljenoj Mesečevoj masi. Usled ovih uticaja, nastalo je plimsko trenje koje je usporavalo rotaciju Meseca dok nije na kraju gravitaciono zaključana, a jedna strana Meseca ostala je trajno okretnuta ka Zemlji.

Pogrešno je nazivati suprotnu stranu meseča "tamnom" stranom. I bliža i suprotna strana Meseca imaju ujednačenu smenu obdanice i noći tako da ne postoji stalni "taman" deo Meseca.

## MESEČEVA REVOLUCIJA

Mesec se oko Zemlje kreće u direktnom pravcu. Njegova revolucija u odnosu na neku zvezdu, traje 27,321.662 zemaljska dana to jest, 27 dana, 7 sati, 43 minute i 11,6 sekundi, a taj period se naziva zvezdani Mesec ili sideričan Mesec.

Tropski mesec je nešto kraći period i odnosi se na vreme Mesečeve revolucije u odnosu na potećnu tačku na Zemljinoj ekliptici. Zbog Zemljine precesije ekvinocija, ova tačka se polako pomera unazad duž ekliptike. Prema tome, Mesecu je potrebno manje vremena da se vrati na ekliptičku geografsku dužinu od  $0^\circ$  nego u istu tačku usred nepokretnih zvezda (Porter, 1952). Tropski mesec traje 27,321.582 dana to jest, 27 dana, 7 sati, 43 minute i 4,7 sekundi, a naziv je dobi po analogiji sa tropskom godinom na Zemlji (Lang, 2012).

U odnosu na Sunce, Mesec izvrši revoluciju za 29,530 zemaljska dana tj. 29 dana, 12 sati, 44 minute i 2,9 sekundi i taj period se naziva sinodički mesec.

Mesec se ne kreće samo oko Zemlje već postoji međusobni uticaj dva nebeska tela pa se

čitav sistem Mesec - Zemlja okreće oko baricentra (centar mase) sistema koji se nalazi oko 4.670 kilometara od jezgra Zemlje. Mesečeva putanja je elipsa sa prosečnim ekscentricitetom od 0,055.

Mesec je najbliži Zemlji u perigeju koji se nalazi na oko 363.229 kilometara, a najudaljeniji u apogeju na oko 405.400 kilometara. Prosečna udaljenost Meseca od Zemlje je 384.399 kilometara (NASA.com). Razlika između položaja apogeja i perigeja iznosi 12%. Mesec se kreće po eliptičnoj putanji oko Zemlje, a sama njegova putanja takođe ima rotaciono kretanje. Ona rotira u svojoj ravni u smeru kretanja Meseca i manifestuje se kao pomeranje velike ose. Zbog okretanja čitave orbite, prolazak Meseca po njoj nije jednak sideričkom periodu i ako se posmatraju dva uzastopna prolaska Meseca kroz perigej, to vreme je nešto duže i iznosi 27,554.551 dana to jest, 27 dana, 13 sati, 18 minuta i 33,2 sekunde i naziva se anomalistički Mesec.

Kako se bliži objekti čine posmatraču većim, tako dolazi i do pojave da se Mesec "povećava" u položajima u blizu perigeja, ova po-

java se naziva Supermesec. Dešava se kada je pun Mesec bliži Zemlji, odnosno u blizini perigeja. Tada je prividni prečnik Meseca veći za 12%, koliko i iznosi razlika između apogeja i perigeja, a pri istom događaju je prividna površina Meseca veća za 25% kao i količina svetlosti koju reflektuje na Zemlju.

Variranje u orbitalnoj udaljenosti Meseca odgovara promenama u njegovim tangencijalnim i ugaonim brzinama, što je u skladu sa Keplerovom drugim zakonom, srednje ugaono pomeranje u odnosu na baricentar Zemlja-Mesec je  $13,176^\circ$  dnevno prema istoku. Mesečeva elongacija je njegova ugaona udaljenost istočno od Sunca u bilo kom trenutku. Na mладом mesecu je nula i za Mesec se kaže da je u konjunkciji. U punom mesecu, elongacija je  $180^\circ$  i kaže se da je u opoziciji. U oba slučaja, Mesec je u sizigiji, odnosno Sunce, Mesec i Zemlja su skoro poravnati. Kada je elongacija  $90^\circ$  ili  $270^\circ$ , za Mesec se kaže da je u kvadraturi.

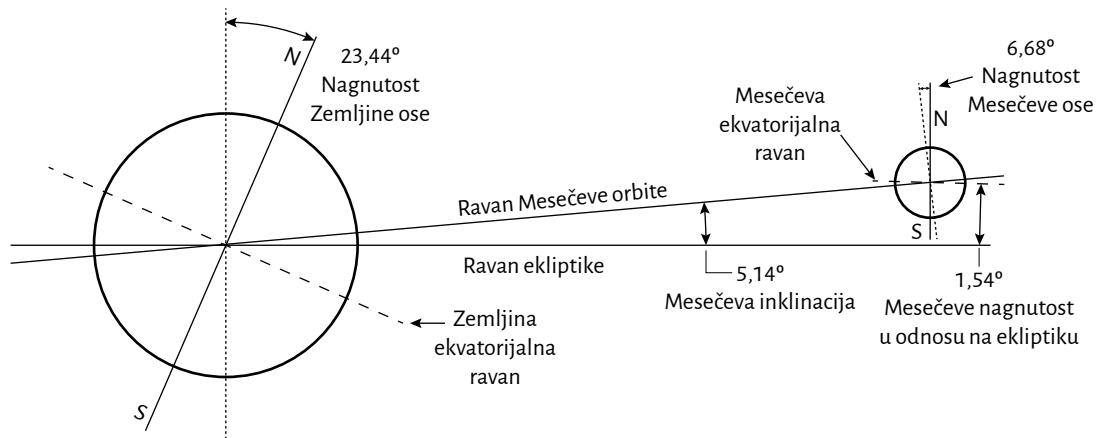
Orijentacija Mesečeve orbite nije stalna već se pomera tokom vremena. Apsidna Mesečeva precesija predstavlja rotaciju Mesečeve orbite. Glavna osa lunarne orbite spaja perigej i apogej se rotira, ona napravi jednu revoluciju na svakih 8,85 zemaljskih godina ili 3.232.605,4 dana dok se polako rotira u smeru revolucije samog Meseca. Mesečeva apsidna precesija je dodatno kretanje Meseca uz nodalnu precesiju orbitalne ravni i aksijalnu precesiju. Mesečeva orbita zaklapa ugao u odnosu na ekliptiku Zemlje  $5,145^\circ$  - Mesečeva inklinacija. Osa rotacije nije pod pravim uglom u odnosu na ravan Mesečeve orbite već odstupa od pravog ugla za  $6,687^\circ$ .

Žak Kasini (Jacques Cassini) je 1772. godine otkrio da osa rotacije Meseca precesira istom brzinom kao i njegova orbitalna ravan, ali je

$180^\circ$  van faze. Zbog toga je ugao između ekliptike i Mesečevog ekvatora uvek  $1,543^\circ$  iako osa rotacije Meseca nije fiksirana u odnosu na zvezde. Posledica toga je da kada je Mesec najsevernije od ekliptike, centar dela koji se vidi sa Zemlje je oko  $6,7^\circ$  južno od lunarnog ekvatora i Južni pol je vidljiv, dok kada je Mesec najjužnije od ekliptike centar vidljivog dela je  $6,7^\circ$  severno od ekvatora i Severni pol je vidljiv. Ova pojava se zove libracija Meseca u geografskoj širini. Pored ove, postoje i druge libracije Meseca.

Kako je Mesečeva rotacija sa revolucijom sinhronizovana, ova kretanja Mesec vrši istovremeno. Sa druge strane, Mesečeva rotacija je stalne brzine za razliku od Mesečeve revolucije koja ima promenljivu brzinu, pri kretanju prema perigeju brzina mu se povećava, dok se pri kretanju prema apogeju smanjuje. Na kraju puta krug revolucije se poklapa sa vremenom kruga rotacije, ali ipak postoje male razlike pri kretanju. U jednom delu svoje revolucione putanje, u blizini perigeja, Mesec ne stiže da izrotira stranu okrenutu ka Zemlji već malo kasni za svojom rovolucijom pa otkriva deo svoje druge strane ka Zemlji.

Na drugom delu revolucione staze on ima nešto bržu rotaciju u odnosu na usporenou revoluciju u blizini apogeja pa opet okriva deo svoje druge, nevidljive strane ka Zemlji. Ova pojava se može objasniti i četvrtinama, za četvrtinu svoje rotacije Mesec će preći više ili manje od četvrtine svog puta oko Zemlje u zavisnosti od dela orbite. Pošto se pri ovim varijacijama vide delovi Meseca po njegovoj geografskoj dužini, a koji bi trebalo da su nevidljivi, ova pojava se naziva dužinska libracija i ona nam omogućava da vidimo do skoro  $8^\circ$  po geografskoj dužini Meseca više od sfernog ograničenja. Paralak-



Prilog 106. Sistem Zemlja - Mesec

tična libracija Meseca je uslovljena rastojanjem Mesec - Zemlja i njihovim odnosom u sistemu kretanja. Zemlja je veća od Meseca i kada posmatramo Mesec sa Zemlje videćemo njegove delove iz različitih uglova, to jest, Mesec možemo posmatrati "sa strane".

Upravo, zato što posmatramo sa većeg nebeskog tela manje, možemo videti uvek više od 50% njegove sferne površine. Najveće moguće povećanje vidljive površine Meseca usled paralaktične libracije je 1%. Ako se posmatra Mesec i sagledaju sve Mesečeve libracije, zajedno pružaju uvid na Mesečevu površinu do 59%. Uku-pno, libracione zone Meseca pokrivaju 18% Mesečeve površine, a nama vidljiva strana ima 9% libracionalih zona.

Zemlja i Mesec se kreću u sistemu, a ravni njihovih putanja se nalaze pod uglom od  $5,145^\circ$ .

Tačke u kojima se sekutu ravni Mesečeve i Zemljine putanje se nazivaju čvorovi. Čvor koji Mesec prolazi kada sa južne strane ekliptike prelazi na severnu, naziva se uzlazni čvor, a suprotni njemu je silazni čvor. Linija koja spaja čvorove se naziva čvorna linija. Linija čvorova je i presek između dve ravni, ravni ekliptike i ravni Mesečeve orbite. Ona nije statična već ima retrogradno kretanje, za posmatrača na Zemlji, rotira na zapad duž ekliptike sa periodom od 18,6 godina ili  $19,3549^\circ$  godišnje. Kada se posmatraju sa nebeskog pola, čvorovi se kreću u smeru kazaljke na satu oko Zemlje, suprotno od rotacije Zemlje i njene revolucije oko Sunca. Mesec pri kretanju po svojoj orbiti prolazi isti čvor na svakih 27,2122 dana to jest, 27 dana, 5 sati, 5 minuta i 35,8 sekundi, taj period se naziva drakonski mesec.

## MESEČEVE MENE

Mesec je tamno nebesko telo sferne površine. Kako nema vlastitu svetlost sa Zemlje vidimo onaj deo Meseca koji je obasjan Sunčevom svetlosti. Pošto ima sfernu površinu, na Mesecu je u svakom trenutku obasjana polovina njegove površine ali sa Zemlje se često vidi samo delić tog obasjanog dela. Od međuodnosa i međusobnog položaja nebeskih tela u sistemu Sunce - Zemlja - Mesec, zavisi da li će i koliko biti vidljiva obasjana površina Meseca sa Zemlje. Ovo prividno menjanje oblika Meseca, to jest, promena površine osvetljenog dela Meseca vidljivog sa Zemlje, nazivamo mesečevim menama. Tokom jednog sinodičnog meseca koji traje 29,530 dana, Mesec će biti jednom u konjukciji, jednom u opoziciji i dva puta u kvadraturi.

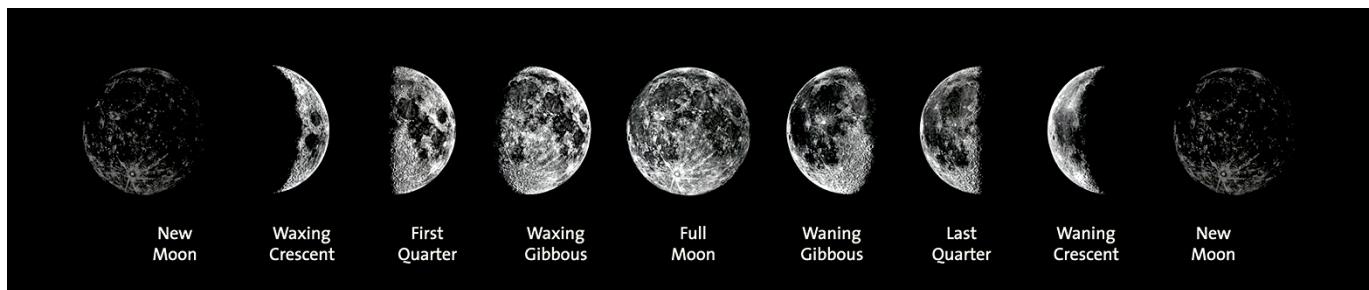
Kada se Mesec nalazi između Zemlje i Sunca, on je u konjukciji i tada je Zemlji okrenut neosvetljen deo njegove površine. Tada se Mesec ne vidi jer se njegovo kretanje poklapa sa kretanjem Sunca, a osvetljavanje je na suprotnoj strani u odnosu na položaj Zemlje. Ova faza se zove mlad mesec.

Mlad mesec izlazi na horizontu kada i Sunce i njegovo kretanje se poklapa sa Suncem pa ga je teško pratiti. Tek sledećih dana će se Mesec blago pomeriti prema istoku i biće vidljiv tanki osvetljeni deo Mesečeve sfere, srp

mladine. Svakim sledećim danom, srp vidljivog dela je sve širi. Ispupčena strana srpa je okrenuta ka Suncu dok je ulegnuta strana srpa razdvojena od tamnog dela linijom koja se kao i na Zemlji naziva terminator - granica osvetljenja. Krajnje tačke osvetljenog Mesečevog srpa su rogovi, a zamišljena prava linija koja ih spaja je linija rogova. U fazi mladog meseca, rogovi su okrenuti ka istoku.

U prvim danima posle mladog meseca vidljiv je već pominjani tanki, obasjni srp. Osim srpa nazire se i neosvetljeni deo Meseca, ostatak njegove površine gde je Mesečeva noć. Na tom delu Meseca je vidljiva sivkasta, pepeljasta svetlost koja potiče od naše planete, od Zemlje. Tokom mladog meseca, Zemlja je obasjana Sunčevom svetlošću, a kako se Mesec u ovoj fazi nalazi između Sunca i Zemlje, svetlost se odbija od Zemlje i stiže do Mesečeve površine. Ova svetlost sa Zemlje koja stiže do Meseca je 80 puta jača od najjače mesečine na Zemlji. Pepeljasto osvetljenje Meseca se može videti samo tokom mladog meseca jer se u sledećim fazama Mesec pomera ka neosvetljenom delu Zemlje.

Kada od mladog meseca prođe 7 dana, 9 sati i 11 minuta, Mesec se pomerio na svojoj orbiti za  $90^\circ$  u odnosu na poziciju mladog meseca



#### Prilog 107.

Mesečeve mene;  
sizigije, kvadrature  
i oktanti

Izvor:  
[griffithobservatory.org](http://griffithobservatory.org)

i nalazi se u poziciji kvadrature. Počinje Mesečeva mena koju nazivamo prva četvrt. Mesec je podeljen, zapadna - desna polovina mu je obasjana, a istočna - leva polovina je u tamni. U ovoj fazi se linija rogova poklapa sa terminatorom. Mesec u ovoj fazi izlazi u podne, kulminira u večernjim satima, a zalazi u ponoć.

Kada u odnosu na mlad mesec prođe 14 dana 18 sati i 22 minuta, Mesec se nalazi na suprotnoj strani, u opoziciji i tada se Mesec nalazi na suprotnoj strani Zemlje u odnosu na Sunce. Ova mena se naziva pun mesec, tada je Mesečeva osvetljena strana cela okrenuta ka Zemlji i tada vidimo da ceo Mesec "sija", da je ceo osvetljen. Pun mesec izlazi u 18 sati, kulminacija mu je u ponoć, a zalazi u 6 sati. Pun mesec se vidi tokom cele noći jer se tada Mesec nalazi suprotno od Sunca, na tamnom delu Zemljine kugle.

Posle malo više od 7 dana od punog meseca, odnosno 22 dana, 3 sata i 33 minute od mладог meseca, Mesec je došao u položaj na svojoj orbiti kada ponovo sa Suncem i Zemljom gradi ugao od  $90^\circ$ , opet je u položaju kvadrature i tada počinje mena koja se zove poslednja četvrt. Mesec je opet prividno polovično osvetljen ali je sada vidljiva leva - istočna strana Meseca dok je desna - zapadna strana pod tamom. Ponovo se linija rogova poklapa sa terminatorom. Tokom ove mene, Mesec izlazi u ponoć, kulminira u 6 sati i zalazi u podne.

Nakon poslednje četvrti, tama pokriva sve veći deo Mesečeve površine, osvetljeni deo ponovo dobija oblik svetlog srpa koji je iz dana u dan sve tanji. Sada je osvetljeni deo okrenut ka Suncu, ka istoku dok su rogovi okrenuti ka zapadu. Vreme izlaska Meseca se sve više pomera ka zori i ka vremenu izlaska Sunca i ponovo se Mesec bliži početnoj fazi, meni mладог meseca.

Mesečeve mene koje nastaju u konjukciji i opoziciji se nazivaju sizigije, a mene koje na-

staju kada su Sunce, Zemlja i Mesec pod uglom od  $90^\circ$  se nazivaju kvadrature. Između svaka od ova četiri glavna položaja se nalaze međupoložaji koji se nazivaju oktanti. U prvom i četvrtom oktantu se Mesečev osvetljeni deo prikazuje Zemlji kao srp, dok se u drugom i trećem oktantu Mesečev osvetljeni deo prikazuje kao prelaz od osvetljenog polukruga do potpuno osvetljenog kruga.

U odnosu na smenu mene, Mesec je najblizi Suncu kada je u konjukciji, a najdaljeniji od Sunca kada je u opoziciji. Prividno sa Zemlje, Mesečeva osvetljena površina raste od mладог meseca do mene punog meseca, porast osvetljenosti traje 14 dana, 18 sati i 22 minute. Suprotno, opadanje osvetljene površine se odvija od punog meseca do kraja poslednjeg oktanta i takođe traje 14 dana, 18 sati i 22 minute. Uкупno vreme svih smena Mesečevih mene je 29 dana, 12 sati i 44 minute, taj period nazivamo sinodičan mesec. Tokom jednog sinodičnog meseca, na horizontu će se menjati tačka kao i vreme izlaska i zalaska Meseca. Promenjiva će biti i dužina luka Mesečevog puta kao i njegova visina to jest, kulminacija iznad horizonta.

Mlad mesec izlazi na istoku u zoru. U prvom oktantu se mesto izlaska pomera ka jugu, luk se skraćuje i kulminacija je niža dok se vreme izlaska pomera ka podnevnu. Od prve četvrti se ponovo tačka izlaska pomera na sever, ka poziciji istoka, luk se produžava, a kulminacija je viša. Pun mesec će ponovo izlaziti na istoku i zalaziti na zapadu, luk je najduži, a kulminacija najviša. Vreme izlaska je 18 časova, a zalaska 6 časova. Sa sledećom Mesečevom menom ponovo počinje isti ciklus, ponovo se tačke izlaska i zalaska spuštaju južnije, luk se skraćuje, a kulminacija smanjuje. Od poslednje četvrti se ponavlja vraćanje na početne pozicije izlaska na istoku i zalaska na zapadu kao i maksimalne vrednosti luka i kulminacije Meseca, a vreme izlaska se vraća na zoru.

## POMRAČENJA

Sunce obasjava sva tela u našem planetarnom sistemu, a kao posledica toga je da sva tela prave senku koja se nalazi u nekom delu međuplanetarnog prostora. Zbog pravca Sunčevih zraka, senke koje nastaju imaju dva dela, potpunu senku - umbru i polusenknu - penumbru. U sistemu Sunce, Zemlja, Mesec, prisustvo senki Zemlje i Meseca izazivaju karakteristične pojave kao što su: pomračenje Meseca je izazvano pojavom senke Zemlje koja pređe preko Meseca i pomračenje Sunca koje se javlja kada Mesec zakloni Sunce i njegova senka pređe preko Zemlje.

### Pomračenje Meseca

Pomračenje Meseca nastaje kada je Zemlja između Sunca i Meseca, Mesec je u opoziciji u fazi punog meseca, a sva tri tela treba da se nađu u istoj liniji, tada se stvore uslovi da Zemljina senka prekrije Mesec. Ekliptika i ravan Mesečeve putanje su pod uglom, ali da se kojim slučajem nalaze u istoj ravni tokom jednog sinodičnog meseca, imali bismo po jedno pomračenje Sunca kada je Mesec u konjukciji i pomračenje Meseca kada je Mesec u opozici-

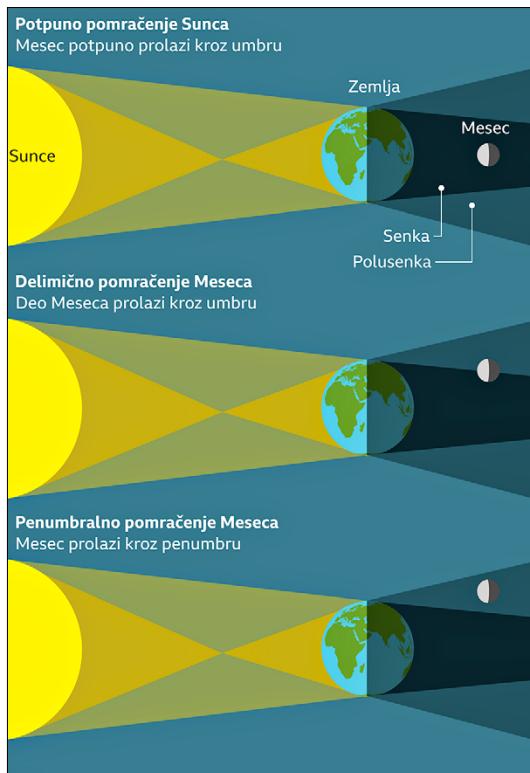
ji i to u svakom ciklusu. Međutim, kako se ove dve ravni nalaze pod uglom, Mesec se relativno retko nalazi u sizigijama u liniji sa Zemljom i Suncem. Pomračenja se javljaju samo kada je Mesec u ili blizu silaznog ili uzlaznog čvora.

Pomračenje Meseca je uslovljeno ulaskom Meseca u Zemljinu senku pa su karakteristike Zemljine senke od važnosti za ovu pojavu. Sunce kao izvor svetlosti je znatno veće od Zemlje pa će i glavni deo senke imati kupastu formu iza Zemlje. Kada je Zemlja na ekliptici u afelu ona je dalje od Sunca pa će njena senka biti duža, oko 1.408.000 kilometara. Na poziciji perihela Zemlja je bliže Suncu pa će njena senka biti kraća, oko 1.360.000 kilometara. U oba slučaja, kao i pri bilo kojoj drugoj dužini senke, rastojanje Zemlja - Mesec je znatno manje.

Za pojavu pomračenja Meseca važna karakteristika je širina Zemljine senke na udaljenosti Meseca od Zemlje. Na toj udaljenosti od Zemlje, njena potpuna senka je prosečno široka oko 9.000 kilometara, a u zavisnosti od položaja Zemlje prema Suncu širina joj varira od 8.500 do 9.500 kilometara.

Od širine senke Zemlje zavisi trajanje pomračenja. Mesec po svojoj orbiti pređe lučni isečak jednak njegovom prečniku (3.475 km) za jedan sat tako da totalno pomračenje može da traje do 1 sat 42 minuta i 30 sekundi, a delimično pomračenje do 2 sata i 2 minuta. Pomračenje će trajati duže što je Mesec bliže Zemlji, a usto vreme što je Zemlja dalje od Sunca to jest, Mesec u perigeumu, a Zemlja u afelu. Tada je prečnik Zemljine senke najveći. Ako se analizira odnos širine Zemljine potpune senke i prečnika Meseca, jasno je da je senka za oko 2,7 puta šira od Meseca i zato Mesec može biti potpuno prekriven senkom.

Kada se to desi nastupa potpuno ili totalno pomračenje Meseca. Ako Mesec samo jednim svojim delom uđe u potpunu senku tada nastaje delimično ili parcijalno pomračenje Meseca. Ako se Mesec nađe u Zemljinoj polusenki neće nastati pomračenje Meseca jer zona polusenke nije dovoljno zamračena da bi pokrila i svetlu površinu punog meseca. Zbog velikog prečnika Zemljine senke u odnosu na prečnik Meseca, prstenasto pomračenje Meseca je nemoguće.



Prilog 108.  
Pomračenja  
Meseca  
Izvor: [bbc.com](http://bbc.com)

- ➊ **Prilog 109.** Prolazak Meseca kroz Zemljinu senku utiče na promenu boje kako vidimo Mesec
- Izvor: [space.com](http://space.com)



- ➋ **Prilog 110.**  
Pomračenje  
Zemlje (Sunca),  
pomračenje  
Meseca
- Izvor: [britannica.com](http://britannica.com)

Mesec pri potpunom pomračenju nije savsim taman, on je i u pomračenju vidljiv ali sa mrko-sivom do bakarno-crvenom svojom površinom. Do potpunog pomračenja može doći čak i ako Mesec nije u čvoru već u njegovoj blizini, do oko 2.850 kilometara. Ovaj broj je razlika između poluprečnika Zemljine senke i poluprečnika Meseca. Mnogo su učestalija parcijalna pomračenja u odnosu na totalna. Ova pomračenja se dešavaju kada je Mesec na udaljenosti od nekog čvora od 2.580 do 6.310 kilometara. Viša granična vrednost za pojavu delimičnog pomračenja je zbirna širina poluprečnika Zemljine senke i Mesečevog poluprečnika. Ovi podaci se odnose za srednje udaljenosti Meseca od Zemlje, sa promenom njihovog rastojanja, menjaju se i granične vrednosti u okviru kojih dolazi do pomračenja.

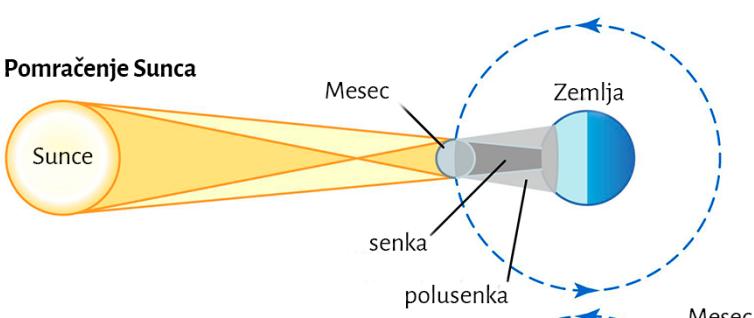
### Pomračenje Sunca

Pomračenje Sunca nastaje kada senka mladog meseca pokrije deo Zemlje, tada se Mesec nalazi u konjukciji. Ovu pojavu nazivamo pomračenje Sunca i nazivamo je pogrešno jer se događa upravo suprotno, dolazi do pomračenja Zemlje. Pa ipak, kako se Mesec postavi između Zemlje i Sunca on nama sa Zemlje zakloni Sunce pa pričamo o pomračenju Sunca.

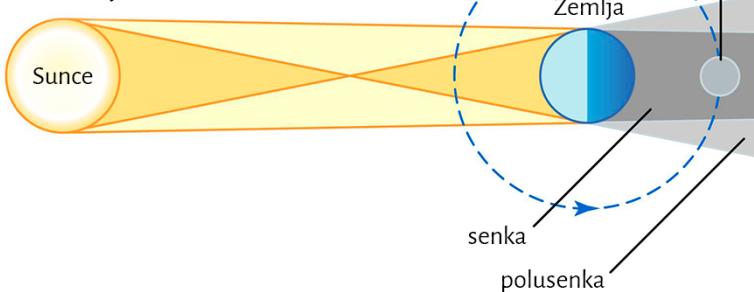
Za pojavu pomračenja Sunca je važna dužina senke Meseca, a njena dužina zavisi od udaljenosti Meseca od Zemlje kao i udaljenost Zemlje od Sunca. Senka Meseca je najkraća kada je Mesec u apogeju, a Zemlja u perihelu, dok je najduža kada je Mesec u perigeju, a Zemlja u afelu. U zavisnosti od ovih međusobnih položaja, senka Meseca je dužine od oko 367.000 do oko 380.000 kilometara. Kada je Mesečeva senka najkraća, Mesec je u apogeju na 405.400 kilometara od Zemlje tako da Mesečeva senka ne dopire do Zemlje. Kada je senka najduža, Mesec se nalazi u perigeju na 363.229 kilometara i blizu 17.000 kilometara je senka duža od rastojanja ekliptike od Meseca pa se i stvaraju uslovi za moguće pomračenje Sunca.

Totalno pomračenje Sunca nastaje kada je Mesec u čvoru i kada se nalazi u perigeju. Tada Mesec potpuno zakloni Sunce. Totalno pomračenje se nikada ne vidi na celoj Zemlji već je ono ograničeno na uski pojas geografske širine. Pri totalnom pomračenju Sunca senka sa Mese-

### Pomračenje Sunca



### Pomračenje Meseca



- ➌ **Prilog 111.** Pomračenje Zemlje (Sunca), senka Meseca sa polusenkama po ivicama
- Izvor: [earthsky.org](http://earthsky.org)

ca dospeva na Zemljinu površinu i ima formu tamne mrlje oko koje se nalazi zona polusenke.

Najveća širina pojasa po geografskoj širini, a u kome se vidi totalno pomračenje Sunca je 272 kilometara, toliko iznosi najveći prečnik senke Meseca. Kako se Zemlja rotira, tako će

se i Mesečeva senka kretati po Zemlji. Kako se Zemlja rotira od zapada ka istoku brzinom na ekvatoru od 465 m/s, a Mesec vrši svoju revoluciju oko Zemlje brzinom od 950 m/s, Mesečeva senka će se kretati brzinom koja je razlika ove dve, 485 m/s. U većim geografskim širinama je brzina rotacije Zemlje manja pa će i brzina kretanja senke pomračenja biti veća, u srednjim geografskim širinama od  $40^{\circ}$  do  $50^{\circ}$  senka će se kretati brzinama od 590 do 610 m/s. Kako je prečnik senke 272 kilometra, pomračenje će na ekvatoru biti vidljivo do devet minuta, a u širinama od  $40^{\circ}$  do  $50^{\circ}$  do sedam minuta.

Izvan oblasti totalnog pomračenja nalazi se oblast polusenke i tu je vidljivo delimično pomračenje. Delimičnim ili parcijalnim pomračenjem nazivamo slučaj kada Mesec pokrije samo jedan deo Sunčeve površine. Tada se iz zone polusenke sa Zemlje vidi da je Sunce



#### Prilog 112.

Delimično,  
prstenasto  
i potpuno  
pomračenje Sunca  
Izvor: [jpl.nasa.gov](http://jpl.nasa.gov)

jednim delom prekriveno. Prečnik polusenke iznosi 6.700 kilometara pa se u toliko širokom pojasu vidi delimično pomračenje. Maksimalno trajanje delimičnog pomračenja na Zemlji je četiri sata. Delimično pomračenje Sunca ne mora biti u vezi sa potpunim pomračenjem.

Ako se Sunce i Mesec nađu u ravni nešto dalje od čvora, Mesec prilikom svoje revolucije može da delimično pokrije Sunce u nekoliko slučajeva. Ako se susret Meseca i Sunca odvija u blizini uzlaznog čvora, onda može biti prekrivena donja ivica Sunca ako je susret ispred uzlaznog čvora ili gornja ivica Sunca ako je susret iza uzlaznog čvora. Ako se susret Meseca i Sunca odvija u blizini silaznog čvora onda može biti prekrivena gornja ivica Sunca ako je susret ispred silaznog čvora ili donja ivica Sunca ako je susret iza silaznog čvora. Ovaj tip delimičnog pomračenja Sunca je vidljiv na nekim delovima Zemlje i uz njega se ne pojavi potpuno pomračenje Sunca.

Kako Zemlja i Mesec imaju elipse u osnovi svojih orbita, mogući su različiti međusobni položaji u smislu međusobne udaljenosti u okviru sistema Sunce - Zemlja - Mesec. Ovo je od velikog značaja za pojavu pomračenja različitih karakteristika. U slučaju da je Mesec u apogeju, on je na većoj udaljenosti od Zemlje, ako se tada ispune uslovi za pojavu pomračenja, njegova senka neće stići do Zamljine površine, a sa Zemlje će se videti specifično prsteno-pomračenje.

Pri prstenastom pomračenju Mesec pokriva centralni deo Sunca dok se sa ostatak površine u obliku prstena emituje svetlost ka Zemlji. Sunce sa Zemlje izgleda kao tanki svetli prsten koji obavija tamni krug. Za posmatrače koji nisu u središtu pomračenja vidljivo je delimično pomračenje. Kao i potpuno, prstenasto pomračenje se javlja sa delimičnim pomračenjem koje je vidljivo na znatno široj površini. Prsten pomračenja je najširi kada je Zemlja u afelu jer je tada prečnik Mesečeve senke najmanji. Dalje od afela prečnik senke Meseca se povećava, a svetli prsten pri prstenastom pomračenju sužava.

Sva pomračenja počinju i odvijaju se na isti način, prvo se zamračuje zapadni deo Sunčevog kruga, potom centralne i na kraju istočne. To je uzrokovano revolucijom Meseca to jest, kretanjem Meseca od zapada ka istoku. Pomračenja se ponavljaju u pravilnom ciklusu. Mesec se nađe u istoj fazi i u istom čvoru na svaka 223 siodična meseca odnosno, na 6.585,3211 dana to jest, na svakih 18 godina i 11, 12 ili 13 dana u zavisnosti od prestupnih godina i osam sati. Na kraju ovog perioda počinje ponovo isti ciklus pomračenja u kome se sva pomračenja ponavljaju istim redosledom, istom vrstom i sa istim karakteristikama. Ovaj period se naziva saros.

U ponovljenim ciklusima ipak će postojati razlika među pomračenjima, pomračenja neće biti vidljiva u istim oblastima nego će biti pomereni zona pomračenja na zapad za svaki saros. Saros nije ceo broj dana, već ciklus sadrži deo od osam sati. Tako će se svako uzaustopno pomračenje u sarosu dešavati oko osam sati kasnije u toku dana. U slučaju pomračenja Sunca, to znači da će se oblast vidljivosti pomjeriti ka zapadu za oko  $120^{\circ}$ , ili oko jedne trećine puta oko globusa, stoga dva pomračenja neće biti vidljiva sa istog mesta na Zemlji.

## LITERATURA

- Alexander, M. E. 1973. The weak friction approximation and tidal evolution in close binary systems. *Astrophysics and Space Science*, 23 (2): 459-508.
- Canup, R., Asphaug, E. 2001. Origin of the Moon in a giant impact near the end of Earth's formation. *Nature*. 412 (6848): 708-712.
- Clery, D. 2013. Impact theory gets whacked. *Science*. 342 (6155): 183-185.
- Papike, J., Ryder, G., Shearer, C. 1998. Lunar Samples. *Reviews in mineralogy and geochemistry*. 36: 5.1-5.234.
- Porter, J. G. 1952. Questions and Answers: What does the period "tropical month" represent? *Journal of the British Astronomical Association*, 62, 180.
- Horányi, M., Szalay, J., R., Kempf, S., Schmidt, J., Grün, E., Srama, R., Sternovsky, Z. 2015. A permanent, asymmetric dust cloud around the Moon. *Nature*. 522 (7556): 324-326.
- Lucey, P., Korotev, R., L., Gillis, J., J., Taylor, L., A., Lawrence, D., Campbell, B., A., Elphic, R., Feldman, B., Hood, L., L., Hunten, D., Mendillo, M., Noble, S., Papike, J., J., Reedy, R., C., Lawson, S., Prettyman, T., Gasnault, O., Maurice, S. 2006. Understanding the lunar surface and space-Moon interactions. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 60 (1): 83-219.
- Shearer, C., K., Hess, Paul., C., Wieczorek, Mark., A., Pritchard, M., E., Parmentier, E., M., Borg, L., E., Longhi, J., Elkins-Tanton, L., T., Neal, C., R., Antonenko, I., Canup, R., M., Halliday, A., N., Grove, T., L., Hager, B., H., Lee, D.-C., Wiechert, U. 2006. Thermal and magmatic evolution of the Moon. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 60 (1): 365-518.
- Sridharan, R., Ahmed, S., M., Tirtha Pratim Dasa, Sreelathaa., P., Pradeepkumara, P., Neha Naika, Gogulapati Supriya, 2010. Direct' evidence for water ( $H_2O$ ) in the sunlit lunar ambience from CHACE on MIP of Chandrayaan I. *Planetary and Space Science*. 58 (6): 947-950.
- Lang, K. 2012. *Astrophysical Data: Planets and Stars*. Springer. p. 57.
- Taylor, G. J. 1998. *Origin of the Earth and Moon*. *Planetary Science Research Discoveries*. Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology.
- Thiemens, M., M., Sprung, P., Fonseca, R., O., C., Leitzke, F., P., Münker, C. 2019. Early Moon formation inferred from hafnium-tungsten systematics. *Nature Geoscience*, 12 (9): 696-700.
- van Putten, Maurice H. P. M. 2017. Scaling in global tidal dissipation of the Earth-Moon system. *New Astronomy*, 54: 115-121.
- Wieczorek, M., A., Jolliff, B., L., Khan, A., Pritchard, M., E., Weiss, B., P., Williams, J., G., Hood, L., L., Righter, K., Neal, C., R., Shearer, C., K., McCallum, I., S., Tompkins, S., Hawke, B. R., Peterson, C., Gillis, J., J., Bussey, B. 2006. The constitution and structure of the lunar interior. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 60 (1): 221-364.
- Wisdom, J., Tian, Z. L. 2015. Early evolution of the Earth-Moon system with a fast-spinning Earth. *Icarus*. 256: 138-146.
- [www.bbc.com](http://www.bbc.com)
- [www.earthsky.org](http://www.earthsky.org)
- [www.griffithobservatory.org](http://www.griffithobservatory.org)
- [www.isro.gov.in](http://www.isro.gov.in)
- [www.space.com](http://www.space.com)
- [www.nasa.com](http://www.nasa.com)

# RAČUNANJE VREMENA

Vreme je kontinuirani niz postojanja i događaja koji se dešavaju u naizgled nepovratnom nizu sa svršenim događajima u prošlosti, događajima u odvijanju u sadašnjosti i događajima koji će se desiti u budućnosti (Oxford Press). Vreme se naziva i četvrtom dimenzijom i neophodno je za precizno definisanje zajedno sa tri prostorne dimenzije.

Opšta teorija relativnosti je primarni okvir za razumevanje kako prostor-vreme funkcioniše (Rendall, 2008). Kroz napredak u teorijskim i eksperimentalnim istraživanjima prostor-vreme, pokazalo se da vreme može biti izobličeno i prošireno, posebno na ivicama crnih rupa. Tokom istorije kao i danas, vreme je bilo važan predmet interesovanja nauke, re-

ligije i filozofije. Merenje vremena je milenijumima interesovalo čoveka, a bilo je najvažnija komponenta u navigaciji i astronomiji. Vreme je takođe od velikog društvenog značaja jer ima ekonomsku kao i kulturno-istorijsku vrednost, a zbog svesti o ograničenosti vremena u životnom ciklusu čoveka i nemerljivu ličnu vrednost.

## OSNOVNE JEDINICE VREMENA

Prostor i vreme se ne mogu razdvojiti i zajedno čine celinu. Kako se prostor meri određivanjem udaljenosti između dve definisane prostorne tačke, slično se i vreme meri određivanjem vremenskog razmaka između dva događaja u materiji. Kako je svako merenje toka vremena vezano i za samu brzinu svetlosti, onda je svako merenje vremena ujedno i merenje prostora.

Vreme je jedna od sedam osnovnih fizičkih veličina u Međunarodnom sistemu jedinica (SI) i Međunarodnom sistemu veličina. SI osnovna jedinica vremena je sekunda, koja se definije merenjem elektronske prelazne frekvencije atoma cezijuma.

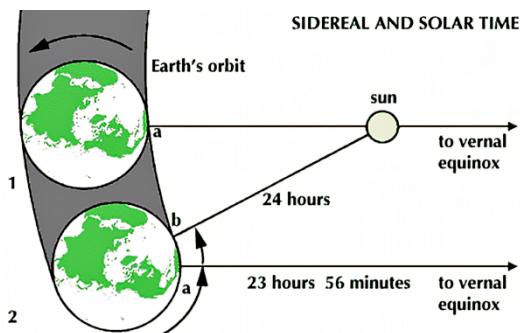
Kako Zemlja vrši revoluciju, ovo njeno kretanje je relativno konstantno iako je poznato da postoje varijacije kao i dugoperiodične promene rotacije. Upravo, vreme koje se određuje prema prividnom kretanju zvezda zove se zvezdano, siderično vreme. Za polaznu poziciju se uzima prolećna tačka, upravo vreme koje prođe od jedne kulminacije prolećne tačke do sledeće, naziva se zvezdani ili siderični dan. Početak dana je gornja kulminacija prolećne tačke, a zvezdano vreme odgovara časovnom ugлу prolećne tačke.

Vreme koje se meri na osnovu prividnog kretanja Sunca, zove se solarno ili Sunčev vreme. Sunčev dan je vreme između dva uzaštopna prolaza Sunca kroz meridijan nekog mesta. Sunčev dan je duži od zvezdanog dana. Za jedan dan se cela nebeska sfera sa prolećnom tačkom i Suncem okreće jedanput oko nebeske osovine a kada se jedna zvezda vrati na početnu poziciju, to je zvezdani dan. Ali, za to vreme Zemlja se pomerila na ekliptici i nalazi se u drugoj tački. Zbog toga, Sunce neće kulminirati u isto vreme već će kulminacija Sunca kasniti za zvezdanom kulminacijom. Da bi Sunce kulminiralo to jest, ponovo prešlo meridijan mesta, potrebno je da Zemlja napravi još jedan mali ugao pri svojoj rotaciji da bi anulirala svoje dnevno pomeranje po ekliptici. Taj ugao odgovara Zemljinom dnevnom uglovnom pomeranju na ekliptici i iznosi  $59' 08''$ , a ovom uglu odgovara vreme od 3 minuta i 56,5 sekundi za koliko je i solarni dan duži od zvezdanog dana.

Tokom godine, ova razlika raste do jednog dana pa bi Sunčeva godina trebala imati 366 dana. Kako se Zemlja kreće po ekliptici koja je u osnovi elipsa, Zemlja se ne kreće tokom godine uvek istom brzinom oko Sunca, a za posle-

dicu, Sunčevi dani tokom godine nemaju uvek istu dužinu. Zemlja se u perihelu kreće brže pa se tada i povećava uglovno pomeranje na ekliptici, a Sunčev dan se produžava. U afelu je obrnuto, Zemlja se kreće sporije, uglovno pomeranje je manje, a Sunčev dan se skraćuje.

Kako vidimo, Sunčev dan je nejednake dužine tokom godine, a u odnosu na zvezdani dan je manje pouzdan i tačan. Ali, kako je čoveku život na Zemlji vezan za Sunce, a ne za udaljene zvezde, Sunčev prividno kretanje je uzeto za jedinicu vremena koju nazivamo dan. Kako postoji nejednakost Sunčevih dana tokom godine, moralo se pristupiti rešavanju tog vremenskog problema pa je predložen srednji Sunčev dan kao osnovna vremenska jedinica zasnovana na prividnom dnevnom kretanju Sunca.



**Prilog 113.** Sunčev i zvezdani dan  
Izvor: britannica.com

Srednji Sunčev dan je zasnovan na ujednačenom prividnom kretanju Sunca oko Zemlje to jest, ujednačenoj revoluciji Zemlje oko Sunca tokom godine. Vreme između dve kulminacije kod srednjeg Sunčevog dana je 24 sata. Svaki sat se deli na 60 minuta, a minut na 60 sekundi. Ukupna dužina srednjeg Sunčevog dana je 86.400 sekundi. Praktično, srednji Sunčev dan je teoretska vrednost.

Danas u praktičnom smislu, dan na Zemlji počinje u ponoć, od donje kulminacije srednjeg

Sunca. Tada počinje računanje građanskog vremena koje je jednak Sunčevom vremenu, to jest, njegovoj kulminaciji, ali umanjeno za 12 sati. Građanski dan počinje od 0 sati i završava se posle 24 sata. Građanski dan ima 24 sata koji su jednak satima u okviru srednjeg Sunčevog dana.

Veća vremenska jedinica je godina koja odgovara vremenu jedne revolucije Zemlje oko Sunca. Tropska godina je vreme između dva uzastopna prolaska Sunca kroz jednu od dve tačke u kojima se nebeski ekvator seče sa ekvinokcijskom putanjom to jest, tropska godina je vreme za koje se Sunce ponovo vrati u prolećnu tačku. Kako se prolećna tačka pomera godišnje za  $50,24''$  prema zapadu, a Zemlja se okreće pri rotaciji od zapada ka istoku, tako nešto ranije dospeva u prolećnu tačku pre nego završi uglovno kretanje od  $360^\circ$ . Za to vreme Zemlja pređe  $359^\circ 59' 9,76''$  pa trajanje tropske godine iznosi 365 dana, 5 sati, 48 minuta i 46,08 sekundi.

Siderična ili zvezdana godina je duža od tropske godine. Ona odgovara vremenu između dva identična položaja Zemlje na ekliptici prema nekoj zvezdi. Ona odgovara vremenu u kome Zemlja na ekliptici opisuje pun krug od  $360^\circ$  oko Sunca. Siderična godina je duža od tropske za 20 minuta i 25 sekundi, ukupno traje 365 dana, 6 sati, 9 minuta i 11 sekundi.

Osnova za građansku godinu je tropska godina. Građanska ili kalendarska godina ima 365 dana, a svaka četvrta godina se naziva prestupna i ima 366 dana. Godine delimo na mesece upravo zato što bi računanje vremena tokom godine u stotinama dana bilo nepraktično. Osnova za kalendarski mesec je sinodičan mesec. Sinodičan mesec je vreme od jednog do drugog mladog ili punog meseca i traje 29 dana, 12 sati, 44 minuta i 2,9 sekundi.

## MERENJE VREMENA

Merenje vremena je moguće na više načina. Metode vremenskog merenja mogu biti zasnovane na kalendaru, koji je matematičko sredstvo za organizovanje vremenskih intervala i na mehaničkim uređajima kod kojih se fizički meri protok vremena. Najpoznatiji i danas

najčešći uređaj za mereje vremena je sat, uz pomoć sata se mehanički meri vreme u intervalima koji su obično kraći od jednog dana. Za duže vremenske intervale se koriste kalendarji. Predmeti i uređaji za merenje vremena imaju dugu istoriju, proučavanjem ovih uređaja bavi



① **Prilog 114.** Sunčani sat, Sombor  
Foto: L.Lazić

se horologija. Sunčani satovi su jedni od najstarijih uređaja koji mere protok vremena. Zasnovani su na gnomonu koji tokom obdanice baca svoju senku na skup kalibriranih oznaka koje se nalaze u osnovi gnomona. Položaj senke daje tačnu informaciju o lokalnom vremenu.

Osim sunčanog sata u antičkom dobu bilo je i znatno preciznijih instrumenata za merenje vremena. Vodeni sat ili klepsidra je jedan od najpreciznijih mernih instrumenata antičkog sveta, a uz stalno održavanje mogao je da meri vreme i tokom noći. Jedan od najbolje očuvanih primeraka je pronađen u piramidi egipatskog faraona Amenhotepa I.

Sličan princip rada ima peščani sat koji koristi protok peska za merenje vremena, a od koliko velikog značaja su bili govori i činjenica da ih je Ferdinand Magelan koristio prilikom svog čuvenog putovanja 1522. godine. Za to putovanje svaki Magelanov brod je bio opremljen sa po 18 peščanih satova (Bergeren, 2003).

U hramovima, crkvama i drugim verskim objektima vekovima su se koristili mirišljavi štapići i sveće za merenje vremena.

Još su u XI veku kineski pronalazači konstruisali prve mehaničke satove sa nemirnicom, ali je veliki napredak kod mehaničkih satova napravljen u XVII kada su poboljšanja na njima osmislili Galileo Galilej i Kristijan Hajgens. Kristijan Hajgens je kasnije doveo do prave revolucije u tačnom merenju vremena svojom konstrukcijom sata sa klatnom.

Satovi mogu biti različitih tipova i mogu biti pokretani različitom energijom, od mehaničke opruge, gravitacije, električnom energijom, a njihova regulacija se vrši klatnom, nemirnicom ili drugim sredstvom.

Hronometar je sat koji ispunjava posebno definisane uslove u okviru preciznosti rada i merenja vremena. Hronometar, kao termin, se koristio kao naziv za pomorski hronometar, sat koji je služio za određivanje geografske dužine pomoću nebeske navigacije.

Ovaj nivo preciznosti sata je prvi postigao Džon Harison. Danas se ovaj termin primenjuje na sat koji ispunjava standarde preciznosti koje je postavila švajcarska agencija COSC.

Danas, najtačniji su atomski satovi, njihova tačnost je u okviru sekunde na nekoliko miliona godina. Atomski satovi koriste frekvenciju elektronskih prelaza u određenim atomima za merenje sekunde. Jedan od najčešće korišćenih atoma je cezijum tako da većina modernih atomskih satova ispituje cezijum mikrotalasima da bi odredila frekvenciju ovih elektronskih vibracija. Od 1967. godine, Međunarodni sistem mernih jedinica (SI) svoju jedinicu vremena, sekundu, bazira na svojstvima atoma cezijuma. SI definiše sekundu kao  $9.192.631.770$  ciklusa zračenja koje odgovara prelazu između dva nivoa elektrona spina osnovnog stanja atoma  $^{133}\text{Cs}$ . Danas se globalni sistem pozicioniranja (GPS) u koordinaciji sa mrežnim protokolom vremena (NTP) može koristiti za sinhronizaciju sistema za merenje vremena širom sveta.

## KALENDARI

Za duže vremenske intervale potreban je sistem organizovanja dana, nedelja, meseci i godina. Ovaj sistem se naziva kalendar. Periodi u kalendaru kao što su mesec ili godina

mogu biti sinhronizovani sa prirodnim ciklusima kretanja, obično Sunca ili Meseca, ali ovo nije obavezno. Reč kalendar potiče od latinske reči *kalendae* koja označava prvi dan u mesecu

kod rimskog kalendara, a u vezi je sa galagom *calare* (pozvati, prizivati) koji se odnosi na prvu pojavu mladog meseca. Većina kalendara se bazira kretanjima Meseca i Sunca, kalendari zasnovani na kretanju Sunca se nazivaju solarni kalendari, a kalendari bazirani na kretanju Meseca su lunarni kalendari. Posebna grupa su solarni kalendari koji imaju za osnovu tropsku godinu i sinodični mesec, oni se nazivaju lunosolarni kalendari.

Kretanje Meseca, kao i ciklus smena njegovih mена, je osnova za *lunarne (mesečeve) kalendare*. Svi lunarni kalendari koriste sinodičan mesec koji traje 29,53059 zemaljskih dana. Lunarna godina ima 12 meseci i traje 354 dana, 8 sati, 48 minuta i 34 sekundi. Kalendar ima 12 meseci, po 6 meseci sa 30 i 29 dana. Zbog toga, lunarni kalendari imaju 354 dana u lunarnoj godini, a lunarna razlika od 0,3672 dana se nadoknađuje dodavanjem jednog dana svakoj trećoj godini pa ona ima 355 dana.

Većina kalendara koji se nazivaju "lunarni" kalendari su u stvari lunosolarni kalendari. Njihovi meseci su zasnovani na posmatranju lunarnog ciklusa, pri čemu se interkalacija koristi da bi se doveli u opštu saglasnost sa solarnom godinom. Solarni građanski kalendar koji je korišćen u starom Egiptu ima poreklo u ranijem lunarnom kalendaru, koji je nastavio da se koristi u verske i poljoprivredne svrhe. Današnji lunosolarni kalendari uključuju kineski, vijetnamski, hinduistički, hebrejski i tajlandski kalendar.

Najstariji *solarni kalendari* su staroegipatski građanski i sumerski kalendar. Oni su bili osnova za kasnije solarne kalendare.

**Tabela 32.** Stari rimski kalendar

|                    | Mesec     | Latinski naziv          | Broj dana |
|--------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| 1                  | Mart      | <i>Mensis Martius</i>   | 31        |
| 2                  | April     | <i>Mensis Aprilis</i>   | 30        |
| 3                  | Maj       | <i>Mensis Maius</i>     | 31        |
| 4                  | Jun       | <i>Mensis Iunius</i>    | 30        |
| 5                  | Jul       | <i>Mensis Quintilis</i> | 31        |
| 6                  | Avgust    | <i>Mensis Sextilis</i>  | 30        |
| 7                  | Septembar | <i>Mensis September</i> | 30        |
| 8                  | Oktobar   | <i>Mensis October</i>   | 31        |
| 9                  | Novembar  | <i>Mensis November</i>  | 30        |
| 10                 | Decembar  | <i>Mensis December</i>  | 30        |
| Broj dana u godini |           |                         | 304       |

### Rimski kalendar

Rimski kalendar je korišćen tokom Rimskog carstva i u Rimskoj republici. Stari rimski kalendar je imao godinu organizovanu u 10 meseči, od čega su 4 meseca bila sa 31 dan, njih su nazivali "punim" mesecima i 6 meseci sa 30 dana koje su nazivali "šupljim" mesecima. Meseci mart, maj, kvintilis i oktobar su imali po 31 dan dok su april, jun, sekstilis, septembar, novembar i decembar imali po 30 dana. Ukupno, godina je imala 304 dana što odgovara periodu od 38 nundinskih ciklusa - privredno-trgovački ciklusi u Starom Rimu. Mesec se završavao ali i počinjao sa mladim mesecom tako da se isti dan računao i kao kraj ali i kao početak meseca.

Meseci su bili u skladu sa Mesečevim menama. Ovakav kalendarski sistem je ostavio određeni broj dana kao neodređenu celinu, koja se odnosila na zimski period. Smatra se da je tako zbog privredne neaktivnosti u tom periodu kao i zbog toga što je taj period irelevantan za cikluse poljoprivredne proizvodnje. Prepostavlja se da se kalendar pomerao i da su nedostajući dani jednostavno ubacivani u cikluse brojanja dana sve dok se čitav sistem ne bi vratio na početne pozicije. Redovno su ubacivali u kalendar prestupne dane, nedelju ili mesece, metod interkalacije, kako bi se meseci ponovo poklopili sa godišnjim dobima. Svaki mesec je imao manje cikluse, nedelje od osam dana.

Ovakva nedelja od osam dana je tradicija Rimskog carstva i označava privredno-trgovački radni ciklus, takozvana nundska nedelja. Poreklo starog rimskog kalendara je maglovito, tradicionalno su Rimljani svoj kalendar vezivali za Romula, osnivača Rima, što je malo verovatno. Najverovatnije da ovaj kalendar ima korene u etrurskoj tradiciji gde se pominje ciklus nundina ali kao periodi carske audijencije.

### Kalendar Rimske republike

Kalendar Rimske republike je bio znatno izmenjen. Ovaj kalendar je imao 12 meseci, 10 tradicionalnih meseci uključujući dva zimska meseca. Takođe, sledio je lunarni ciklus od  $29 + \frac{1}{2}$  dana i solarni ciklus od  $12 + \frac{1}{2}$  sinodičkih meseci pa je godina imala  $368 + \frac{3}{4}$  dana koji su se usklađivali svake četvrte godine posle dva dodavanja jednog prestupnog meseca koji su nazivali markedonius.

**Tabela 33.** Kalendar Rimske republike

|                    | Mesec                      | Latinski naziv                       | 1. god. | 2. god. | 3. god. | 4. god. |
|--------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| 1                  | Mart                       | <i>Mensis Martius</i>                | 31      | 31      | 31      | 31      |
| 2                  | April                      | <i>Mensis Aprilis</i>                | 29      | 29      | 29      | 29      |
| 3                  | Maj                        | <i>Mensis Maius</i>                  | 31      | 31      | 31      | 31      |
| 4                  | Jun                        | <i>Mensis Iunius</i>                 | 29      | 29      | 29      | 29      |
| 5                  | Jul                        | <i>Mensis Quintilis</i>              | 31      | 31      | 31      | 31      |
| 6                  | Avgust                     | <i>Mensis Sextilis</i>               | 29      | 29      | 29      | 29      |
| 7                  | Septembar                  | <i>Mensis September</i>              | 29      | 29      | 29      | 29      |
| 8                  | Oktobar                    | <i>Mensis October</i>                | 31      | 31      | 31      | 31      |
| 9                  | Novembar                   | <i>Mensis November</i>               | 29      | 29      | 29      | 29      |
| 10                 | Decembar                   | <i>Mensis December</i>               | 29      | 29      | 29      | 29      |
| 11                 | Januar                     | <i>Mensis Ianuarius</i>              | 29      | 29      | 29      | 29      |
| 12                 | Februar Interkalarni mesec | <i>Mensis Februarius Mercedonius</i> | 28      | 23/27   | 28      | 23/28   |
| Broj dana u godini |                            |                                      | 355     | 377     | 355     | 378     |

Prema rimskom istoričaru Liviju, drugi kralj Rima, Pompilije Numa je prvi podelio godinu na 12 lunarnih meseci. Da bi se to postiglo dodato je novih 50 dana u kalendar i uz oduzimanje po jednog dana od tradicionalnih 10 meseci, napravljena su dva nova, zimska meseca u rimskom kalendaru, januar (Ianuarius) i februar (Februarius). Oba ova meseca su u početku imala po 28 dana. Sada je godina odgovara la lunarnim ciklusima pa bi se mogla nazvati i lunarnom godinom sa 354 dana.

Kako su parni brojevi u Rimu smatrani nesrećnim, godini je dodat još jedan dan, pa je 355 dana trajala jedna godina u kalenadru Rimske republike. Sada je skoro svaki mesec imao neparan broj dana, što je bilo verski i društveno prihvatljivo. Izuzetak je bio mesec februar koji je ostao sa 28 dana, pa je smatran nesrećnim mesecom kojim se i završavala rimska godina (Grout, 2023).

Ovakav kalendar je imao nedoslednosti pre svega zbog nejednakosti izmenjene lunarnе godine od 355 dana u odnosu na tropsku godinu od  $365 + \frac{1}{4}$  dana što bi na svake četiri godine dovodilo kalendar Rimske republike do manjka od 41 dana ( $10 + \frac{1}{4} \times 4$ ). Napravljen je ciklus od četiri godine gde se u drugoj i četvrtoj godini dodaje interkalarni mesec iza februara, u drugoj godini dodato je 22 dana, a u četvrtoj 23 dana u godini. U isto vreme se u drugoj i četvrtoj godini skraćuje februar za pet dana usled viška od četiri dana plus jedan

dan po svakoj godini što čini ukupni višak od osam dana.

### Julijanski kalendar

Kalendar Rimske republike je više puta menjан i poboljšavan. Prava reforma kalendarja je bila 304. godine pre nove ere u vreme Flavija ali se one vezuju za upotrebu i objavu kalendarata. Ove izmene su imale za cilj da se kalendar izmesti iz verskog uticaja i dobije veći političko-društveni značaj.

Značajna je bila reforma kalendarata u vreme Julija Cezara. Posle građanskog rata, 46. godine pre nove ere, Julije Cezar naređuje ponovo računanje kalendarata. Posle ovih izmena julijanski kalendar je izgubio interkalarni mesec, a godina je dobila dodatnih deset dana. Da bi se smanjila razlika u odnosu na tropsku godinu redovno je dodavan jedan dan svakoj četvrtoj godini. Nakon ubistva Julija Cezara, Marko Antonije je izmenio naziv meseca Quintilis sa Julom da bi mu odao počast. Ovakav kalendar je dugo ostao nepromenjen tokom vladavine Rima. Veća izmena se desila pod Konstantinom 321. godine, kada je uveo sedmicu od sedam dana, a nedelju je proglašio praznikom.

### Gregorijanski kalendar

Gregorijanski kalendar predstavlja poslednju reformu julijanskog kalendarata. Ustanovljen je

je papskom bulom od 24. februara 1582. godine od strane pape Grgura XIII po kome je kalendar i poneo ime. Motiv za reformu julijanskog kalendara bila je greška u dužini godine koja u julijanskom kalendaru traje 365,2500 dana dok tropska godina traje 365,2422 dana.

Julijanska godina je duža od tropske godine za 0,0078 dana, odnosno za 11 minuta i 14 sekundi. Za 128,2 godine razlika se povećava na skoro čitav dan to jest, na 0,9984 dana. Na ovaj način su kalendarski dani išli unapred u odnosu na prirodne pojave kao i kretanje Zemlje pa se u julijanskom kalendaru one javljaju ranije. Prolećna ravnodnevica se pomera za jedan dan unapred na svakih 128,2 godine, a za 3.600 godina greška bi porasla na čitav mesec.

Da bi se ispravila greška u kalendaru, na Nikejskom saboru 325. godine je precizirano da svi hrišćani treba da slave Vaskrs istog, pravog dana. Tada je prolećna ravnodnevica vraćena na 21. mart. Ovaj potez je samo privremeno doveo julijanski kalendar sa prirodnim tokom vremena, dok je uzrok greške ostao pa se razlika ponovo stvarala.

Skoro 1.200 godina kasnije, sredinom XVI veka ravnodnevica je opet bila kalendarski pomerenja za deset dana pa je u kalendaru ona odgovarala 11. marta. Posle više od mileniju ma (1.257 godina) od Nikejskog sabora, Papa Grgur XIII je rešen da vrati proslavu Uskrsa u doba godine kada je slavljen od nastanka crkve.

Gregorijanski kalendar, kao i julijanski, je solarni kalendar sa 12 meseci od po 28 do 31 dan. Godina u oba kalendara ima 365 dana, pri čemu se februaru u prestupnim godinama dodaje prestupni dan. Meseci i dužina meseca u gregorijanskom kalendaru su isti kao i u julijanskom kalendaru. Jedina razlika je u tome što je gregorijanska reforma izostavila prestupni dan u tri vekovne godine svakih 400 godina

i ostavila prestupni dan nepromjenjenim. Prestupna godina se obično dešava svake četiri godine. Prestupni dan je istorijski dodavan tako što bi se 24. februar dva puta pisao. Međutim, dugi niz godina bio je običaj da se dodatni dan stavi na kraj meseca februara, dodajući 29. februar za prestupni dan što je kasnije i opšte prihvaćeno.

Gregorijanske godine su označene uzastopnim brojevima prema kalendarskoj eri, gde godina može biti pre nove ere ili godina nove ere. Svaka godina ima 12 meseci, a svaki mesec određeni broj dana. Gregorijanski datum se određuje danom u mesecu, mesecom i godinom. Kalendarski ciklusi se potpuno ponavljaju svakih 400 godina, što je jednako 146.097 dana. Od ovih 400 godina, 303 su redovne godine od 365 dana, a 97 su prestupne godine od 366 dana. Srednja gregorijanska kalendarska godina ima  $365 \frac{97}{400}$  (365,2425) dana ili 365 dana, 5 sati, 49 minuta i 12 sekundi. Tokom intervala koji ne sadrže nijednu vekovnu početnu godinu (npr. 1800, 1900. ili 2100), gregorijanski kalendar se ponavlja svakih 28 godina, tokom kojih će 29. februar padati na svaki od sedam dana u nedelji samo jednom. Svi ostali datumi u godini padaju na svaki dan tačno četiri puta, svaki dan u nedelji ima praznine od 6 godina, 5 godina, 6 godina i 11 godina, tim redosledom.

Gregorijanski kalendar se koristi i danas. Već 1582. godine su ga prihvatile Španija, Portugal, Francuska, Italija, Poljska; 1584. godine Švajcarska; Prusija 1610. godine; 1752. godine Velika Britanija, Irska; 1753. godine Švedska i Finska; 1873. godine Japan... Kraljevstvo Srbija, Hrvata i Slovenaca prihvata gregorijanski kao zvaničan kalendar 1919. godine, a poslednja država koja je zvanično prihvatile gregorijanski kalendar je Saudijska Arabija, 2016. godine.

## LITERATURA

- Bergreen, L. 2003. Over the Edge of the World: Magellan's Terrifying Circumnavigation of the Globe. HarperCollins Publishers.
- Carroll, S. M. 2009. From Eternity to Here: The Quest for the Ultimate Theory of Time. Physics Today, Dutton, 63 (4): 54-55.
- Compact Oxford English Dictionary A limited stretch or space of continued existence, as the interval between two successive events or acts, or the period through which an action, condition, or state continues, 1971.

- Davis, P. 1996. Newton did for time what the Greek geometers did for space, idealized it into an exactly measurable dimension. *About Time: Einstein's Unfinished Revolution*, p. 31, Simon & Schuster.
- Dreyer, J. L. E. 2014. Tycho Brahe. Cambridge: Cambridge University Press. p. 52
- Grout, J. 2023. The Roman calendar, *Enciclopedia Romana*. University of Chicago, Chicago.
- Rendall, A. D. 2008. Partial Differential Equations in General Relativity (illustrated ed.). OUP Oxford. p. 9.
- Richards, E. G. 1998. *Mapping Time: The Calendar and its History*. Oxford University Press. pp. 3-5.