

UNIVERZITET U BEOGRADU
MATEMATIČKI FAKULTET



Daliborka Pupovac

ELEKTRONSKE LEKCIJE O PLANETI ZEMLJI I SUNČEVOM SISTEMU

master rad

Beograd, 2023.

Mentor:

prof. dr Miroslav Marić

Članovi komisije:

prof. dr Anđelka Kovačević

prof. dr Dragana Ilić

prof. dr Srđan Vukmirović

Datum odbrane: _____

Sadržaj

Uvod	1
Elektronske lekcije	3
Kratka istorija razvoja astronomije	6
3.1 Drevna astronomija (period do propasti Rimskog carstva)	6
3.2 Srednjevekovna astronomija (period od V do XV veka)	7
3.3 Astronomija renesanse (period od Kopernikove revolucije do sredine XVII veka).....	7
3.4 Moderna astronomija (period od Njutnove teorije gravitacije do kraja XIX veka)	8
3.5 Astronomija XX i XXI veka (period od Ajnštajnovе teorije relativiteta pa sve do danas)	9
Planeta Zemlja	11
4.1 Oblik i dimenzija.....	11
4.2 Karakteristike	15
4.3 Rotacija i posledice	21
4.4 Revolucija i posledice	25
Nebeska sfera	31
5.1 Osnovni elementi nebeske sfere	31
5.2 Polarni koordinatni sistem	34
5.3 Geografski koordinatni sistem	37
5.4 Horizontski koordinatni sistem.....	38
Sazvežđa	40
6.1 Zvezde.....	40
6.2 Pojam i podela sazvežđa	43
6.2.1 Cirkumpolarna sazvežđa.....	44
6.2.2 Anticirkumpolarna sazvežđa.....	48
6.2.3 Prolećna sazvežđa.....	48

6.2.4 Letnja sazvežđa	51
5.2.5 Jesenja sazvežđa	55
5.2.6 Zimska sazvežđa	58
6.3 Veštačka sazvežđa.....	66
Sunce i Sunčev sistem.....	69
7.1 Sunce.....	70
7.1.1 Osnovne karakteristike	70
7.1.2 Unutrašnjost Sunca	73
7.1.3 Atmosfera Sunca.....	75
7.1.4 Sunčeva aktivnost.....	77
7.1.5 Pomračenje Sunca.....	82
7.2 Planete Sunčevog sistema	84
7.2.1 Merkur.....	88
7.2.2 Venera	89
7.2.3 Zemlja.....	91
7.2.4 Mars	92
7.2.5 Jupiter	93
7.2.6 Saturn.....	95
7.2.7 Uran	96
7.2.8 Neptun.....	97
7.3 Sateliti.....	98
7.3.1 Osnovne karakteristike Meseca.....	98
7.3.2 Kretanje Meseca	100
7.3.3 Libracija	102
7.3.4 Mesečeve mene	105
7.3.4 Pomračenje meseca.....	106
7.4 Planetoidi, komete i meteoroidi.....	108
7.4.1 Planetoidi	108
7.4.2 Komete	110

7.4.3 Meteoroidi	112
Zaključak	113
Literatura.....	0

Glava I

Uvod

Internet je postao temelj oslonac naše svakodnevnice. Savremeno društvo ne može se zamisliti bez interneta. U današnjem digitalnom dobu došlo je do transformacije načina na koji pristupamo učenju. Tradicionalne učionice i udžbenici više nisu jedini izvor informacija, internet je postao virtuelna biblioteka.

U cilju unapređivanje nastave i učenja matematike, računarstva i informatike i astronomije, u okviru Radne grupe za obrazovni softver kreiraju se nastavni materijali, elektronski kursevi i softverski paketi koji su dostupni na sajtu <https://www.edusoft.matf.bg.ac.rs/>.

Uzimajući u obzir važnost nastavnih materijala iz astronomije, fokus ovog istraživanja usmeren je na kreiranje prvih elektronskih lekcija iz oblasti metodike nastave astronomije na sajtu Radne grupe za obrazovni softver.

Postavljeni materijal predstavlja skup tematskih jedinica koje pokrivaju veliki opseg od osnovnih do naprednih, zbog čega nije bilo mogućnosti da se lekcije detaljno razrade. Motivacija i cilj master rada jeste da pruži osnovu i da posluži kao veoma širok opseg za naredne radove koji će dalje razvijati konkretne lekcije tako da sadrže obavezne elemente i važne detalje, koji ovom prilikom nisu prikazani.

Uvodni deo rada sadrži kratak istorijski osvrt na razvoj astronomije od samih početaka. Glavni deo rada se sastoji iz dva dela. U prvom delu, odnosno u četvrtoj, petoj i šestoj glavi opisana je planeta Zemlja, njeno kretanje i posledice tih kretanja, nebeska sfera, koordinatni sistemi, zvezde i karakteristična sazvežđa za naše prostore. Drugi deo rada, odnosno sedma glava, je posvećena Sunčevom sistemu. Karakteristike Sunca, planeta, satelita i malih tela Sunčevog sistema.

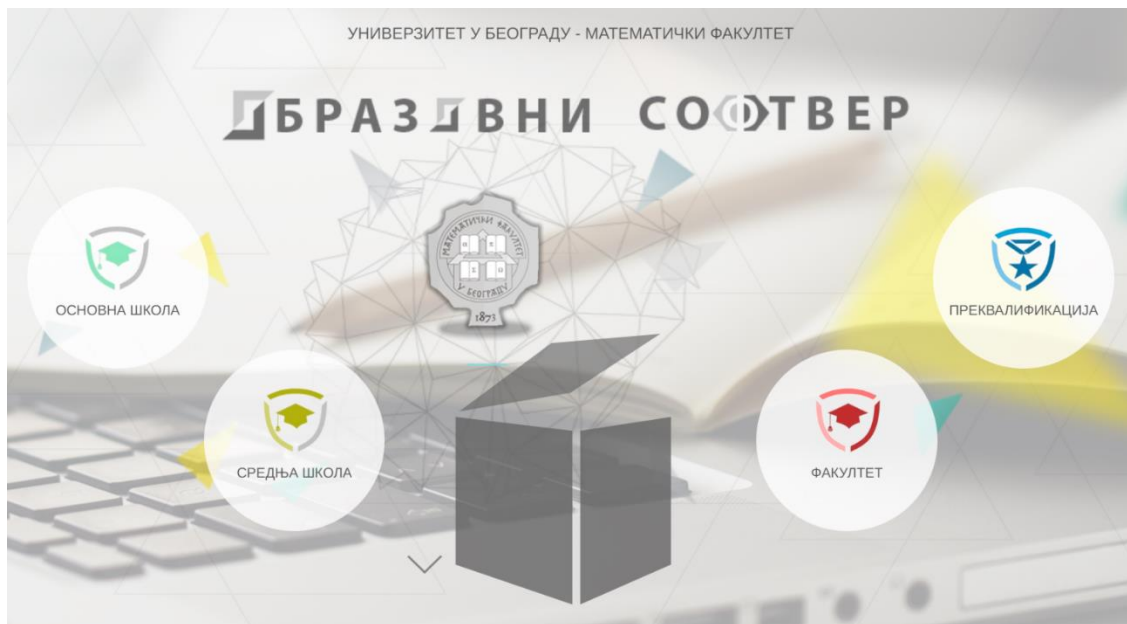
GLAVA 1. UVOD

Kao dodatna ilustracija, koristi se animacija planeta, sazvežđa i simulacija pomračenja Sunca i Meseca, geografskog i horizontskog koordinatnog sistema. Pomenute ilustracije su prikazane primenom programskog paketa GeoGebra.

Glava II

Elektronske lekcije

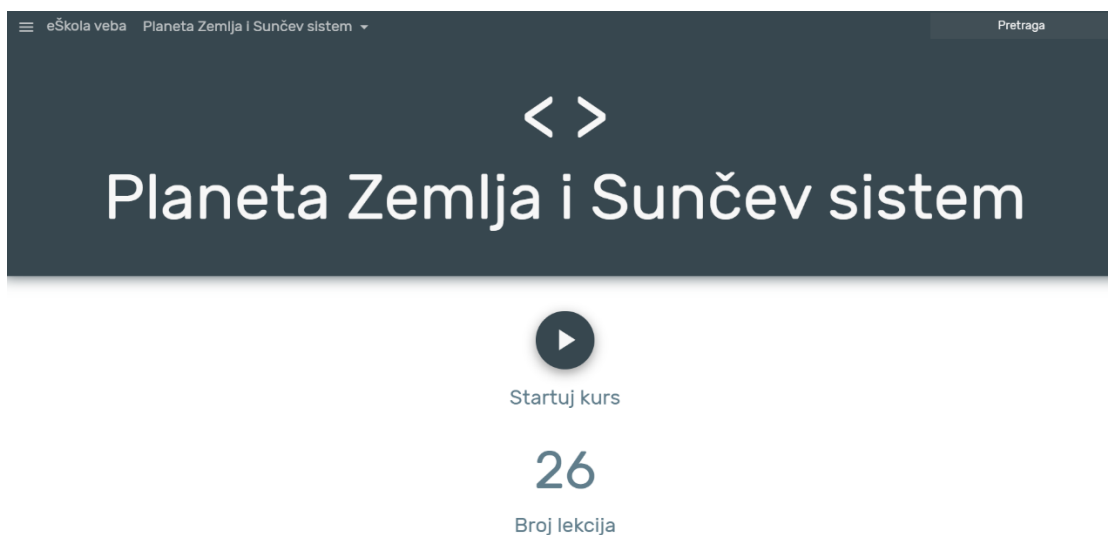
Nastavni materijali, elektronski kursevi i softverski paketi koje Radna grupa za obrazovni softver kreira su besplatni i javno dostupni svim zainteresovanim korisnicima. Lekcije kreirane unutar elektronskih kurseva mogu pružiti pomoć i podršku u nastavi i učenju, kako u osnovnim i srednjim školama, tako i na fakultetima, kao i pri prekvalifikaciji. Početna strana obrazovnog softvera prikazana je na slici 2.1.



Slika 2.1. Obrazovni softver

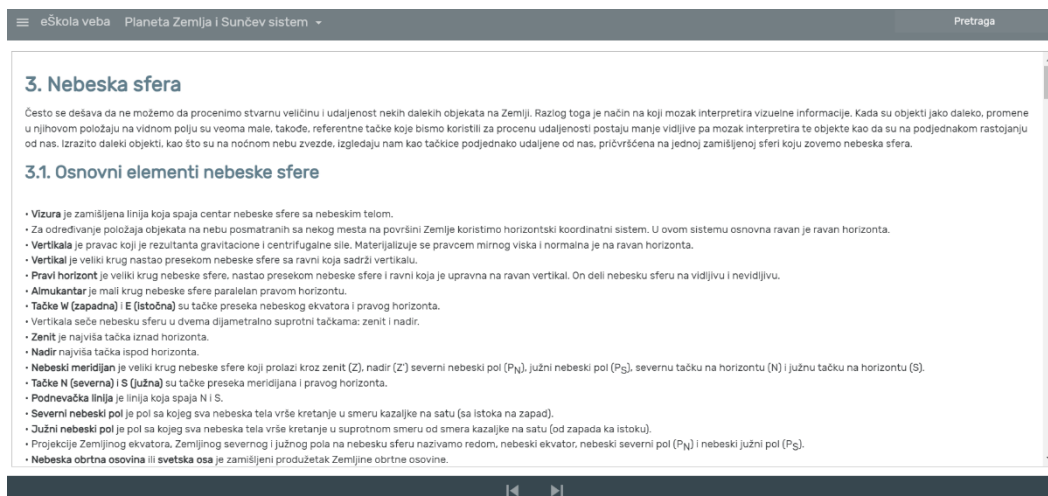
GLAVA 2. ELEKTRONSKE LEKCIJE

U okviru elektronskih kurseva Radne grupe za obrazovni softver nalaze se prve lekcije iz oblasti astronomije dostupne na platformi eŠkola veba, na linku https://edusoft.matf.bg.ac.rs/eskola_veba/#/course-details/ss. Uvodna strana elektronskih lekcija prikazana je na slici 2.2.



Slika 2.2. Elektronske lekcije o planeti Zemlji i Sunčevom sistemu

Izgled jedne od dostupnih lekcija prikazan je na slici 2.3.



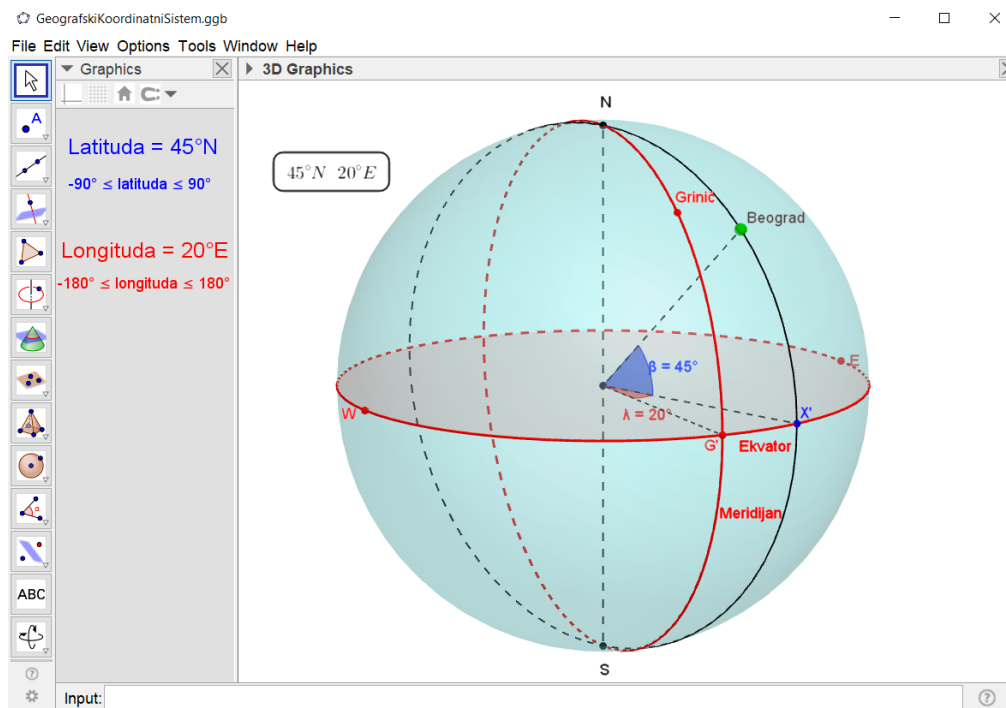
Slika 2.3. Elektronske lekcije o planeti Zemlji i Sunčevom sistemu

GLAVA 2. ELEKTRONSKE LEKCIJE

Elektronske lekcije o planeti Zemlji i Sunčevom sistemu grupisane su u sledećih pet celina.

1. Kratka istorija razvoja astronomije (Drevna astronomija, Srednjovekovna astronomija, Astronomija renesanse, Moderna astronomija i Astronomija XX veka).
2. Planeta Zemlja (Oblik i dimenzije, Karakteristike, Rotacija i posledice, Revolucija i posledice).
3. Nebeska sfera (Osnovni elementi nebeske sfere, Polarni koordinatni sistem, Geografski koordinatni sistem, Horizontski koordinatni sistem).
4. Sazvežđa (Zvezde, Pojam i podela sazvežđa, Veštačka sazvežđa).
5. Sunce i Sunčev sistem (Sunce, Planete Sunčevog sistema, Sateliti, Planetoidi, komete i meteoroidi).

Izgled jednog od apleta urađen primenom programskog paketa GeoGebra prikazan je na slici 2.4.



Slika 2.4. Geografski koordinatni sistem

Glava III

Kratka istorija razvoja astronomije

3.1 Drevna astronomija (period do propasti Rimskog carstva)

Prva zabeležena astronomska posmatranja potiču iz Egipta, 4000 godine p. n. e. a oko hiljadu godina kasnije nastaju i prvi pisani radovi iz astronomije. U to vreme Egipćani su povezali pojedine pojava na nebu sa dešavanjima na Zemlji, na primer, приметili su da se reka Nil izlivala nakon pojave zvezde Sirijus. U Kini, oko 2000 godine p. n. e. proučavana su kretanje Sunca i Meseca i na osnovu toga predviđalo se njihovo pomračenje. Tih godina nacrtana su i prva sazvežđa. Nomadska plemena počinju orijentaciju prema položaju Sunca i Meseca dok zemljoradnici uviđaju da se smenom godišnjih doba smenjuju i zvezde na nebu. Prvi dokaz pomračenja Sunca zabeležen u XIII veku p. n. e. na glinenoj ploči otkrivenoj u današnjoj Siriji. Antički grčki matematičari u VI veku p. n. e. Pitagora i Tales iz Mileta (Mala Azija) napominju da je Zemlja lopta. Talesov učenik, Anaksagora u V veku p. n. e. opisuje Mesec i Zemlju kao tamno nebesko telo obasjano Suncem i veruje da pomračenja Sunca i Meseca nastaju ulaskom Zemlje i Meseca u senku onog drugog. [\[1\]](#) Heraklit je verovao da smena dana i noći nastaje jer se Zemlja obrće oko svoje ose. Dva veka kasnije, Aristotel dokazuje da su sva nebeska tela loptastog oblika. To je vreme geocentrizma, odnosno, smatralo se da je Zemlja u centru a da Sunce i ostale planete kruže oko nje. U Aristotelovom delu „De caelo” („O nebu”) on to i opisuje. Među prvim pristalicama heliocentričnog sistema bio je Aristarh u III veku p. n. e. To je sistem u kojem je Sunce u centru a Zemlja i planete kruže oko njega. Ubrzo nakon iznošenja ove ideje, Aristarh je bio proteran.

U istom veku Eratosten iz Kirene (danas Shahhat u Libiji) određuje dimenzije Zemlje. On je izmerio obim Zemlje koristeći astronomske razlike u geografskoj širini susednih gradova Syene (danas Asuan) i Aleksandrije. Hiparh sa Rodosa, u II veku p. n. e. daje katalog 850 sjajnih zvezda i vrši podelu zvezda po sjaju. Klaudije Ptolomej daje katalog 1025 zvezda koje po stepenu sjaja rangira u šest prividnih veličina. Ptolomej je ostao poznat i po svom „Velikom zborniku” od 13 knjiga u kojima se opisuje astronomija antičke Grčke. Po savetima egipatskog astronoma Sosigena, 45 godine p. n. e. u Rimsko carstvo uveden je Julijanski kalendar. Kineski astronomi, 185. godine n. e. posmatraju eksploziju supernove. Nekoliko vekova kasnije nastaje mračni period po pitanju razvoju astronomije, kao i svih prirodnih nauka. Prva poznata žena koja se bavila astronomijom, matematikom i filozofijom bila je Hipatija, živela je u IV veku n. e. u Aleksandriji.

3.2 Srednjevekovna astronomija (period od V do XV veka)

Kineski astronomi, 635. godine, otkrivaju da je rep kometa uvek okrenut od Sunca. [2] U VII veku Aleksandrija i celo nasleđstvo grčke prelazi u ruke Arapa. Oni su poštovali nauku, a naročito su se posvetili astronomiji. Od IX veka počinje procvat arapske i persijske astronomije. Kineski i Arapski astronomi posmatraju veliki meteorski pljusak, 900. godine. Izgledalo im je kao da dolaze iz sazvežđa Lava, pa otuda i naziv Leonide. Abd al-Rahman al-Sufi, iranski astronom bavio se prevođenjem grčkih radova iz astronomije kao i sopstvenim proučavanjem. Opisao je prvu spiralnu galaksiju u sazvežđu Andromeda 964. godine i korigovao je Ptolomejov katalog zvezda. Prvi put posmatran prolaz komete bio je 1066. godina, kasnije poznate kao Halejeve komete. Izgradnja prve islamske opservatorije u Kairu počinje 1120. godine.

3.3 Astronomija renesanse (period od Kopernikove revolucije do sredine XVII veka)

Poljski fizičar, Nikola Kopernik idejom Aristarha o heliocentričnom modelu započinje revoluciju. On objavljuje delo „De Revolutionibus Orbium Coelestium”,

1543. godine, u kojem daje matematički dokaz tog modela. [3] Danski astronom, Tiho Brahe, jedan je od najvećih astronoma posmatrača. On 1572. godine otkriva supernovu u sazvežđu Kasiopeja a četiri godine kasnije osniva opservatoriju na ostrvu Hven, nazvanu Uranienborg – Nebeska tvrđava. Papa Grgur XIII uvodi Gregorijanski kalendar, 15.10.1582. godine. Holandski optičar, Hans Liperši, 1608. godine napravio je prvi teleskop. Teleskop je korišćen u vojne svrhe. Tokom 1609. i 1610. godine, Galileo Galilej, italijanski astronom, prvi okreće durbin ka nebu i tako izaziva revoluciju u astronomiji. Otkrio je planine na Mesecu i Venerine mene. Otkrićem četiri Jupiterova satelita, dokazao je da se sva nebeska tela ne okreću oko Zemlje. Pokazao je i da se Mlečni put sastoji od zvezda. Johan Kepler, nemački astronom i matematičar, 1609. godine objavljuje prva dva zakone o kretanju planeta a deset godina kasnije i treći zakon. Kristijan Hajgens, 1656. godine, teleskopom koji je sam konstruisao otkriva prirodu Saturnovog prstena kao i Saturnov satelit Titan.

3.4 Moderna astronomija (period od Njutnove teorije gravitacije do kraja XIX veka)

Isak Njutn, engleski fizičar, napravio je prvi teleskop, reflektor, koji je uveličavao 40 puta. On 1687. godine objavljuje revolucionarno delo „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica” i teoriju opšte gravitacije, što predstavlja prekretnicu u istoriji astronomije. Britanski astronom Edmond Halej 1705. godine predviđa da će ponovno pojavljivanje komete biti 1758. godine. Početkom XVIII veka Kant i Laplas daju prve hipoteze, Nebularna hipoteza ili Kant-Laplasova hipoteza o postanku Sunčevog sistema iz oblaka materije koji je lebdeo u svemiru. Fridrih Besel 1838. godine, pruža jedan od dokaza heliocentričnog modela tako što meri paralaktičko pomeranje zvezda (promenu položaja nebeskog tela na nebeskoj sferi izazvana promenom položaja posmatrača). Američki hemičar Draper 1840. godine, pravi prvu fotografiju Meseca. Početak spektralnog analiziranja zvezda 1859. godine je početkom razvoja astrofizike. U XIX veku određene su daljine nekih zvezda i periodičnost Sunčevih pega. Otkrivena je planeta Neptun, helijum na Suncu i izmerene su temperature zvezda.

3.5 Astronomija XX i XXI veka (period od Ajnštajnovе teorije relativiteta pa sve do danas)

U XX veku izdvajaju se teorija relativnosti i kvantna mehanika. Teorije koje su imale uticaj na razvoj kosmologije. Albert Ajnštajn, 1916. godine, nemački teorijski fizičar, objavljuje svoju Opštu teoriju relativnosti. Harlou Šepi, 1918. godine, američki astronom, prvi je dokazao da naše Sunce nije u centru vasionе. Šest godina kasnije Edvin Habl dokazao je da postoji veliki broj zvezdanih sistema i da je našа Galaksija samo jedna od mnogih. Njegovim otkrićem počinje vangalaktička astronomija. U prvoj polovini XX veka nastaje nova klasifikacija zvezdanih spektra. Utvrđeno je da su izvori energije zvezda termonuklearne reakcije u jezgrima same zvezde, da su zvezde sastavljene uglavnom od vodonika i da su u stanju plazme. Karl Gustav Janski, 1931. godine otkriva kosmičko radio zračenje, što predstavlja temelj radio astronomije. Prvi radio teleskop, konstruisan je 1937. godine. Za početak kosmičke ere, smatra se 1957. godina. Te godine, 4. oktobra, Rusija je poslala „Sputnjik P”, prvi satelit u Zemljinu orbitu. Godinu dana kasnije Amerika lansira „Eksplorer P”. Američki predsednik Ajzenhauer, 1958. godine, osniva agenciju NASA. Ruski kosmonaut, Jurij Aleksejevič Gagarin, 1961. godine, letelicom „Vostok P”, postaje prvi čovek koji je obleteo Zemlju. Sledeće godine Amerika šalje Džon Glena na put oko planete Zemlje. Novo veliko otkriće bilo je 1963. godine kada su otkriveni kvazari, najudaljenija nebeska tela. Fotografisana je do tada nevidljiva strana Meseca. Pulsari su otkriveni 1967. godine. Najveće dostignuće imala je misija „Apolo 11”. Nil Armstrong, 21. jula. 1969. godine, bio je prvi čoveka koji je zakoračio na Mesec. SSSR, godinu dana kasnije spušta na Veneru letelicu „Venera 7”. Uslove na Veneri ova letelica izdržala je svega 23 minuta. Američka sonda „Viking” spušta se na Mars 1976. godine. Godinu dana kasnije otkriveni su Uranovi prsteni. Narednih godina letelice su upućene ka Suncu i ka malim telima Sunčevog sistema. Kosmička era donela je veliki napredak u istraživanju Sunčevog sistema.

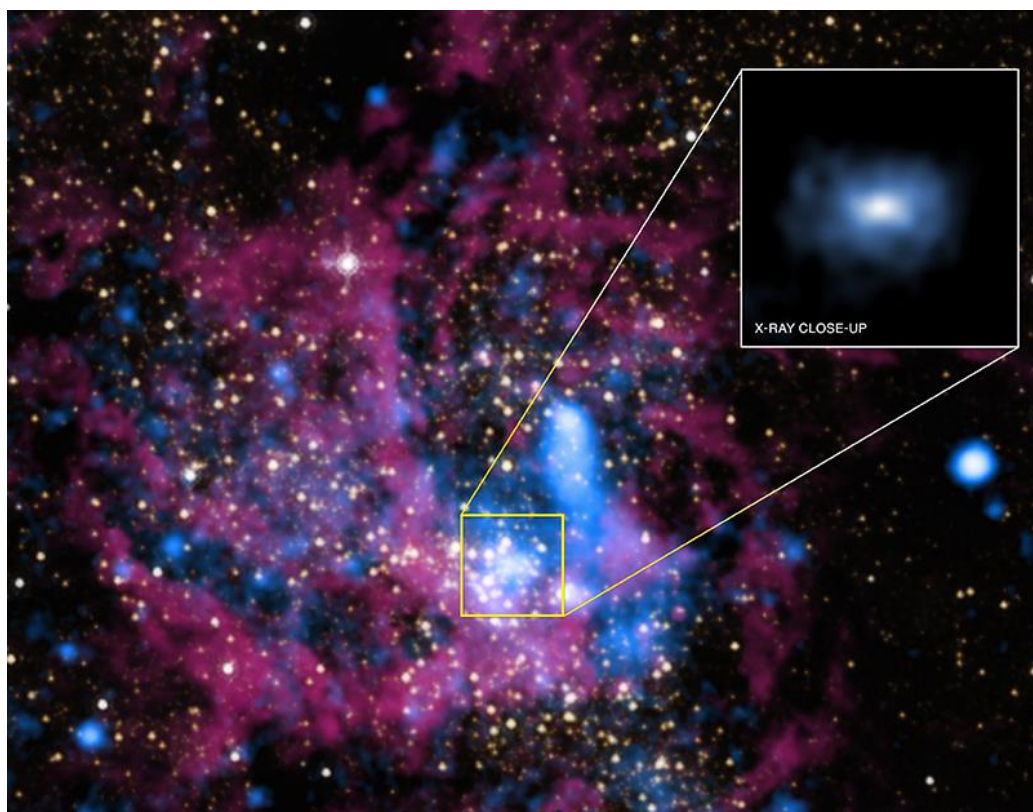
Jedan od izuzetnih proboja, krajem XX veka, je otkrivanje ekstrasolarnih planeta.¹ Prvu ovakvu planetu otkrili su 1995. godine švajcarski astronomi Mičel Mejor i Didier Kuelos. Planeta koju su detektovali kruži oko zvezde 51 Pegasi u

¹ Ekstrasolarne planete (egzoplanete) su planete koje se ne nalaze u našem Sunčevom sistemu. One kruže oko zvezde ali ta zvezda nije naše Sunce.

GLAVA 3. RAZVOJ ASTRONOMIJE

sazvežđu Pegaz oko 50 miliona svetlosnih godina od nas. Dobija naziv Dimidijum, po astronomima koji su je otkrili. Do sada otkriveno je preko 4000 ovakvih planeta i taj broj stalno raste. Egzoplanete prema veličini i masi delimo na: vruće jupitere, gasovite džinove, super-zemlje i pulsarske planete. Postoji podela i u odnosu na udaljenost od matične zvezde kao i podela prema fizičkim karakteristikama.

Veoma značajno otkriće bilo je 2022. godine kada su astronomi otkrili prvu sliku supermasivne crne rupe² u centru našeg Mlečnog puta. Crna rupa nosi naziv Sagitarisu A* (Sgr A*) nalazi se na 26 000 svetlosnih godina³ od nas i oko 4 miliona puta je masivnija od Sunca. Na slici 3.1 prikazana je fotografija crne rupe.



*Slika 3.1. Crna rupa Sagitarius A**

² Crna rupa je oblast prostora u kojem je gravitaciono dejstvo toliko jako da ni svetlost ne može da ga napusti. Crna rupa je kraj života veoma masivnih Zvezda.

³ Svetlosna godina je rastojanje koje svetlost pređe za jednu godinu. Svetlost se kreće brzinom od 300 000 km/s.

1 svetlosna godina = $9,46 \cdot 10^{12}$ km.

1 svetlosna godina = 64,241 AJ.

Glava IV

Planeta Zemlja

4.1 Oblik i dimenzija

Oblik i dimenzije Zemlje su bili predmet mnogih naučnih istraživanja tokom istorije. Stare civilizacije, poput Egipćana, Vavilonaca, Indusa i Grka, verovala su da je Zemlja ravna ploča koja je okružena vodama. Ta je ploča duguljasta i oko dva puta veće dužine nego širine. Pretpostavke su izvodili na osnovu dužine trajanja plovidbe. Utvrdili su da je Sredozemno more duže u pravcu istok – zapad nego sever – jug. Neki su smatrali da je Zemljina ploča debela skoro koliko je visoko nebo. U tom periodu na merenje planete Zemlje nije se pomišljalo. Uglavnom se merila samo obradiva zemlja i to prenošenjem neke mere od jedne do druge tačke u istom pravcu.

Grčki filozofi u VI veku p. n. e. Pitagora i njegovi sledbenici pretpostavili su da je Zemlja sferičnog oblika. Njihove tvrdnje bile su prihvaćene od nekih naučnika pa su započeta prva razmišljanja kako izmeriti Zemlju.

O prvom merenju Zemlje u antičkoj Grčkoj govori Aristotel u IV veku p. n. e. On je dao značajnije argumente za sferični oblik Zemlje. Primetio je da je silueta Zemlje na Mesecu tokom pomračenja uvek okrugla i da zvezde na nebu izgledaju drugačije sa različitih lokacija na Zemlji. Takođe, Aristotel je zaključio da Zemlja mora biti sferična jer se zvezde kreću oko Zemlje i sve su na podjednako udaljenosti od nje. On je govorio da je obim Zemlje 400 000 stadia⁴, odnosno 63 200 km ali nije rekao kako je izmeren Zemljin obim i ko je izmerio. Pretpostavlja se da je njegov učenik Eudoks odredio obim uz pomoć ugla između sazvežđa Rak

⁴ Stadia je bila Grčka mera za dužinu. 1 stadia \approx 0,158 km.

i Zmaj i udaljenosti između Sijene i Lizimaheja. Izračunati ugao iznosio je 15° a udaljenost dva grada 20 000 stadia. Obim Zemlje koji se tim merenjem dobio razlikuje se od obima o kojem je govorio Aristotel kao i od stvarnog obima Zemlje. O obimu govorio je i Arhimed. On je pričao da je obim Zemlje 300 000 stadia ali nije se znalo kako je došao do tog podatka.

Eratosten iz Kirene je oko 250. godine p. n. e. na osnovu posmatranja sunčeve svetlosti i senke dao približnu vrednost obima Zemlje. On je posmatrao sunčeve zrake u Sijeni za vreme letnje dugodnevnice u podne kada je Sunce u zenitu. Tada je zaključio da je Sunce tačno iznad njega jer u bunar koji je gledao nije bilo senke. U isto vreme u Aleksandriji, gradu udaljenom nekoliko stotina kilometara prema severu, kada je Sunce bilo u zenitu, padala je senka. Eratosten je tada zaključio da Sunčeva svetlost dolazi pod određenim uglom i da je razlog toga sferičan oblik Zemlje. Smatrao je da je razlika u uglovima između Sunčevih zraka u Sijeni i Aleksandriji nastala zbog zakrivljenosti površine Zemlje. Podaci koji su bili potrebni za računanje obima Zemlje su rastojanje Aleksandrije od Sijene i ugao pod kojim se iz centra Zemlje vidi to rastojanje. Na osnovu poznate visine stuba i merenjem senke koju je taj stub bacao u Aleksandriji, Eratosten je dobio ugao pod kojim sunčevi zraci padaju na stub. Taj ugao jednak je uglu pod kojim se iz centra Zemlje vidi rastojanje Aleksandrije od Sijene i iznosi približno $7,12^\circ$, što je ekvivalentno $1/50$ kruga. Kako je udaljenost ova dva grada 5000 stadia, Eratosten je procenio obim Zemlje koristeći trigonometriju i geometrijske principe. Prema formuli:

$$O = (360^\circ : \theta) \cdot s, \quad (4.1)$$

dobija da je obima Zemlje:

$$O = (360^\circ : \theta) \cdot s = (360^\circ : 7,12^\circ) \cdot 5\,000 = 252\,808 \text{ stadia} = 39\,943 \text{ km.} \quad (4.2)$$

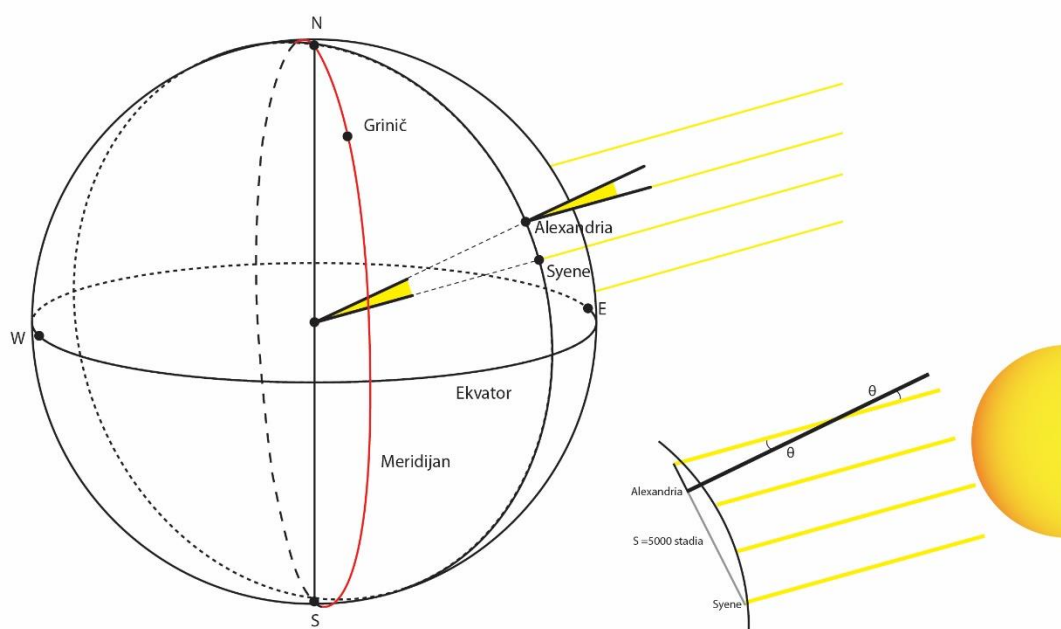
Odnos rastojanje između Aleksandrije i Sijene i poluprečnik Zemlje proporcionalan je odnosu dužine senke i visine stuba. Eratosten je prilikom ovog izračunavanja pretpostavio da Aleksandrija leži severno od Sijene na istoj geografskoj dužini. Takođe, sumnja se u preciznost merenja udaljenosti između dva pomenuta grada. Na slici 4.1 prikazan je Eratostenov model za izračunavanje obima Zemlje.

Opisani metod Eratostena nije bio savršeno precizan, ali je bio značajan korak ka razumevanju veličine Zemlje. Njegova procena obima bila je približno tačna i

GLAVA 4. PLANETA ZEMLJA

predstavljala je rani pokušaj merenja Zemlje.

Posidonije iz Apameje u Siriji oko 100 godina p. n. e. na sličan način izračunao je obim Zemlje ne tako precizan kao Eratosten. On je pretpostavio da su Rod i Aleksandrija na istom meridijanu i uz proračune moreplovaca, da je njihova udaljenost 5 000 stadia. Iz posmatranja zvezde Kanopus (alfa zvezda sazvežđa Pramac i druga najsjajnija zvezda na nebu) zaključio je da se ona izdiže $7,5^\circ$ iznad horizonta Aleksandrije kada je na horizontu u Rodu. Time je dobio da je udaljenost od 5000 stadia zapravo $1/48$ obima kruga Zemlje.



Sljka 4.1. Prikaz Eratostenovog načina izračunavanja obima Zemlje

Tokom srednjeg veka, evropska nauka je uglavnom zadržavala Ptolemejevu geocentričnu teoriju, prema kojoj je Zemlja bila centar univerzuma, a Sunce i planete su se kretali oko nje.

Tokom renesanse, geografska otkrića i putovanja istraživača poput Kristofera Kolumba, Ferdinanda Magelana i drugih doprineli su boljem razumevanju veličine Zemlje. Navigacija na otvorenim morima ukazivala je na to da je Zemlja zakrivljena, a ne ravna. Dosta vekova posle, u IX veku, Kalif Al-Mamun naredio je svojim astronomima da izmere Zemlju. Grupa astronoma došla je do obima Zemlje mereći visinu Severnjače. Iako ova merenja nisu dala ni približno tačne rezultate o obimu Zemlje, Kalif je ostavio trag u istoriji razvoja astronomije.

GLAVA 4. PLANETA ZEMLJA

Jean Fernel (1497 – 1558) bio je francuski lekar i matematičar. On je bio poznat po svojim doprinosima u medicini i matematici. Fernel je napisao delo „Cosmotheoria” 1528. godine, u kome je raspravljao o različitim aspektima astronomije, uključujući i oblik i veličinu Zemlje. U ovom delu on opisuje svoj metod izračunavanja obima Zemlje. On je izmerio visinu Sunca u Parizu a zatim je išao ka severu, ka gradu Amijenu sve dok se visina Sunca nije smanjila za jedan stepen. U povratku puta merio je broj obrtaja točka svog automobila i na taj način dobio dužinu puta. Došao je do zaključka da je dužina luka koja odgovara jednom stepenu 57 099 toaza⁵. Fernel je nakon ovog merenja ispravljao greške i došao do preciznije cifre.

Za Fernela i njegove prethodnike najveći problem predstavljalo je merenje luka na Zemlji. Stoga su u XVII i XVIII veku, naučnici počeli primenjivati geodetske metode triangulacije. Triangulacija je metod određivanja položaja neke tačke tako što se mere uglovi prema toj tački iz neke dve druge tačke za koje se zna rastojanje. Dakle, vrlo precizno se izmeri neka osnovica a zatim se mere uglovi koje gradi osnovica sa traženom tačkom. Znajući dužinu osnovice i dva njena nalegla ugla mogu se izračunati i druge dve stranice trougla. Za merenje osnovice koristila se metoda nadovezivanja letvica ili žica zategnuta između dva stalka. Kao tačka koja će koristiti za merenje uglova uzima se neka viša građevina u daljini, neko drvo ili tome slično. Snelije je bio prvi koji je 1617. godine primenio metod triangulacije.

Žan Pikar, francuski astronom dobio je do tada najtačnije merenje obima Zemlje. U odnosu na današnje merenje, njegov obim Zemlje pokazuje grešku od 0,44%. Za svoja merenja koristio je metod triangulacije trinaest trougla između Pariza i Sordona i za to prvi put upotrebio durbin. Iako je Pikar za svoja izračunavanja koristio Zemlju kao loptu nije verovao u tačnost tog podatka. Smatrao je da je ona spljoštena na polovima ali to nije dokazao.

Francuski astronom, Žan Riše, 1672. godine krenuo je iz Pariza u Kajenu. U Kajeni on primećuje da njegov časovnik sa klatnom kasni dva minuta. Riše je došao do zaključka da je razlog toga manja sila gravitacije, odnosno veća udaljenost od centra Zemlje. Što ukazuje dalje na spljoštenost Zemlje na polovima. Njuti dolazi do zaključka da Zemlja nije savršena lopta i da je spljoštena na polovima, zbog obrtanja oko svo je ose. Kako bi dobila tačan odgovor po pitanju spljoštenosti Zemlje, Francuska 1736. godine formira dve ekspedicije. Jedna je bila

⁵ Toaza je bila Francuska mera za dužinu. Jedna toaza iznosi 1,949 m.

u Laponiju a druga u Peru. Rezultati tih ekspedicija potvrdili da je Zemlja spljoštena na polovima.

Ruđer Bošković, jedan od značajnijih naučnika XVIII veka, takođe je jedan deo svog života posvetio merenju Zemlje. On je zapravo merio meridijanov luk između Rima i Riminija, 1751. godine. Danas, moderna tehnologija omogućava da izmerimo dimenzije Zemlje sa izuzetnom preciznošću. Sateliti poput GPS-a, omogućavaju nam da pratimo i merimo promene u obliku Zemlje, uključujući i njenu rotaciju, precesiju i promene u gravitacionom polju. Na osnovu dosadašnjih saznanja smatra se da je Zemlja oblika spljoštenog ellipsoida, odnosno geoid. To je konveksna zatvorena površina blago spljoštena na polovima, što je posledica njene rotacije. Precizno određivanje dimenzija Zemlje i dalje je važno za mnoge naučne i inženjerske primene, uključujući geodeziju, geofiziku, navigaciju i druge oblasti.

4.2 Karakteristike

Unutrašnjost planete čine tri sloja: kora, omotač i jezgro.

Zemljina kora

Debljina Zemljine kore kreće se od 5 km do 10 km ispod okeana od 30 km do 50 km na kontinentalnom delu. Zapremina Zemljine kore je svega 1,1% Zemlje. Temperatura na dnu Zemljine kore je oko 870° C.

Omotač

Omotač predstavlja najdublji sloj Zemlje, do dubine od 2700 km do 2891 km i oko 82,6% zapremine Zemlje. Temperature od 2200° C do oko 870° C na površini omotača. Sastoji se od poluistopljene stene sastavljene od silicijum dioksida, magnezijuma, gvožđa i drugih elemenata. Ovaj sloj Zemlje izdiže se prilikom pomeranja tektonskih ploča i tokom vulkanske erupcije.

Jezgro

Jezgro se sastoji iz spoljašnjeg i unutrašnjeg jezgra, od 2891 km pa do samog centra Zemlje, što čini oko 16,3% zapremine Zemlje. Spoljašnje jezgro ima temperaturu od 5000 ° C do 2200° C. Zbog izrazito visoke temperature ovaj sloj Zemlje je u tečnom stanju. Smatra se da je Zemljino magnetno polje rezultat kretanja gvožđa i nikla u ovom sloju. Unutrašnje jezgro predstavlja izazov za naučnike jer je direktno istraživanje ove oblasti nemoguće. Većina informacija o unutrašnjem jezgru se dobija iz podataka o tome kako seizmički talasi putuju kroz Zemlju. Smatra se da je unutrašnje jezgro, čvrsti deo jezgra, uglavnom od gvožđa i nikla. Temperatura u ovom sloju Zemlje iznosi oko 5000° C a gustina 13 000 kg/m³. Najnovija istraživanja ukazuju na mogućnost postojanja još jednog sloja, petog sloja Zemlje, najdubljeg sloja Zemlje. [4] Obradom podataka prikupljenih merenjem seizmičkih talasa zemljotresa smatra se da unutar čvrstog jezgra postoji još jedan čvrsti deo, sam centar Zemlje koji menja kretanje seizmičkih talasa. Ovaj deo Zemlje teško je uočljiv jer je sastava vrlo sličnog čvrstom sloju Zemlje, bez jasnih granica. Otkriveni centar Zemlje najverovatnije je metalna kugla prečnika oko 1000 km.

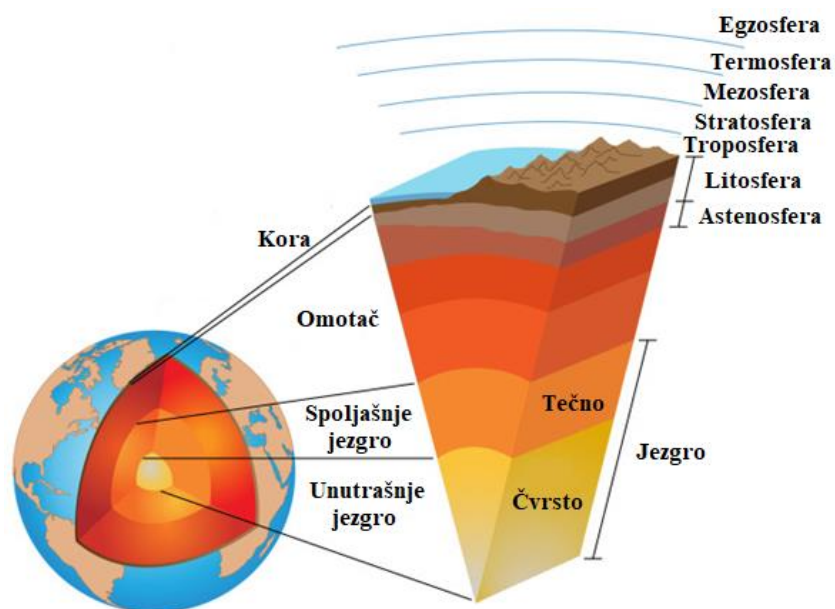
Atmosferu Zemlje čini azot oko 77%, kiseonik 21% i 2% ostali elementi. Atmosfera se sastoji iz nekoliko slojeva: troposfera, stratosfera, mezosfera, termosfera, egzosfera i magnetosfera. Na slici 4.2 prikazani su Zemljini slojevi i slojevi atmosfere Zemlje.

Troposfera

Troposfera je najniži sloj atmosfere Zemlje, koji se prostire od površine Zemlje do visine od oko 8 km na polovima i do 18 km na ekvatoru. Ovaj sloj je najbliži Zemljinoj površini i u njemu se formira klima. Sadrži 99% vodene pare pa je to oblast u kojem se stvaraju oblaci i oluje. U troposferi temperatura opada sa povećanjem nadmorske visine⁶. Pad temperature s visinom poznat je kao normalni temperaturni gradijent i iznosi oko 6,5° C na 1 km visine. Iznad troposfere nalazi

⁶ Sunčeva energija zagreva površinu Zemlje. Kako se površina zagreje ona otpušta toplotu u okolni vazduh. Topli vazduh je lakši pa se podiže. Pri podizanju on se širi i hladi zbog smanjenja pritiska sa visinom.

se sloj koji se naziva tropopauza, koji označava prelaz između troposfere i sledećeg sloja, stratosfere. Troposfera i tropopauza igraju ključnu ulogu u formiranju klime i atmosferskih uslova.



4.2. Zemljini slojevi

Stratosfera

Stratosfera je sloj atmosfere Zemlje koji se proteže iznad troposfere sve do 50 km nadmorske visine. Ovaj sloj ima važnu ulogu u održavanju Zemljine klime. Na početku stratosfere temperatura se ne menja sa porastom visinom a onda naglo poraste u ozonskom sloju. Stratosfera sadrži ozonski omotač, koji se nalazi na visini između 10 i 50 kilometara iznad Zemljine površine. Ozonski sloj sastoji se od molekula ozona (O_3) koji apsorbuju većinu UV zračenja. To je važno jer nas štiti od štetnog UVB i UVC zračenja.

Stratosfera je relativno miran sloj atmosfere. Veoma retko se javljaju oblaci i oluje. Razlog je nedostatak vertikalnih vazdušnih struja koje su uobičajene u troposferi. Iznad stratosfere nalazi se sloj koji se naziva stratopauza.

Mezosfera

Mezosfera je sloj atmosfere Zemlje koji se prostire iznad stratosfere i proteže se od visine od oko 50 kilometara pa sve do 85 kilometara nadmorske visine. U mezosferi dolazi do značajnog pada temperature s povećanjem visine. Na donjoj granici mezosfere temperatura doseže svoj minimum. Ova hladna regija može dostići temperature i do -90°C , što je najniža temperatura u atmosferi. Mezosfera je poznata po svom sudaru s meteoroidima. Kada meteoroidi uđu u Zemljinu atmosferu, oni se zagreju i sagore, stvarajući svetleće trake poznate kao meteori ili „zvezde padalice”. Većina meteora sagori u mezosferi. Iznad mezosfere nalazi se sloj koji se naziva mezopauza.

Termosfera

Termosfera je oblast atmosfere između 85 i 700 km nadmorske visine. Temperatura raste sa porastom visine. Ovo je oblast u kojoj kruži međunarodna svemirska stanica. Jedan sloj termosfere je jonosfera.

Jonosfera

Jonosfera je oblast atmosfere u kojoj se atomi i molekuli razdvajaju na pozitivno naelektrisane jone i negativno naelektrisane elektrone zbog delovanja ultraljubičastog (UV) zračenja Sunca. Ovaj proces zove se jonizacija. Jonosfera je podeljena u nekoliko elektromagnetskih slojeva. Jonosfera ima značajan uticaj na propuštanje radiotalasa. Radiotalasi se mogu reflektovati ili savijati u jonosferi, što omogućava komunikaciju na velike udaljenosti. U gornjem delu jonosfere, na visinama iznad 100 km, pojavljuju se svetlosni fenomeni poznati kao aurora. Jonosfera igra važnu ulogu u zaštiti živih bića na Zemlji od štetnog zračenja Sunca. Gusta koncentracija jona u jonosferi apsorbira veći deo UV i X-zračenja, što sprečava da ta zračenja dosegnu površinu Zemlje.

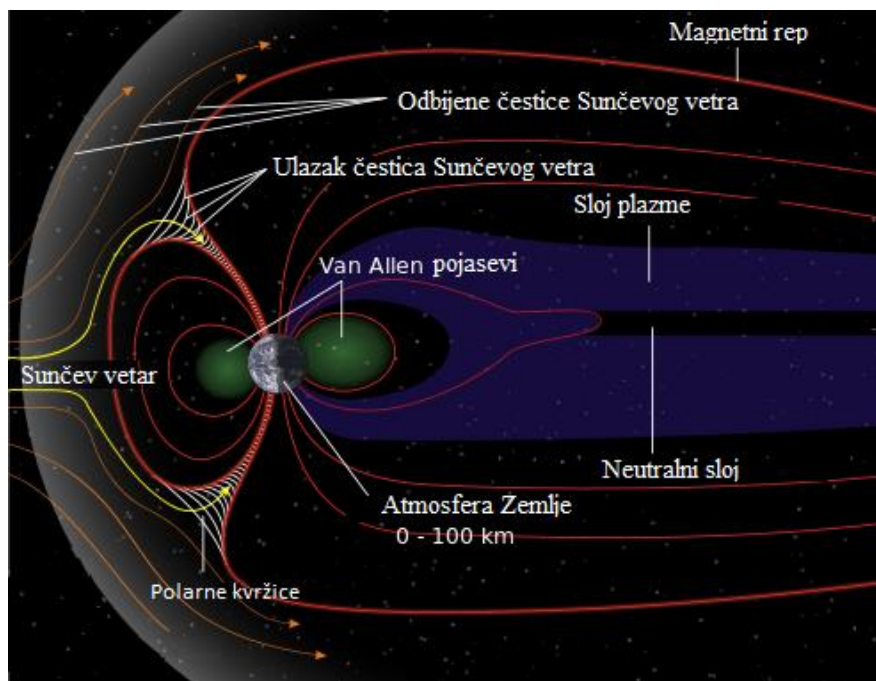
Egzosfera

Od 700 km nadmorske visine. Egzosfera je najviši sloj atmosfere Zemlje i predstavlja granicu sa svemirom. Ovde kruži većina Zemljinih satelita.

Magnetosfera

Magnetosfera je zaštitni magnetni omotač oko Zemlje koji je stvoren Zemljinim magnetnim poljem (nastalo je kretanjem rastopljenog gvožđa i nikla u Zemljinom jezgru) i interakcijom sa naelektrisanim česticama iz Sunčevog vetra. Zbog Sunčevog vetra suprotna strana magnetosfere od Sunca se širi (magnetni rep). Može biti oko 1000 puta veća od rastojanja između Zemlje i Sunca. Intenzitet magnetnog polja je najmanji na ekvatoru a najveći na polovima. Magnetni polovi u odnosu na geografske polove razlikuju se za 11° . Magnetosfera ima ključnu ulogu u zaštiti Zemlje jer usmerava naelektrisane čestice oko planete Zemlje. Zarobljene linijama sile Zemljinog magnetnog polja one čine Van Allenove pojaseve. Ovi pojasevi, nazvani prema naučniku Jamesu Van Allenu, protežu se od oko 1000 do 60 000 kilometara nadmorske visine.

Na slici 4.3 prikazana je magnetosfera Zemlje. Iako ne postoji jasna granica između Zemljine atmosfere i svemira prema Međunarodnoj vazduhoplovnoj fondaciji smatra se da se ona nalazi na 100 km iznad Zemljine površine. Ovaj prelaz naziva se Karmanova linija. Neki naučnici veruju da je granica zapravo mnogo dalje.



Slika 4.3. Magnetosfera

GLAVA 4. PLANETA ZEMLJA

U tabeli 4.1 izlistane su osnovne fizičke karakteristike Planete Zemlje.

Tabela 4.1. Planeta Zemlja

	ZEMLJA
SREDNJI POLUPREČNIK EKVATORSKI POLUPREČNIK POLARNI POLUPREČNIK	6371 km 6378,1 km 6356,8 km
POVRŠINA	510 072 000 km ²
MASA	5,9724 · 10 ²⁴ kg
SREDNJA GUSTINA	5514 kg/m ³
ZAPREMINA	1,08321 · 10 ¹² km ³
SPLJOŠTENOST	0,00335
BRZINA	11,2 km/s
TEMPERATURA	14° C
ALBEDO	0,32
PERIOD ROTACIJE	0,99726968 dana
PERIOD REVOLUCIJE	365,256363 dana
NAGIB EKVATORA PREMA EKLIPTICI	23°,45
GRAVITACIJA	9,81 m/s ²
POVRŠINSKO UBRZANJE	9,78 m/s ²
SREDNJA ORBITALNA BRZINA	29,78 km/h
SREDNJE RASTOJANJE ZEMLJA – MESEC RASTOJANJE ZEMLJA – MESEC U PERIGEJU RASTOJANJE ZEMLJA – MESEC U APOGEJU	384 400 km 363 300 km 405 500 km

4.3 Rotacija i posledice

Rotacija je obrtanje Zemlje oko svoje ose. Zemlja se obrne oko svoje ose, napravi pun krug za 24^h u odnosu na Sunce⁷, odnosno, za 23^h 56^{min} 4^s ⁸ u odnosu na zvezde. Kada bismo gledali dole na Zemlju iznad Severnog pola, mogli bismo da vidimo da Zemlja rotira u smeru suprotnom od smeru kretanja kazaljke na satu, odnosno, od zapada ka istoku. Zemljina osa nagnuta je pod uglom od 23° 27'. Brzina kojom se Zemlja okreće oko svoje ose svakodnevno varira. Prosečan dan na Zemlji je nešto duži od 24 sata za otprilike 0,0018 sekunde. Što dalje znači da za oko godinu i po dana iznosi 1 sekundu. Međunarodna služba za rotaciju Zemlje i referentne sisteme (IERS) [5] radi na održavanju sinhronizacije vremena sa rotacijom Zemlje i dodaje prestupnu sekundu, obično 30. juna ili 31. decembra ali ne svake godine. Kako brzina rotacije nije konstantna već na nju utiču različiti faktori, poput, geoloških procesa u Zemljinoj kori i na površini (pomeranja tektonskih ploča, vulkanski uticaj itd.) dešava se da se dodavanje prestupne sekunde preskoči. Međutim, poslednja istraživanja 2020. godine, pokazuju da je Zemlja počela da ubrzava rotaciju. Još uvek se tačno ne zna uzrok ubrzavanje Zemlje. Svakako, ako se ubrzavanje nastavi rešenje sinhronizacije rotacije sa vremenom je ne dodavanje ili eventualno oduzimanje jedne sekunde. [6]

Brzina rotacije zavisi od geografske širine, zbog različitih dužina paralela. Brzina je najveća na ekvatoru i iznosi 1675 km/h. Na polovima brzina je jednaka nuli. Na geografskoj širini Beograda oko 1184,76 km/h. Ako uzmemo da je R - poluprečnik Zemlje (6378 km), φ - latituda (geografska širina) i siderički dan (23,934472), brzinu rotacije Zemlje (V) u odnosu na geografsku širinu računamo po formuli:

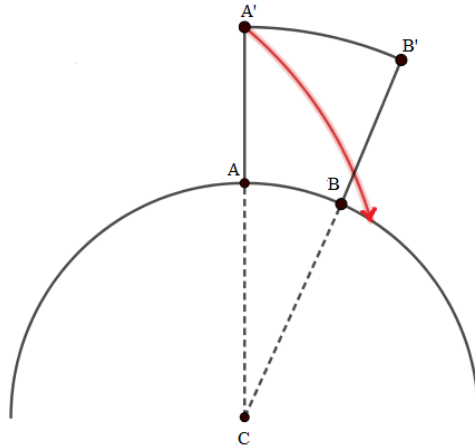
$$V = \frac{2\pi \cdot R \cdot \cos \varphi}{23,934472}. \quad (4.3)$$

Prvi teoretski dokaz Zemljine rotacije dao je Njutn, 1679. godine. Na slici 4.4 prikazano je skretanje tela pri slobodnom padu. Eksperiment se zasnivao na tome da pri slobodnom padu što se tačka nalazi dalje od ose rotacije to joj je veća brzina kojom se kreće ka istoku, pa je utisak kao da Zemlja zaostaje za telom. Zato se vrh tornja, tačka B' pomera ka istoku većem brzinom nego osnova tornja,

⁷ Zemljin Sinodički dan je period između dva uzastopna prolaska srednjeg Sunca kroz meridijan.

⁸ Zemljin Siderički dan je period između dva uzastopna prolaska gama tačke kroz meridijan.

tačka B. Pod uticajem Zemljine teže telo pušteno sa vrha tornja pada na Zemlju. Trajektorija pada nije pravolinijska već eliptična.

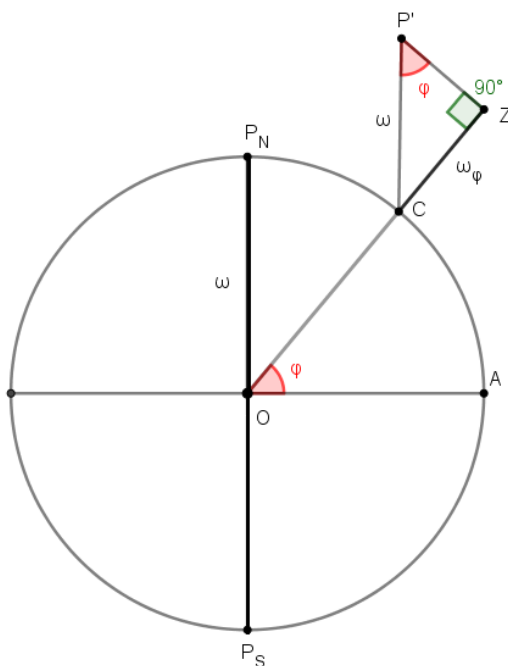


Slika 4.4. Skretanje tela pri slobodnom padu

Dakle, rotacija Zemlje ima uticaj na trajektoriju tela koje pada na velike udaljenosti ili dugo vreme. U tim slučajevima, Coriolisova sila može delovati na telo i uzrokovati skretanje. Na severnoj hemisferi, telo će iskriviti svoju putanju udesno, dok će na južnoj hemisferi skrenuti ulevo zbog rotacije Zemlje. Ova pojava je poznata kao efekat Coriolisa. Coriolisov efekat je dobio ime po francuskom matematičaru i fizičaru Gaspard-Gustave de Coriolis.

Njutn je takođe predvideo i spljoštenost Zemlje na polovima zbog rotacije. Poluprečnik Zemlje ka polovima je za oko 21 km manji od poluprečnika Zemlje ka ekvatoru.

Jedan od najrasprotranjenijih dokaza rotacija Zemlje je Fukoov ogled. Poznato je da klatno kada se jednom pokrene zadržava nepromenjen položaj ravni klatčenja. Kako bi dokazao okretanje Zemlje oko svoje ose, francuski fizičar Leon Fuko je 1851. godine u Pariskom panteonu postavio klatno dovoljno dugačko i teško da može dugo da se klata. Klatno se nalazi u holu ispod kupole. Dužina čelične žice klatna je 67 m, i jednim krajem je pričvršćena za samu unutrašnjost kupole a na drugom kraju nalazi se olovna kugla. Kugla je teška 28 kg i obložena je bronzom. Na vrhu kugle postavljen je šiljak a na pod ispod šiljka nalazi se oivičena ograda kružnog oblika prečnika 6 m u kojoj je posut sloj peska. Prilikom oscilovanja šiljak klatna ostavlja trag u pesku. Jednu punu oscilaciju ovo klatno napravi za 16,4 s. a svaka nova oscilacija odstupa od prethodne za 3 mm.



Slika 4.5. Okretanje ravni oscilovanja Fukovog klatna

Odstupanja su u smeru suprotnom od smeru Zemljine rotacije. Ako je T – period oscilovanja, l – dužina klatna i g – gravitaciona sila Zemlje, $g = 9,81 \frac{N}{kg}$. Tada period oscilovanja računamo po formuli:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (4.4)$$

Dobijamo da je period oscilovanja:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \approx 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{\frac{67}{9,81}} \approx 6,28 \cdot \sqrt{6,829} \approx 6,28 \cdot 2,613 \approx 16,4 \text{ s}. \quad (4.5)$$

Na slici 4.5 prikazano je klatno obešeno na geografskoj širini φ nekog mesta C. Oscilacije klatna su u ravni koja je vertikalna na to mesto. Ravan oscilovanja klatna rotira ugaonom brzinom ω_φ koja je jednaka projekciji vektora ugaone brzine ω na vertikali tog mesta.

GLAVA 4. PLANETA ZEMLJA

Na Severnom polu ravan oscilovanja klatna načini pun krug za 24^h u odnosu na Zemlju dok se prividna brzina rotacija ravni klatna smanjuje ukoliko se približavamo ekvatoru i na ekvatoru iznosi nula.

Ugaonu brzinu računamo po formuli:

$$\omega_{\varphi} = \omega \cdot \sin \varphi. \quad (4.6)$$

Kako se Panteon u Parizu nalazi na geografskoj širini $\varphi = 48^{\circ} 52' N$, dobijamo da je ugaona brzina:

$$\omega_{\varphi} = \omega \cdot \sin \varphi = 15^{\circ} \cdot \sin 48,86^{\circ} \approx 15^{\circ} \cdot 0,753 \approx 11,3^{\circ}. \quad (4.7)$$

$$t = \frac{23\text{h } 56\text{ min}}{\sin \beta} \approx \frac{23,93\text{ h}}{\sin 48,86} \approx \frac{23,93\text{ h}}{0,753} \approx 31,78^{\text{h}}. \quad (4.8)$$

Dakle, u jednom satu oscilatorna ravan promeni se za oko 11° a pun krug napravi za oko 32 časa.

Na geografskoj širini na kojoj se nalazi Beograd potrebno je 34 časa. Na ekvatoru se ne zapaža obrtanje podloge.

Fukovo klatno sada možemo videti širom sveta. U Beogradu u holu zgrade zavodu za Fiziku nalazi se dokaz rotacije Zemlje. „Manifestum non eget probatione”, (Očiglednu stvar ne treba dokazivati), ispisano je oko prvog Fukoovog klatna u Beogradu.

Posledice rotacije Zemlje su mnogobrojne. Neke značajnije posledice su: prividno dnevno obrtanje nebeske sfere, smena dana i noći, vremenske zone, skretanje smeru tokova reka, vetrovi u tropskim oblastima (zbog rotacije Zemlje na severnoj polusferi duvaju sa severoistoka a na južnoj polusferi sa jugoistoka), erozija desnih obala reka (na severnoj hemisferi) i levih obala reka (na južnoj hemisferi), skretanje ka istoku tela pri slobodnom padu, Zemljin oblik, spljoštenost na polovima i ispućenja na ekvatoru.

Smena dana i noći

Zemlja rotira oko svoje ose a istovremeno i oko Sunca. Pri rotaciji Zemlje, jedna polovina je okrenuta prema Suncu u bilo kom trenutku i tada je na njoj dan, dok je na drugoj polovina, okrenutoj od Sunca, noć.

Vremenske zone

Usled Zemljine rotacije svaka tačka na Zemlji za jedan sat se pomeri 15° ka istoku. Kako pun krug iznosi 360° to je dakle 24 sata. Na osnovu toga, Zemlja je podeljena na 24 vremenskih zona i svaka vremenska zona obuhvata oblast od 15° između dva susedna meridijana. Za nultu vremensku zonu uzima se početni meridijan koji prolazi kroz astronomsku opservatoriju u Greenwich u predgrađu Londona. Idući ka istoku prilikom prelaska meridijana dodaje se po jedan sat za svaku sledeću vremensku zonu, dok se idući ka zapadu oduzima po jedan sat za svaku sledeću vremensku zonu. Srbija se nalazi u vremenskoj zoni +1, odnosno važi srednjoevropsko vreme. Svaka tačka na Zemlji pripada jednoj vremenskoj zoni. Kanadaniin Stanford Flemig prvi je 1878. godine podelio Zemlju na 24 časovne zone. Njegova podela usvojena je 1884. godine u Vašingtonu.

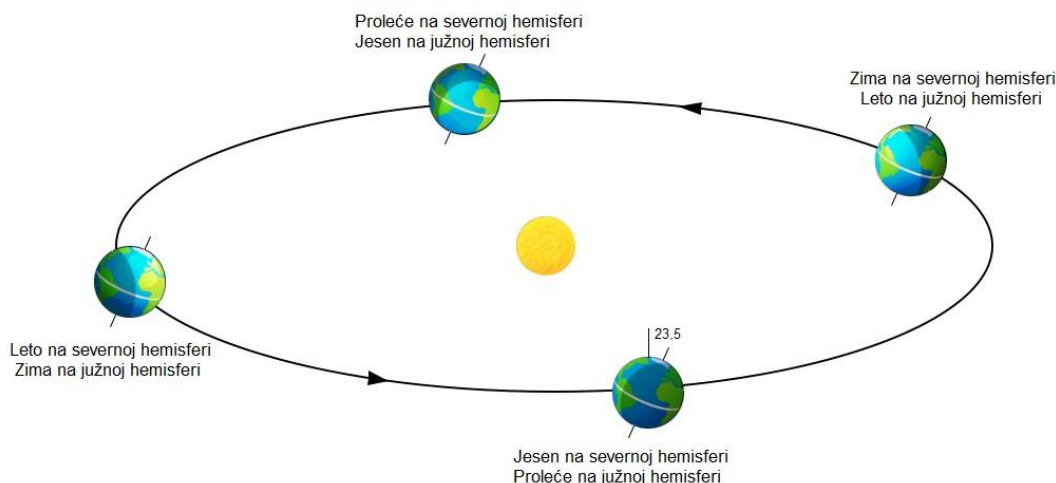
4.4 Revolucija i posledice

Revolucija predstavlja kretanje Zemlje oko Sunca po određenoj eliptičnoj putanji koja se nalazi u ravni ekliptike. Zemlja ovo kretanje vrši u smeru suprotnom od kazaljke na satu, od zapada ka istoku. Zemlja načini jednu revoluciju oko Sunca za 365,242 dana.

Osa Zemlje nagnuta je u odnosu na ravan ekliptike i sa njom zaklapa ugao od $66,5^\circ$. Zemljina osa uvek zauzima isti položaj u svemiru u odnosu na druga tela. Posledica toga je da je Severni pol uvek okrenut ka Severnjači. Tokom revolucije, Zemlja ne putuje po svojoj putanji konstantnom brzinom. Brzina Zemlje varira zbog eliptičnog oblika orbite i u proseku iznosi 29,78 km/s. U najbližoj tački od Sunca, koja se naziva perihel, Zemlja je najbrža, dok je najsporija u najudaljenijoj tački od Sunca, koja se naziva afel.

Zbog nagiba ose Zemlje i revolucije različiti delovi Zemlje su pod različitim uglom

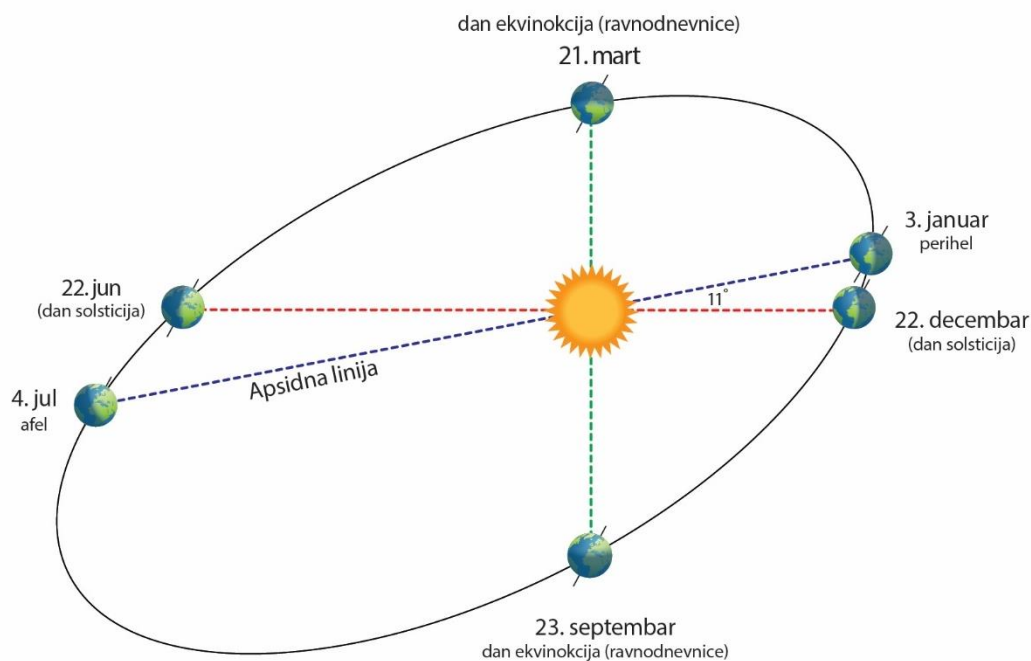
izloženi Sunčevoj svetlosti. Neke najvažnije posledice toga su: različita dužina obdanice i dužina noći u toku godine, smena godišnjih doba i njihova različita dužina, toplotni pojasevi i promena kalendara. Ovo ima uticaj na klimu, vegetaciju, migracije životinja i druge procese na Zemlji. Na slici 4.6 prikazana je smena godišnjih doba kao posledica nagiba Zemljine ose rotacije.



Slika 4.6. Smena godišnjih doba

Različita dužina obdanice i dužina noći tokom godine i smena godišnjih doba

Kada bi Zemljina osa bila normalna na ravan ekliptike dužina dana i noći bi podjednako trajala. Kako to nije slučaj, zbog položaja Zemljine ose i revolucije Zemlje jedna polulopta Zemlje je više osvetljena i tada je u tom delu obdanica duža. Na više osvetljenoj polulopti obdanica je najkraća na ekvatoru i krećući se ka polu ona raste. Dok na suprotnoj polulopti koja je manje osvetljena krećući se ka polu noć postaje sve duža. Na samom severnom ili južnom polu Sunce izlazi i zalazi jednom godišnje. Tu pojavu nazivamo polarni dan i tada dan traje šest meseci ili polarna noć kada noć traje šest meseci. Dva puta godišnje Sunčevi zraci padaju pod pravim uglom na ekvator a posledica toga je približno jednaka dužina obdanice na celoj Zemlji. Ta dva dana u toku godine zovemo dani ravnodnevnice.



Slika 4.6. Smena godišnjih doba

Prvi dan ravnodnevnicе je 21. mart i tada je na severnoj polulopti prolećna ravnodnevnicа a na južnoj jesenja ravnodnevnicа. Od tog dana na severnoj polulopti dan postaje duži a noć kraća a na južnoj obrnuto, noć postaje duža a dan kraći. Sve do 22. juna kada obdanica postaje najduža i kada počinje leto a na severnom polu polugodišnji dan. Taj dan zovemo letnja dugodnevnicа. Tog dana na južnoj polulopti noć je najduža i počinje zima a na južnom polu polugodišnja noć. Zatim, na severnoj polulopti noć počinje da traje duže i obdanica da se skraćuje dok na južnoj dan počinje da traje duže a noć da se skraćuje sve do 23. septembra kada je drugi dan ravnodnevnicе. Zatim nakon ravnodnevnicе na severnoj polulopti dan se skraćuje a noć traje duže dok na južnoj dan traje duže a noć se skraćuje. Dan 22. decembra je dan kada na severnoj polulopti počinje zima i na severnom polu polugodišnja noć a na južnoj polulopti leto i na južnom polu polugodišnji dan. Na slici 4.7 prikazani su dani ravnodnevnicе, odnosno, dani smene godišnjih doba i njihovo različito trajanje.

Toplotni pojasevi

Sunčevi zraci ne zagrevaju podjednako isto celu površinu Zemlje. Najtopliji je onaj deo površine koji Sunce obasjava pod pravim uglom. Kako ugao pod kojim padaju Sunčevi zraci opada, tako opada i zagrejanost tog dela površine. Zimi je Sunce nisko nad horizontom što za posledicu daje niske temperature. Količina osvetljenosti Suncem opada idući od ekvatora ka polovima. Iz tog razloga razlikujemo sledeće toplotne pojaseve: tropski, severni umereni, južni umereni, severni hladni i južni hladni.

Kalendar

Na samom početku smatralo se da ima dana onoliko koliko se puta Sunce pojavi na nebu. Nakon nekog vremena stari narodi su uočili da u periodu između dva najduža dana Mesec prođe kroz sve svoje faze dvanaest puta pa je prvi kalendar poznat narodima bio Lunarni kalendar. Do njega se došlo posmatranjima. Nakon nekog vremena pored lova počela se obrađivati zemlja pa su tako stari narodi postali svesni promena godišnjih doba. Stari Egipćani dane su brojali po Sirijusu. Zaključili su da se izlivanje reke Nil pojavljuje u isto vreme kada i zvezda Sirijus na nebu. Tadašnji astronomi utvrdili su da je to na svakih 365 dana. Tačnijim posmatranjem donet je zaključak da se na svake četiri godine zvezda Sirijus pojavljuje dan kasnije. Pa su uzeli da godina traje 365,25 dana i da počinje 25. marta. Reforma prvog kalendara izvršena je 238. godine p. n. e. u mestu Kanopu kod Aleksandrije, otuda i naziva Kanopski edikt. Astronom Sosigen 46. godine p. n. e. je na zahtev Kleopatre, koju je Cezara zamolio, izradio kalendar po uzoru na egipatski. Po tom kalendaru, godina traje 365,25 dana. Dakle, godina ima 365 dana a prestupna godina ima 366 dana i javlja se svake četiri godine kako bi se nadoknadio jedan dana. Dan koji se dodaje te godine je 29. februar. Novina je ta što godina počinje 1. januara. Naziv kalendara je Julijanski kalendar u čast Julija Cezara. Ovaj kalendar bio je prvi opšteprihvaćen kalendar. Preciznijim merenjima utvrđeno je da je Zemlji za obilazak oko Sunca potrebno 365 dana 5 sati 48 minuta 46 sekundi pa je tako Julijanska godina duža za 11 minuta i 14 sekundi. Ta razlika se vremenom uvećavala i u XVI veku iznosila je 10 dana. Alojzije Julius papi Gregorijanu predložio je izmenu kalendara 1582. godine.

Gregorijanski kalendar

Gregorijanski kalendar prihvaćen je 1582. godine. Te godine, prvi sledeći dan nakon četvrtka 3. oktobra proglašen je za petak 15. oktobar. Kako se razlika ne bi ponovo nagomilala uvedeno je pravilo za određivanje prestupne godine. Prestupnom godinom po Gregorijanskom kalendaru se smatra svaka godina koja je deljiva sa 4 osim godina deljivih sa 100 ali izuzev godina deljivih sa 400. To znači, na primer, prestupna godine je bila 2000. jer je deljiva sa 400 ali 2100. neće biti prestupna jer je deljiva sa 100 a nije sa 400. Po ovom kalendaru, poslednja prestupna godina u XXI veku biće 2096. godina a prva prestupna godina u XXII veku biće 2104. godina. Gregorijanski kalendar ponavlja se na svakih 400 godina. Ovogodišnji kalendar biće jednak kalendaru u 2423. godini. Ovaj ciklus od 400 godina ima 97 prestupnih godina. Gregorijanski kalendar će tako imati manje prestupnih godina u odnosu na Julijanski kalendar. Ovaj kalendar je sada kalendar celoga sveta i po njemu se za prvu godinu uzima godina rođenja Hrista i to je nova era. Period pre toga naziva se period pre nove ere. U vreme uvođenja Gregorijanskog kalendara, veliki broj pravoslavnih zemalja je pod Turskom vlašću i ne može uvesti novi kalendar. Gregorijanski kalendar iako zvanično prihvaćen 1919. godine Srpska crkva nije odobrila. Pored Srpske crkve Julijanskim kalendar je i dalje u upotrebi u Ruskim i Jerusalimskim crkvama.

Milankovićev (Novojulijanski) kalendar

Milutin Milanković (1879 - 1958) bio je najznačajniji srpski naučnik. Pored svog poziva građevinskog inženjera, ljubav i stras bili su mu matematika, astronomija, klimatologija i geofizika. Primenom znanja iz različitih oblasti astronomije, matematike i fizike dokazao je da astronomski mehanizmi: sekularne promene ekscentriciteta Zemljine orbite, precesija Zemljine ose rotacije i periodične promene nagiba Zemljine ose rotacije, upravljaju termičkim pojavama na Zemlji. Ova tri ciklusa poznata su kao Milankovićevi ciklusi. Njegov celokupni rad objavljen je u delu „Kanon osunčavanja Zemlje i njegova primena na problem ledenih doba”, objavljen 1941. godine. [7] U čast Milutina Milankovića nazvan je jedan krater na Mesecu i Marsu.

GLAVA 4. PLANETA ZEMLJA

Milutin Milanković bavio se i reformom Julijanskog kalendara koji je usvojen 1923. godine u Carigradu. Njegova najpreciznija merenja pokazuju razliku od dve sekunde. Prema profesoru Milankoviću revolucija Zemlje traje 365 dana, 5 sati, 48 minuta i 48 sekundi.

Prestupnom godinom po Milankovićevom kalendaru se smatra svaka godina koja je deljiva sa 4 i sekularne godine (godine deljive sa 100) čiji broj vekova pri deljenju sa 9 daje ostatak 2 ili 6. To znači, na primer, prestupna godine je bila 2000. jer je deljiva sa 4 i broj vekova, 20 pri deljenju sa 9 daje ostatak 2, ali 2100. neće biti prestupna jer 21 pri deljenju sa 9 ne daje ostatak ni 2 niti 6.

Do prve razlike između Gregorijanskog i Milankovićevog kalendara doći će 2800. godine koja će biti prestupna po Gregorijanskom a neće biti prestupna po Milankovićevom kalendaru.

U Srbiji, Rusija i još nekim pravoslavnim Zemljama i dalje je u upotrebi Julijanski kalendar.

Glava V

Nebeska sfera

Često se dešava da ne možemo da procenimo stvarnu veličinu i udaljenost nekih dalekih objekata na Zemlji. Razlog toga je način na koji mozak interpretira vizuelne informacije. Kada su objekti jako daleko, promene u njihovom položaju na vidnom polju su veoma male, takođe, referentne tačke koje bismo koristili za procenu udaljenosti postaju manje vidljive pa mozak interpretira te objekte kao da su na podjednakom rastojanju od nas. Izrazito daleki objekti, kao što su na noćnom nebu zvezde, izgledaju nam kao tačkice podjednako udaljene od nas, pričvršćena na jednoj zamišljenoj sferi koju zovemo nebeska sfera.

5.1 Osnovni elementi nebeske sfere

Nebeska sfera je jedinična zamišljena sfera⁹ na koju projektujemo položaje svih nebeskih tela. Centar nebeske sfere može biti Zemlja, Sunce, centar Sunčevog sistema, centar galaksije ili posmatrač. U zavisnosti od izbora centra nebeske sfere razlikujemo redom: geocentrična nebeska sfera, heliocentrična, baricentrična, galaktička i topocentrična nebeska sfera. [8] Na slici 5.1 prikazana je nebeska sfera i elementi nebeske sfere.

Osnovni nivo znanja obuhvata sledeće pojmove nebeske sfere:

Vizura je zamišljena linija koja spaja centar nebeske sfere sa nebeskim telom. Za određivanje položaja objekata na nebu posmatranih sa nekog mesta na površini Zemlje koristimo horizontski koordinatni sistem.

⁹ Ugaono rastojanje između dve tačke ne nebeskoj sferi u radijanima tada je jednako luku velikog kruga koji ih spaja.

U ovom sistemu osnovna ravan je ravan horizonta.

Vertikala je pravac koji je rezultanta gravitacione i centrifugalne sile. Materijalizuje se pravcem mirnog viska i normalna je na ravan horizonta.

Vertikala seče nebesku sferu u dvema dijametralno suprotni tačkama: zenit i nadir. Zenit je najviša tačka iznad horizonta a nadir najviša tačka ispod horizonta.

Vertikal je veliki krug nastao presekom nebeske sfere sa ravni koja sadrži vertikal.

Pravi horizont je veliki krug nebeske sfere, nastao presekom nebeske sfere i ravni koja je upravna na ravan vertikal. On deli nebesku sferu na vidljivu i nevidljivu.

Nebeski ekvator je presek ravni Zemljinog ekvatora i nebeske sfere.

Projekcije Zemljinog severnog pola i Zemljinog južnog pola na nebesku sferu nazivamo redom, nebeski severni pol (P_N) i nebeski južni pol (P_S).

Tačke W (zapadna) i E (istočna) su tačke preseka nebeskog ekvatora i pravog horizonta.

Nebeski meridijan je veliki krug nebeske sfere koji prolazi kroz zenit (Z), nadir (Z') severni nebeski pol (P_N), južni nebeski pol (P_S), severnu tačku na horizontu (N) i južnu tačku na horizontu (S).

Tačke N (severna) i S (južna) su tačke preseka meridijana i pravog horizonta. Podnevačka linija je linija koja spaja N i S.

Srednji nivo znanja obuhvata sledeće pojmove nebeske sfere:

Severni nebeski pol je pol sa kojeg sva nebeska tela vrše kretanje u smeru kazaljke na satu (sa istoka na zapad). Južni nebeski pol je pol sa kojeg sva nebeska tela vrše kretanje u suprotnom smeru od smera kazaljke na satu (od zapada ka istoku). Nebeska obrtna osovina ili svetska osa je zamišljeni produžetak Zemljine obrtne osovine.

Deklinacijski krug je veliki krug nebeske sfere koji sadrži svetsku osu.

Nebeski ekvator nastao je presekom nebeske sfere i ravni koja je normalna na svetsku osovinu. On deli sferu na severnu i južnu.

Ekliptika je veliki krug nebeske sfere po kojem se vrši prividno godišnje kretanje Sunca. Ona sa nebeskim ekvatorom zaklapa ugao od $23,5^\circ$.

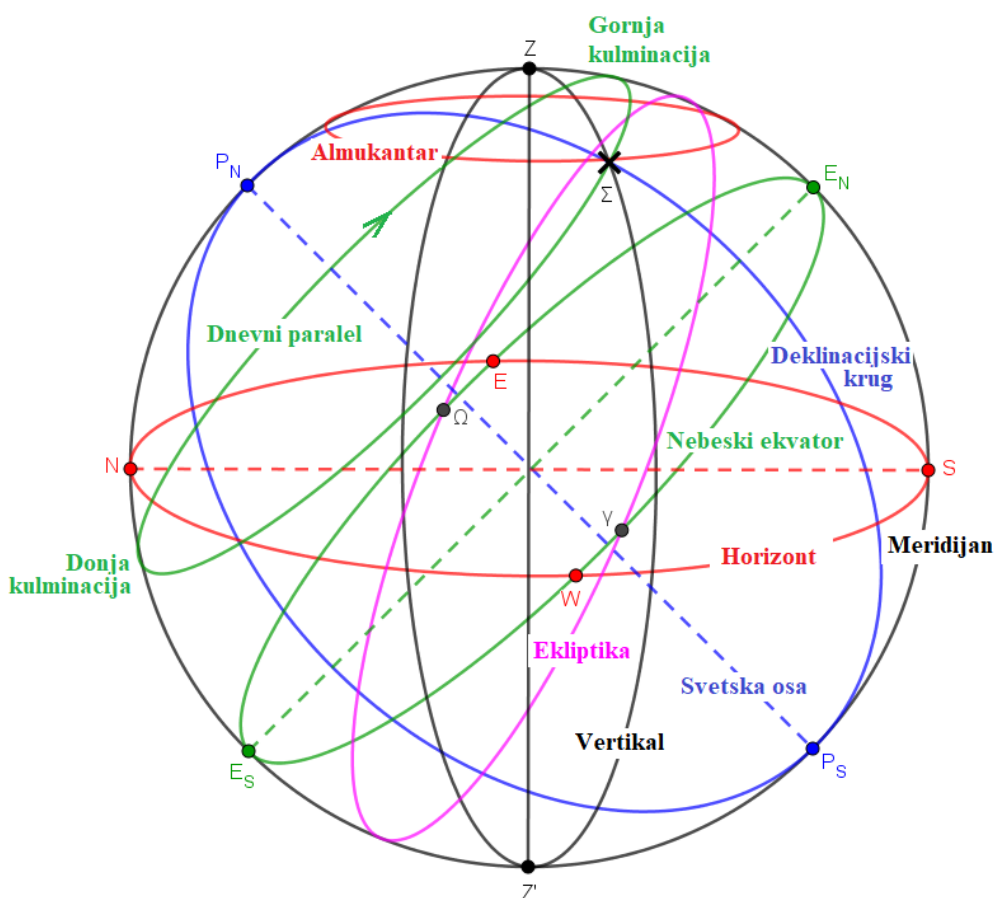
Ekliptička osa je osa normalna na ravan ekliptike. Ona seče nebesku sferu u severnom (Π_N) i južnom (Π_S) ekliptičkom polu.

Nebeski ekvator i ekliptika seku se u dvema tačkama: tački prolećne ravnodnevice (γ tačka) i tački jesenje ravnodnevice (Ω tačka). Zovemo ih još i tačkama ekvinokcija. Tačka γ je tačka u kojoj Sunce prelazi sa južne na severnu nebesku

GLAVA 5. NEBESKA SFERA

polusferu. Slično, tačka Ω je tačka u kojoj Sunce prelazi sa severne na južnu nebesku polusferu.

Dnevni paralel nastao je presekom nebeske sfere i ravni koja je paralelna ravni nebeskog ekvatora. To je mali krug nebeske sfere koji obrazuje neko nebesko telo tokom svog dnevnog kretanja. Sva nebeska tela opišu dnevni paralel sa zapada na istok a prividno sa istoka na zapad. Pri dnevnom kretanju nekog nebeskog tela izdvajamo nekoliko karakterističnih položaja: izlaz nebeskog tela, prolaz nebeskog tela kroz meridijan, prolaz nebeskog tela kroz prvi vertikal, najveća digresija nebeskog tela, zalaz nebeskog tela.



Slika 5.1. Nebeska sfera

Napredni nivo znanja obuhvata sledeće pojmove nebeske sfere:

Almukantar je mali krug nebeske sfere paralelan pravom horizontu.

Azimut je ugao u ravni horizonta, koji se meri u smeru kazaljke na satu, od južne tačke do preseka vertikala koji prolazi kroz nebesko telo sa ravni horizonta.

Izlaz nebeskog tela karakteriše visina od 0° odnosno zenitska daljina od 90° .

Prolaz nebeskog tela kroz meridijan karakterišu dva položaja: gornja kulminacija i donja kulminacija.

Gornja kulminacija je trenutak prolaza nebeskog tela kroz nebeski meridijan mesta i može biti severna ili južna od zenita. Donja kulminacija, slično kao gornja kulminacija, stim što nama nije vidljiva jer se nalazi ispod horizonta.

Prolaz nebeskog tela kroz prvi vertikal karakteriše azimut od 90° , odnosno 270° .

Najveća digresija jeste kada vertikalni krug kroz nebesko telo tangira njegov dnevni paralel.

Zalaz nebeskog tela karakteriše visina od 0° odnosno zenitska daljina od 90° .

5.2 Polarni koordinatni sistem

Položaj neke tačke u ravni ili prostoru određujemo koristeći koordinate u odgovarajućem koordinatnom sistemu. U ravni, pozicija tačke se definiše sa dve vrednosti, dok se u prostoru koriste tri vrednosti za njeno određivanje.

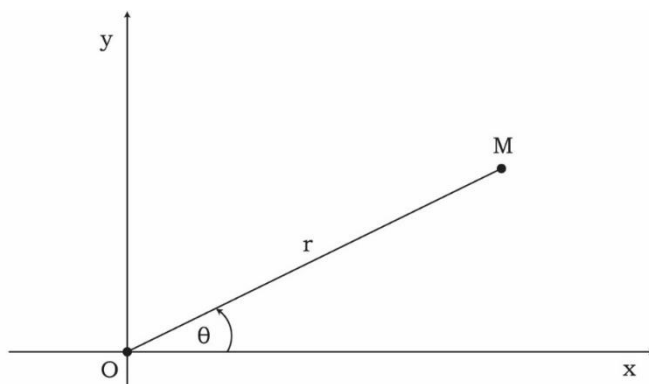
Koordinatni sistem je skup nepokretnih linija i ravni koje se koriste za nedvosmisleno određivanje položaja nekog objekta njegovim koordinatama.

Postoji mnogo različitih koordinatnih sistema koji se koriste u ravni i prostoru, a izbor zavisi od specifične primene i potreba. Koordinatni sistemi koji se najčešće koriste su pravougli koordinatni sistem i polarni koordinatni sistem u ravni i prostoru.

Polarni koordinatni sistem u ravni

Kod polarnog koordinatnog sistema u ravni, kroz jednu fiksnu tačku O (pol) povučena je poluosa Ox. Neka je M proizvoljna tačka, r – rastojanje, $r = |OM|$, i θ - ugao koji r zaklapa sa Ox osom u pozitivnom smeru (smeru suprotnom od smeru kretanja kazaljke na satu). Dakle, proizvoljna tačka M u ravni određena je parom polarnih koordinata (r, θ) .

Sve tačke u ravni imaju definisan polarni ugao, osim tačke O - pol koordinatnog sistema. Na slici 5.2 prikazan je polarni koordinatni sistem u ravni.



Slika 5.2. Polarni koordinatni sistem u ravni

$$r \geq 0,$$
$$\theta \in [0, 2\pi].$$

Dekartove pravougule koordinate (x, y) iz polarnih koordinata (r, θ) , računamo na sledeći način:

$$x = r \cos \theta, \tag{5.1}$$

$$y = r \sin \theta. \tag{5.2}$$

Polarne koordinate (r, θ) , iz pravougljih koordinata (x, y) računamo na sledeći način:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \tag{5.3}$$

$$\theta = \arctg\left(\frac{y}{x}\right). \tag{5.4}$$

Promenu polarnih koordinata u ravni u zavisnosti od položaja neke tačke možete pogledati na sledećem linku: <https://www.geogebra.org/m/jcuc7yuv>.

Sferni koordinatni sistem u ravni je generalizacija polarnog koordinatnog sistema u ravni, gde je r – radijus i θ - azimut.

Polarni koordinatni sistem u prostoru

Kod polarnog koordinatnog sistema u prostoru, posmatrajmo fiksiranu ravan π i u njoj tačku O (pol). Neka je M proizvoljna tačka i M' projekcija tačke M na

GLAVA 5. NEBESKA SFERA

ravan Oxy . Obeležimo sa $r = |OM'|$ i $\rho = |OM|$, ρ – rastojanje tačke M od koordinatnog početka, θ – ugao koji r zaklapa sa Ox osom u pozitivnom smeru (smeru suprotnom od smeru kretanja kazaljke na satu) i φ – ugao između pozitivnog dela z -ose i ρ . Dakle, proizvoljna tačka M u ravni određena je polarnim koordinata (r, θ, φ) . Na slici 5.3 prikazan je polarni koordinatni sistem u prostoru.

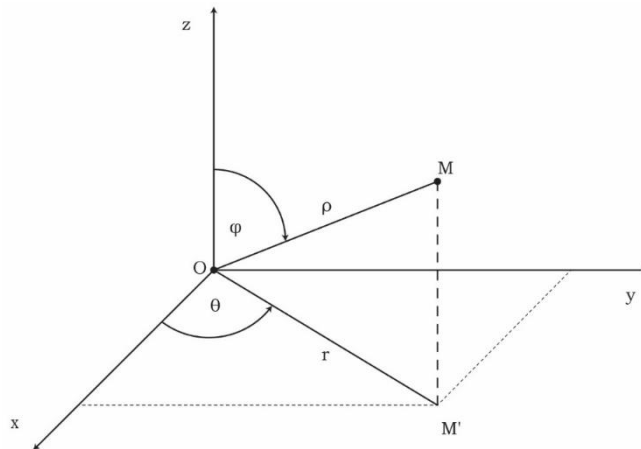
$$\begin{aligned}\rho &\geq 0, \\ \varphi &\in [0, \pi], \\ \theta &\in [0, 2\pi].\end{aligned}$$

Dekartove pravougule koordinate (x, y, z) iz polarnih koordinata (r, θ, φ) , računamo na sledeći način:

$$x = \rho \sin \varphi \cos \theta, \quad (5.5)$$

$$y = \rho \sin \varphi \sin \theta, \quad (5.6)$$

$$z = \rho \cos \varphi. \quad (5.7)$$



Slika 5.3. Polarni koordinatni sistem u prostoru

Polarne koordinate (r, θ, φ) , iz pravougljih koordinata (x, y, z) računamo na sledeći način:

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \quad (5.8)$$

$$\varphi = \arccos \left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \right), \quad (5.9)$$

$$\theta = \arctg \left(\frac{y}{x} \right). \quad (5.10)$$

Sferni koordinatni sistem u prostoru je generalizacija polarnog koordinatnog sistema u prostoru. U sfernom koordinatnom sistemu, položaj svake tačke jednoznačno se opisuje pomoću tri koordinate: intenzitet radijus vektora (udaljenost tačke od koordinatnog početka), zenit (ugao koji prava koja spaja tačku sa koordinatnim početkom zaklapa sa pozitivnim delom z-ose), i azimut (ugao koji prava koja spaja tačku sa koordinatnim početkom zaklapa sa pozitivnim delom x-ose).

5.3 Geografski koordinatni sistem

Geografski koordinatni sistem je sistem koji se koristi za određivanje tačne lokacije na Zemlji.

U geografskom koordinatnom sistemu definišemo dve koordinate, geografsku širinu i geografsku dužinu. Na slici 5.4 prikazan je geografski koordinatni sistem.

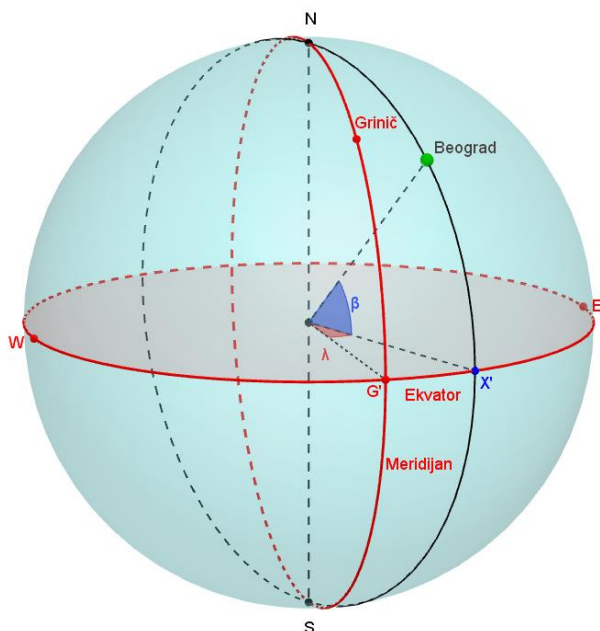
Geografska širina (β) je ugao između određene tačke na Zemlji i ekvatora¹⁰.

Meri se u stepenima severno ili južno od ekvatora i uzima vrednosti od 0° do $\pm 90^\circ$, pri čemu ekvator ima širinu 0° a polovi $\pm 90^\circ$. Geografska širina označava se slovom N (za severnu hemisferu) i S (za južnu hemisferu). Ekvator deli Zemlju na severnu i južnu poluloptu.

Geografska dužina (λ) predstavlja ugao između određene tačke na Zemlji i početnog meridijana koji prolazi kroz astronomsku opservatoriju u Greenwich u predgrađu Londona i ima dužinu 0° . Geografska dužina izražava se u stepenima od nultog meridijana istočno (E) do $+180^\circ$ i zapadno (W) do -180° . Grinički meridijan ili nulti meridijan deli Zemlju na istočnu i zapadnu poluloptu.

Kombinacija geografske širine i dužine definiše jedinstvenu tačku na površini Zemlje. Ovaj sistem omogućava precizno određivanje lokacija, navigaciju, mapiranje i razne druge geografske i prostorne analize. Promena geografskih koordinata u zavisnosti od položaja nekog tela na površini Zemlje možete pogledati na sledećem linku: <https://www.geogebra.org/m/jc9f2psc>.

¹⁰ Ekvator ili polutar je zamišljeni horizontalni krug podjednako udaljen od polova koji spaja istok i zapad.



Slika 5.4. Geografski koordinatni sistem

5.4 Horizontski koordinatni sistem

Horizontski koordinatni sistem koristimo da bismo opisali položaj nekog nebeskog tela koje posmatramo sa površine Zemlje. Osnovna ravan je ravan horizonta, osnovni pravac je pravac podnevačke linije a njoj upravni pravac je meridijan (vertikal). Tačke preseka vertikala i nebeske sfere su tačke Z (Zenit) i Z' (Nadir). U horizontskom koordinatnom sistemu položaj nebeskog tela definišemo pomoću uglova azimut i visina (ili zenitska daljina). [9] Na slici 5.5 prikazan je horizontski koordinatni sistem.

Visina (h) je ugao u ravni meridijana (ravan vertikala), od ravni pravog horizonta do vizure kroz nebesko telo, pri čemu ravan horizonta ima visinu 0° . Uzima vrednosti od 0° do 90° za tela koja se nalaze iznad horizonta i od 0° do -90° za tela koja se nalaze ispod horizonta. Umesto visine, često se koristi njen komplement, zenitska daljina. Zenitska daljina u ugao u ravni meridijan, od zenita do vizure. Uzima vrednosti od 0° do 180° , računamo ga po formuli $z = 90^\circ - h$.

GLAVA 5. NEBESKA SFERA

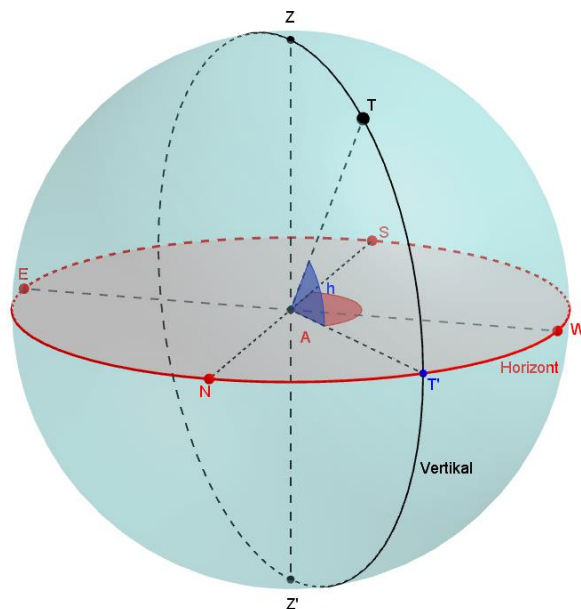
Azimut (A) je ugao u ravni pravog horizonta, od južne tačke do preseka vertikala koji prolazi kroz nebesko telo sa ravni horizonta. Uzima vrednosti od 0° do 360° i meri se u negativnom smeru odnosno retrogradnom smeru (smer kretanja kazaljke na satu).

Horizontske koordinate nekog nebeskog tela zavise od doba dana i mesta posmatrača. Horizontske koordinate menjaju se tokom dana zbog rotacije Zemlje što uzrokuje prividno kretanje nebeske sfere. Dakle, isto nebesko telo imaće različite koordinate u različitim vremenima tokom dana. Ova promena omogućava praćenje kretanja nebeskog tela u odnosu na posmatrača. Takođe, horizontske koordinate se razlikuju u koordinatnom početku. Koordinatni početak određuje se lokalno na osnovu položaja posmatrača pa se zbog toga ovaj sistem naziva i mesnim koordinatnim sistemom.

U severnoj tački (N) $A = 180^\circ$ a u južnu tačku (S) $A = 0^\circ$,

U istočnoj tački (E) $A = 270^\circ$ a u zapadnu tačku (W) $A = 90^\circ$.

Promena horizontskih koordinata u zavisnosti od položaja nekog nebeskog tela možete pogledati na sledećem linku: <https://www.geogebra.org/m/tkhuavpy>.



Slika 5.5. Horizontski koordinatni sistem

Glava VI

Sazvežđa

6.1 Zvezde

Zvezde su ogromna loptasta tela vrelog gasa, sastavljena uglavnom od vodonika, nešto malo helijuma i veoma malo ostalih elemenata. Najveći deo života, zvezda provede u stabilnom stanju plazme¹¹ koje emituju zračenje kao posledicu nuklearne fuzije vodonika u helijum. Pored stabilne faze u kojoj osnovni izvor energije nastaje termonuklearnim reakcijama, zvezda prolazi i kroz fazu nestabilnosti. U ovom periodu života zvezde, osnovni izvor energije je posledica gravitacionog sažimanja. Dakle, zvezde možemo definisati kao nebeska tela koja deo svog života provedu u stabilnoj fazi a deo u nestabilnoj fazi i završavaju svoj životni ciklus kao zvezde patuljici ili neutronske zvezde. Na slici 6.1 prikazan je životni ciklus zvezda.

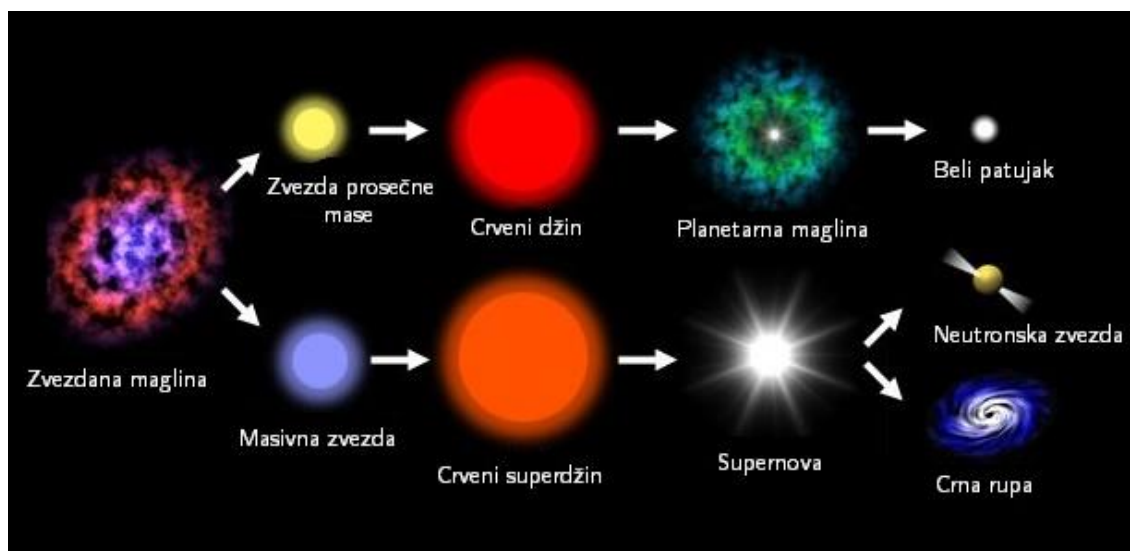
Otkrićem fuzije, polovinom XX veka, otkriveni su izvori energija zvezda. To su: gravitaciono sažimanje i termonuklearne reakcije.

Gravitaciono sažimanje veoma značajno u početnoj fazi formiranja zvezde. Prilikom sažimanja zvezde, odnosno, smanjenjem njenog radijusa, deo gravitaciono potencijalne energije prelazi u termičku energiju. Pri gravitacionom sažimanju povećava se gustina i temperatura zvezde sve dok se ne stvore odgovarajući uslovi za otpočinjanje termonuklearnih reakcija. Tada zvezda ulazi u stabilnu fazu koja traje sve dok se ne potroši vodonik. Nakon toga u nestabilnoj fazi nastupa opet gravitaciono sažimanje.

¹¹ Plazma je agregatno stanje materije koje čine slobodni elektroni, joni, atomi i molekuli.

GLAVA 6. SAZVEŽĐA

Termonuklearne reakcije nastaju kada zvezda dostigne temperature od oko 10^7 K i gustinu od oko 10^5 kg/m³. Četiri jezgra vodonika spajaju se u helijum a razlika u masi pretvara se u energiju.



Slika 6.1. Životni ciklus zvezde

Fizičke karakteristike zvezda su: masa, sjaj (luminoznost), temperatura i radijus.

Prema masi zvezde delimo na: zvezde male mase (zvezde čija je masa manja od 8 masi Sunca), srednje mase (zvezde čija je masa između 8 i 30 masi Sunca) i veoma masivne zvezde (zvezde mase veće od 30 masi Sunca).

Sjaj zvezde može biti prividni i apsolutni sjaj.

Prividni sjaj je sjaj zvezde vidljiv sa Zemlje i izražava se u prividnim zvezdanim veličinama (magnitudama) i obeležavamo ga malim slovom (m). Na prividni sjaj zvezde utiču sledeći faktori: količina energiju koju zvezda emituje u jedinici vremena, rastojanje i količina međuzvezdane materije od zvezde do posmatrača na Zemlji. Prvu podelu zvezda po prividnoj magnitudi osmislio je grčki astronom i matematičar Hiparh u II veku p. n. e. Zvezde manje magnitute su po ovoj klasifikaciji sjajnije zvezde a zvezde veće magnitute su zvezde manjeg sjaja. Za posmatrača sa Zemlje vidjive magnitute su od 1 do 6, tako da zvezde magnitute

1 predstavljaju najsjajnije zvezde a zvezde magnituda 6 najmanje sjajne zvezde. Mnogo kasnije, otkrićem teleskopa a samim tim i mnogih drugih zvezda, klasifikacija od 6 kategorija je proširena. Magnituda pojedinih nebeskih tela su: Sunce ($m = -26,8$), pun Mesec ($m = -12,6$), Venera ($m = -4,4$) i Sirijus ($m = -1,5$). Magnituda manja za 1 predstavlja 2,512 puta sjajniju zvezdu. Magnituda manja za 5 predstavlja 100 puta sjajniju zvezdu. Dakle, raspon magnituda od 1 do 6 odgovara odnosu sjaja $100 : 1$ a broj $\sqrt[5]{100} = 2,512$ nazivamo Pogsonov odnos.

Apsolutna magnituda je stvaran sjaj zvezde i obeležavamo ga velikim slovom (M). Apsolutna magnituda je zapravo prividna magnituda koju bi zvezda imala kada bi se nalazila na udaljenosti od 10 pc^{12} . Ako nam je poznata prividna magnituda (m) i rastojanje (r) u parsecima, apsolutnu magnitudu (M) računamo prema Pogsonovom zakonu na sledeći način:

$$M - m = 5 - 5 \log r, \quad (6.1)$$

Apsolutne magnituda za zvezde kreću se u opsegu od -10 (za najsjajnije zvezde) do $+15$ (za zvezde najslabijeg sjaja). Zvezde srednjeg sjaja u koje pripada i naše Sunce imaju magnitudu oko $+5$. Apsolutna magnituda i luminoznost zavise samo od zvezde.

Luminoznost je ukupna količina energije koju u jedinici vremena na jedinicu površine emituje zvezda. Luminoznost se najčešće izražava u vatima (W) ili u luminoznosti Sunca (L_{\odot}). Prema luminoznosti zvezde se svrstavaju u sedam klasa, počevši od klase jedan, to su redom: superdžinovi (imaju luminoznost od oko $10^5 L_{\odot}$), sjajni džinovi, džinovi, subdžinovi, zvezde glavnog niza, subpatuljci i beli patuljci (imaju luminoznost oko $10^{-5} L_{\odot}$)

Temperatura zvezde ima presudnu ulogu u izgledu spektra. Prva klasifikacija zvezda u spektralne klase bila je po jačini vodonikovih linija. Krajem XIX veka Eni Kenon (američki astronom), vrši izmene i spektralne klase raspoređuje u sledeći niz: O, B, A, F, G, K, M. Ovu podelu zvanično je usvojila Međunarodna astronomska unija 1922. godine. Najtoplije, plave zvezde su klase O, površinske

¹² Parsek je rastojanje sa kojeg se radijus Zemljine orbite (1AJ) vidi pod uglom od $1''$.

$1 \text{ pc} = 3,261563 \text{ sg} = 206264,806245 \text{ AJ}$

temperature od 30 000 K do 40 000 K. Plavičasto - bele zvezde pripadaju klasi B, površinske temperature od 12 000 K do 30 000 K (Rigel u Orionu i Spika u Devici). Klasi A pripadaju bele zvezde, površinske temperature od 7500 K do 12 000 K (Sirijus u sazvežđu Veliki pas). Bledo žute zvezde su klase F, površinske temperature od 6000 K do 7500 K (Kastor u Blizancima). Žute zvezde su klase G, površinske temperature od 5000 K do 6000 K (Sunce). Klasi K pripadaju narandžasto - žute zvezde, površinske temperature od 3500 K do 5000 K (Aldebaran u Biku). Crvene zvezde su klase M, površinske temperature manje od 3500 K (Betelgez u Orionu). Svega 1% zvezda nije se moglo svrstati u ovih 7 klasa. To su ekstremno tople zvezde klase W i ekstremno hladne zvezde klase L i T. Klasa L ($1300\text{ K} < T < 2000\text{ K}$) i klasa T ($T < 1300\text{ K}$) dodate su 1999. godine. U okviru ovih klasa postoje i potklase, definisane brojevima od 0 do 9. Toplije zvezde unutar klase imaju manji broj. Nama najbliža zvezda i najvažnije nebesko telo, pored same Zemlje, je Sunce. Svi nebeski objekti izlaze nam na istočnoj strani a zalaze na zapadnoj, što je posledica rotacije Zemlje, tako da u različitim trenucima posmatranja vidimo različite objekte. Danas se smatra da ima oko 10^{24} zvezda.

6.2 Pojam i podela sazvežđa

Još u dalekoj prošlosti, radi lakše orijentacije noću ljudi su povezivali grupe zvezda u sazvežđa. Sazvežđe čini grupa zvezda prividno bliskih jedna drugoj, koje zajedno obrazuju neki zamišljeni lik kada ih međusobno spojimo zamišljenim linijama.

IAU (International Astronomical Union) dala je zvaničnu definiciju sazvežđa. Sazvežđe je područje na nebu okruženo njegovom granicom.

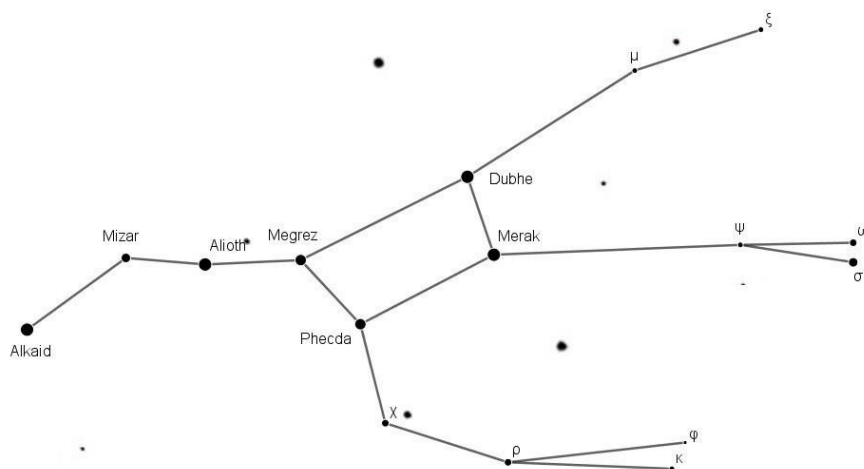
Veliki broj sazvežđa potiču još iz Mesopotamije i Stare Grčke, a imena su dobili iz grčke mitologije. Nama najpoznatija sazvežđa su Ursa Minor i Ursa Major. Zvezda Severnjača nalazi se u sazvežđu Ursa Minor. Danas je poznato 88 sazvežđa i ne postoji deo nebeske sfere koji ne pripada nekom sazvežđu. Podela sazvežđa može biti po godišnjim dobima kada se najbolje vide, i to su, prolećna, letnja, jesenja i zimska sazvežđa. Postoji i podela prema vremenu vidljivosti sa određene tačke posmatranja, i to su, cirkumpolarna i anticirkumpolarna sazvežđa. Cirkumpolarna su ona koja se vide uvek, ne zalaze ispod horizonta. Na našim geografskim širinama toj grupi sazvežđa pripadaju: Veliki medved, Mali medved, Kasiopeja, Cefej, Zmaj i Žirafa.

Anticirkumpolarna su nasuprot cirkumpolarnih, sazvežđa koja se nikad ne mogu videti sa određene tačke na zemlji. Najsjajnije zvezde u sazvežđu obeležavaju se malim slovima grčkog alfabeta, počevši redom tako da najsjajnija zvezda obično nosi prvo slovo alfabeta uz oznaku sazvežđa. Oznaka se piše skraćeno ili pun naziv sazvežđa u genitivu. Zvezde slabijeg sjaja latiničnim slovima, dok su najmanje sjajne zvezde obeležene brojevima uz oznaku kataloga u kome se nalaze koordinate zvezde. Ptolomejev katalog, Almagest iz II veka sadržao je 48 sazvežđa.

6.2.1 Cirkumpolarna sazvežđa

Veliki medved (Ursa Major), najveće sazvežđe na Severnom nebu i treće po veličini na nebu. Golim okom posmatrano, može se videti i do 150 zvezda ovog sazvežđa. Najsjajnija zvezda Velikog medveda je Alioth. To je 31. najsjajnija zvezda na nebu. Dubhe je druga najsjajnija zvezda i alfa zvezda sazvežđa. Ovaj deo neba sadrži dve meteorske kiše, magline i spiralne galaksije. Velika kola su deo sazvežđa Velikog medveda i čini ih sedam najuočljivijih zvezda: α Uma (Dubhe), β Uma (Merak), γ Uma (Fekda), Δ Uma (Megrez), ϵ Uma (Aliot), ζ Uma (Mizar), μ Uma (Alkaid).

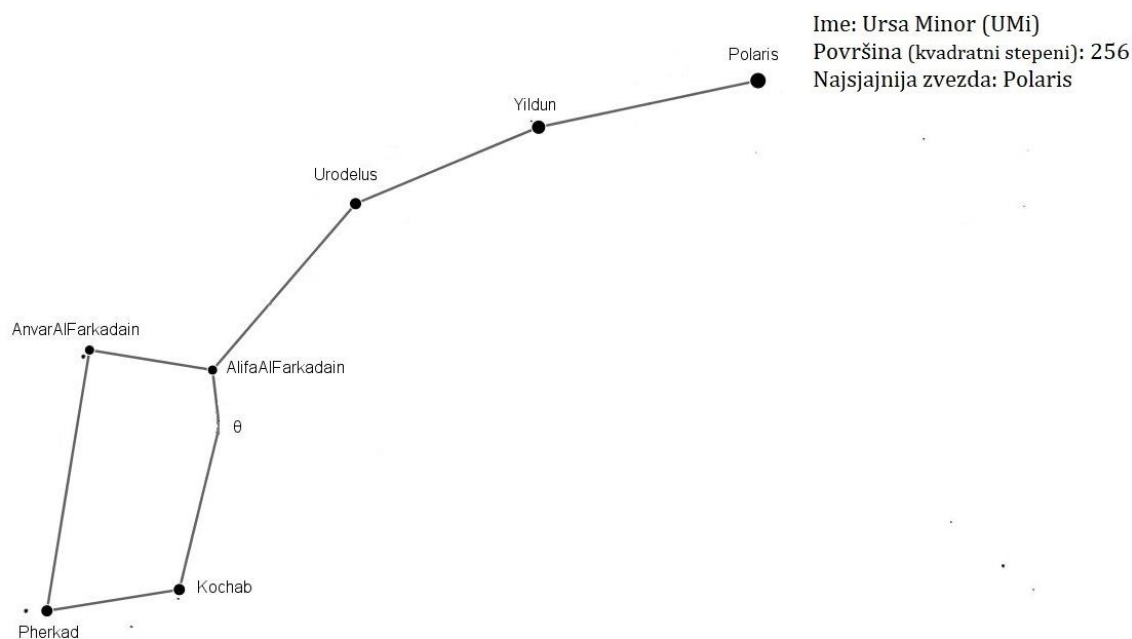
Ime: Ursa Major (UMa)
Površina (kvadratni stepeni): 1280
Najsjajnija zvezda: Alioth



Slika 6.2. Veliki medved

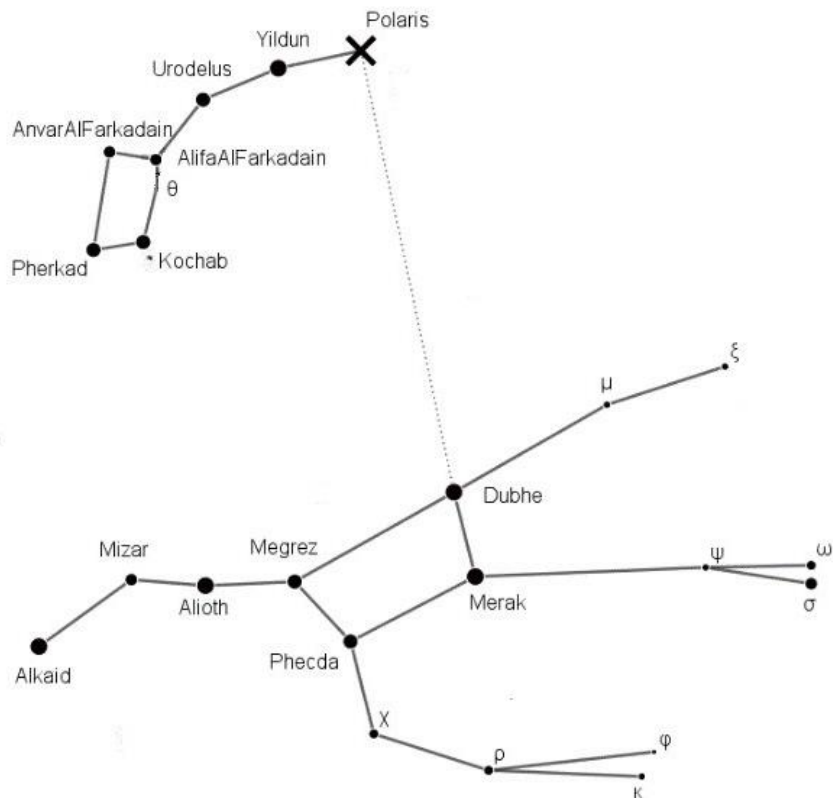
GLAVA 6. SAZVEŽĐA

Mali medved (Ursa Minor), je 56. sazvežđe po veličini na nebu. Nalazi se između sazvežđa Veliki medved i Kasiopeje. Ovaj deo neba sadrži jednu meteorsku kišu i eliptičnu galaksiju. Sastavljen je od većeg broja zvezda, od kojih ovde izdvajamo deo koji čine Mala kola. To su sedam zvezda: α Uma (Polaris), β Uma (Kochab), γ Uma (Pherkad), Δ Uma (Yildun), ϵ Uma (Urodelus), ζ Uma (Alifa Al Farkadain), μ Uma (Anvar Al Farkadain). Od toga, četiri zvezde: β , γ , ζ i μ čine telo kola a tri zvezde: α , Δ i ϵ čine rudu kola. Poslednja zvezda rude, najsjajnija i alfa zvezda u sazvežđu je Severnjača (Polaris). U neposrednoj blizini Severnjače u Malom medvedu se nalazi Severni nebeski pol. Na slici 6.3 prikazan je deo sazvežđe Mali medved koje nazivamo Mala kola. [\[10\]](#)



Slika 6.3. Mali kola

Ukoliko pri posmatranju neba iz nekog razloga ne možemo videti Mala kola, Severnjaču lako možemo naći tako što rastojanje između zvezda Merak i Dubhe (zvezda velikih kola) produžimo oko pet puta. Na slici 6.4 prikazano je kako pronaći Severnjaču.

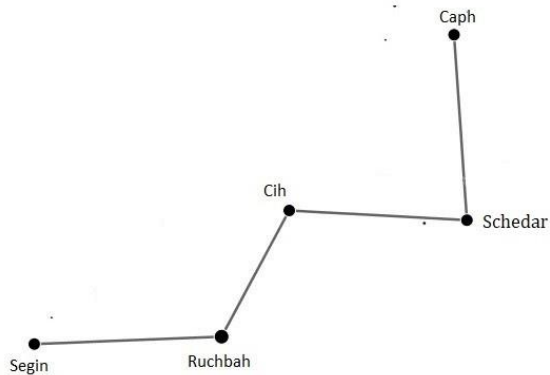


Slika 6.4. Severnjača

Kasiopeja (Cassiopeia), nalazi se simetrično sa Velikim kolima u odnosu na Severnjaču. To je 25. najveće sazvežđe na nebu. Kasiopeja sadrži osam zvezda od kojih pet zvezda obrazuju slovo M ili slovo W. To su: α Cas (Schedir), β Cas (Caph), γ Cas (Cih), Δ Cas (Ruchbah) i ϵ Cas (Segin). Najsjajnija zvezda i alfa zvezda je Schedir. U blizini Kasiopeje može se videti duplo jato zvezda kao i galaksija Andromeda. Sa ovim sazveždem povezana je i meteorska kiša Perseide. Na slici 6.5 prikazano je sazvežđe Kasiopeja a na slici 6.6 prikazano je sazvežđe Cefej.

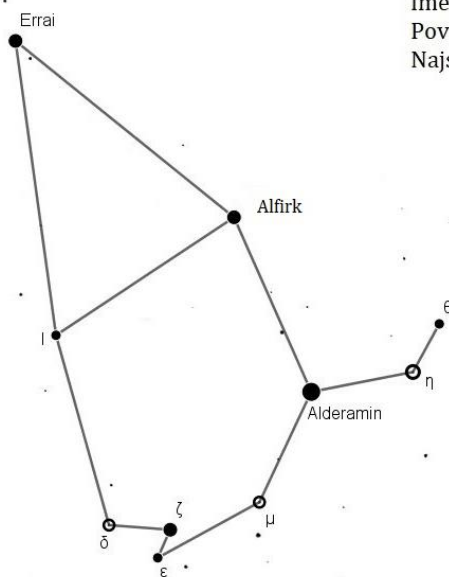
Cefej (Cepheus) se nalazi odmah uz sazvežđe Kasiopeja. To je 27. najveće sazvežđe na noćnom nebu. Čine ga pet zvezda: α Cep (Alderamin), β Cep (Alfirk), γ Cep (Errai), Δ Cep (pripada klasi promenljivih zvezda pa otuda i naziv Cefeide) i ϵ Cep, čineći tako petougao. Najsjajnija zvezda sazvežđa je Alderamin.

Ime: Cassiopeia (Cas)
Površina (kvadratni stepeni): 598
Najsajjnija zvezda: Schedar



Slika 6.5. Kasiopeja

Ime: Cepheus (Cep)
Površina (kvadratni stepeni): 588
Najsajjnija zvezda: Alderamin



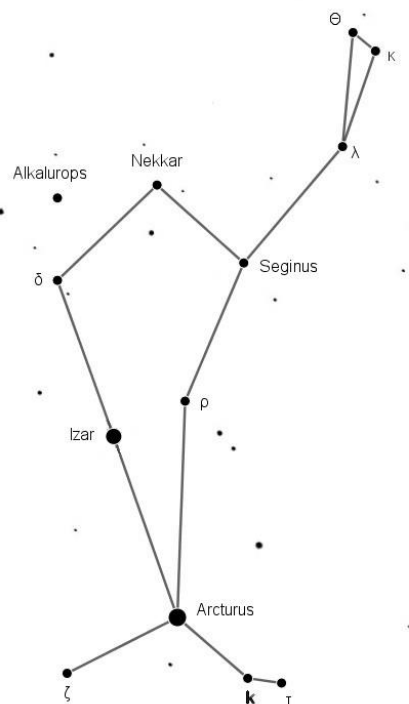
Slika 6.6. Cefej

6.2.2 Anticirkumpolarna sazvežđa

Deo neba koji se ne vidi iz naših krajeva.

6.2.3 Prolećna sazvežđa

Volar (Boötes) je 13. najveće sazvežđe na nebu. U ovom sazvežđu izdvajamo sledeće zvezde: α Boo (Arcturus), β Boo (Nekkar), γ Boo (Seginus), ϵ Boo (Izar), h Boo (Merga), η Boo (Muphrid), μ Boo (Alkalurops) i ψ Boo (Nadlat). Zvezda Arkturus, što znači čuvar medveda je najsjajnija zvezda severnog neba i četvrta najsjajnija zvezda na noćnom nebu. Od nas je udaljena 36 svetlosnih godina. Prečnika oko 20 miliona km, dakle, oko 29 puta veća od našeg Sunca. Ovo sazvežđe je lako pronaći na nebu jer ruda velikih kola, dela sazvežđa Veliki medved vodi do zvezde Arktur. Na slici 6.7 prikazano je sazvežđe Volar.

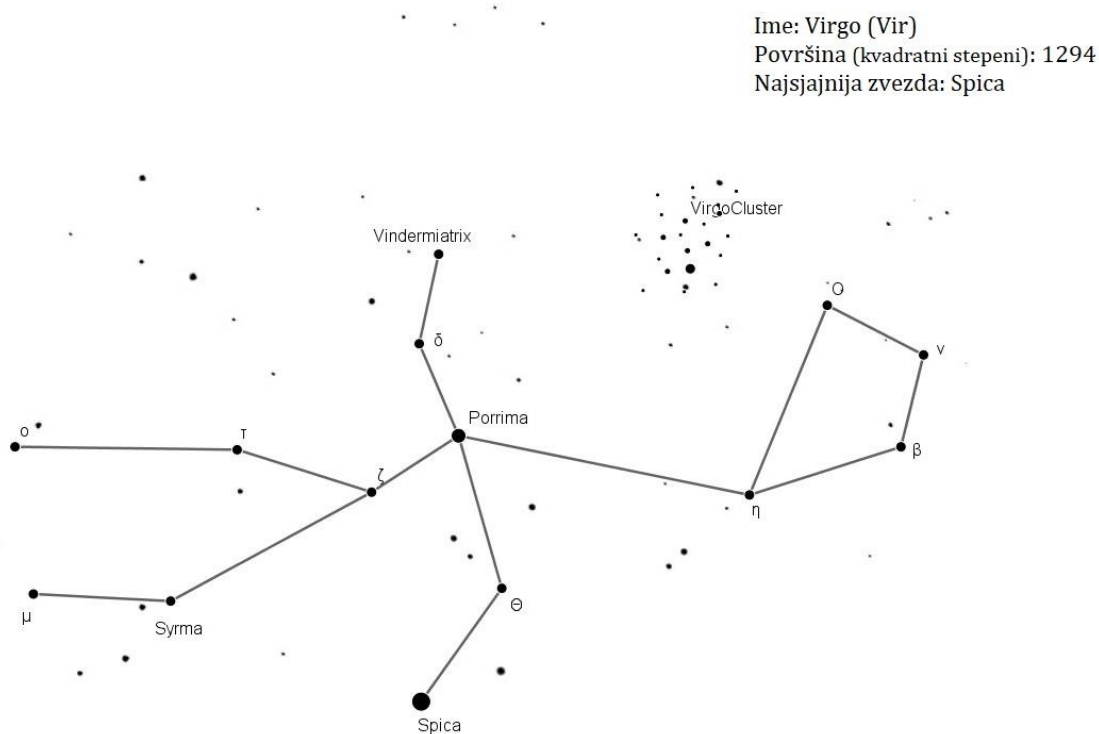


Ime: Boötes (Boo)
 Površina (kvadratni stepeni): 907
 Najsjajnija zvezda: Arcturus

Slika 6.7. Volar

GLAVA 6. SAZVEŽĐA

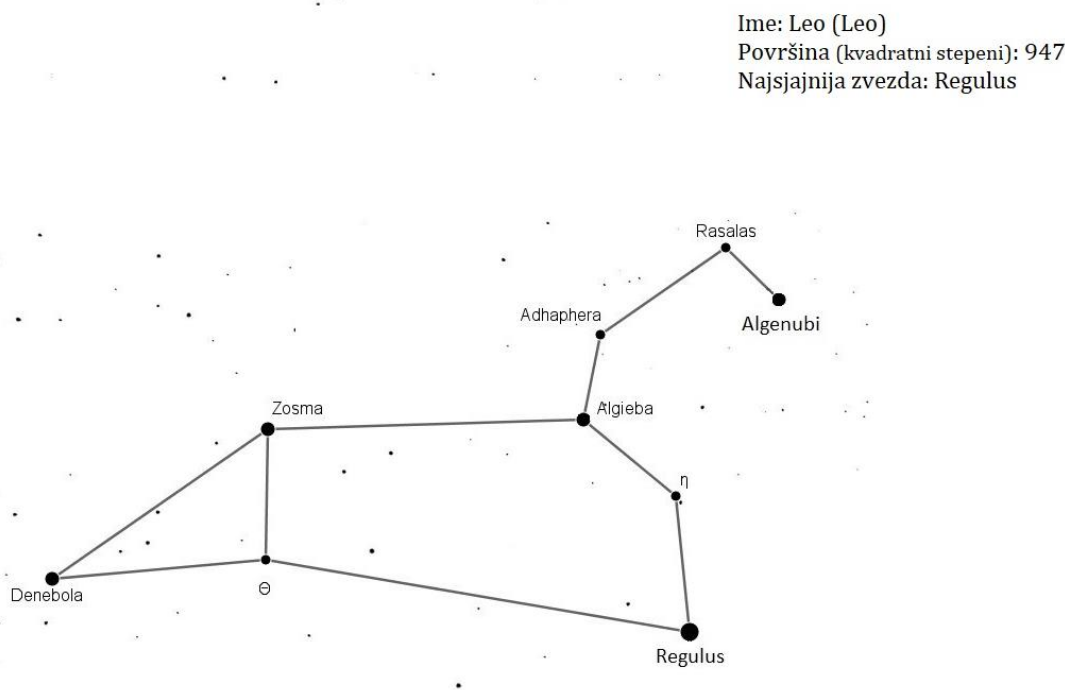
Devojka (Virgo), leži između Lava na zapadu i Vage na istoku, drugo je po veličini sazvežđe na nebu (posle Hidre). Čini ga 17 imenovanih zvezda od kojih izdvajamo: α Vir (Spica), β Vir (Zavijava), γ Vir (Porrima), δ Vir (Minelauva), ϵ Vir (Vindematrix), ζ Vir (Heze), η Vir (Zaniah), ι Vir (Syrma) i μ Vir (Rijl al awwa). Najsjajnija zvezda sazvežđa Devojka je Spica, šesnaesta rangirana najsjajnija zvezda na nebu. Ona je dvojni sistem (sistem koji se sastoji od dve zvezde od kojih jedna kruži oko druge). Porrima je druga najsjajnija zvezda i nju čini dvojni sistem. Devica je poznata po skupu galaksija poznatom kao jato Devica. Ovo lokalno jato sadrži preko 2000 pojedinačnih galaksija. Najuočljiviji od njih je M104, galaksija Sombrero. Ova spiralna galaksija ima središnji deo od tamne prašine koja joj daje izgled sombrero šešira. M49 je eliptična galaksija i najsvetlija galaksija u jatu Devica. M58 je lepa spiralna galaksija sa rešetkama i jedna od svetlijih galaksija u jatu Devica. M61 je spiralna galaksija i jedna je od najvećih galaksija u ovom jatu. Devica sadrži tačku jesenje ravnodnevnicke koja se nalazi blizu zvezde β Vir. Na slici 6.8 prikazano je sazvežđe Devica.



Slika 6.8. Devica

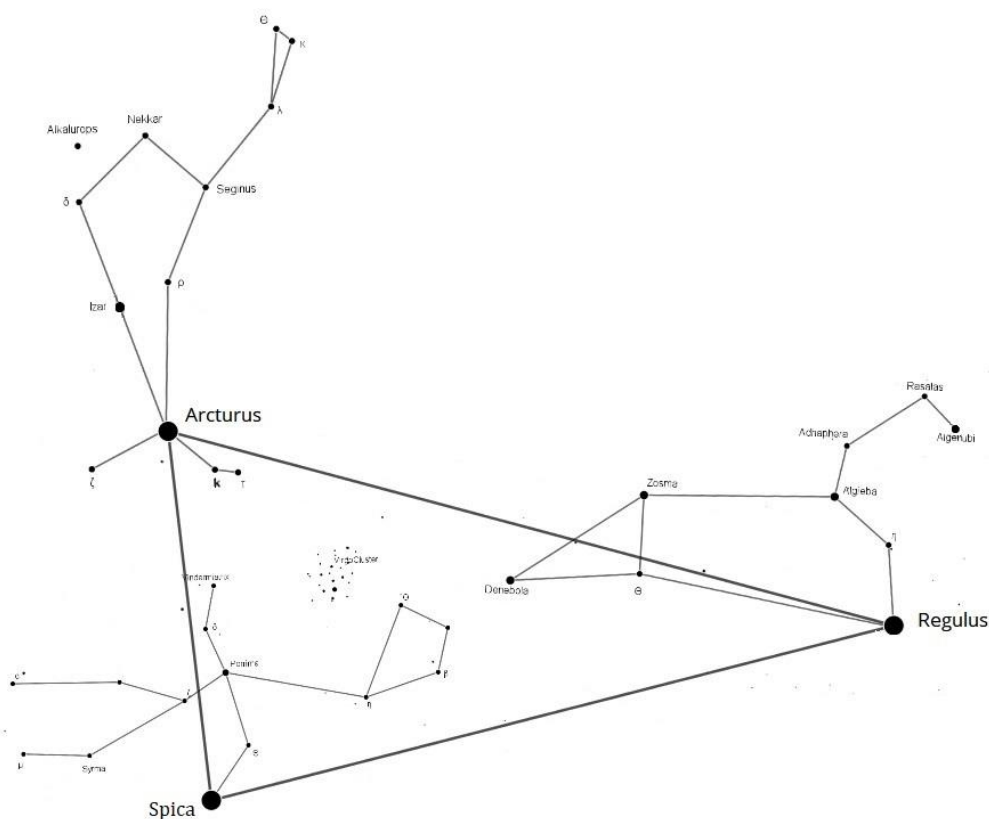
GLAVA 6. SAZVEŽĐA

Lav (Leo) je jedno od najstarijih sazvežđa i 12. najveće sazvežđe na nebu. Sastoji se iz 14 imenovanih zvezda koje predstavljaju lava, od toga 6 sjajnih zvezda predstavlja glavu lava. Najsjajnije zvezde ovog sazvežđa su: α Leo (Regulus), β Leo (Denebola), γ Leo (Algieba), Δ Leo (Zosma), ϵ Leo (Ras Elased Australis) i θ Leo (Chertan). Regulus, na latinskom mladi kralj ili princ, je najsjajnija zvezda ovog sazvežđa i 21. rangirana najsjajnija zvezda neba. Od nas udaljena oko 77 svetlosnih godina. Regulus čini trojni sistem veoma blizu ekliptike. Denebola je druga po sjaju u Lavu. Jedanaest zvezda ovog sazvežđa imaju planete. Lav sadrži nekoliko galaksija. Spiralna galaksija M65 čini trio sa galaksijama M66 i NGC 3623 (NGC – katalog nove generacije). U blizini ovog skupa galaksija nalazi se još jedan skup od deset galaksija manjeg sjaja. To su galaksije M95, M96 i M105. Meteorska kiša Leonidi, povezana je sa ovim sazvežđem. Na slici 6.9 prikazano je sazvežđe Lav.



Slika 6.9. Lav

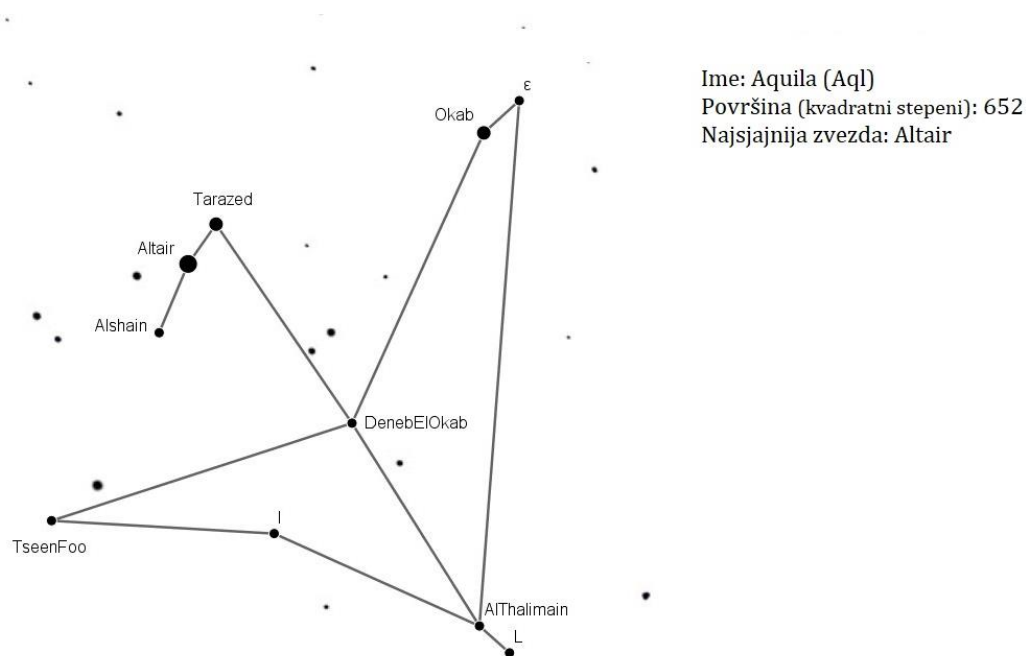
Prolećni trougao čine najsjajnije zvezde: α Boo (Arktur), α Vir (Spika) i α Leo (Regulus), sledeća tri sazvežđa: volar, devojka i lav. Na slici 6.10 prikazan je prolećni trougao.



Slika 6.10. Prolećni trougao

6.2.4 Letnja sazvežđa

Orao (Aquila) je sazvežđe severnog neba i 22. po veličini sazvežđe na nebu. Čine ga 143 uočljive zvezde. Od toga izdvajamo osam imenovanih zvezda: α Aql (Altair), γ Aql (Tarazed), ϵ Aql (Okab), θ Aql (Tseen Foo), ζ Aql (Deneb El Okab), λ Aql (Al Thalimain), β Aql (Alshain) i η Aql (Bezek). Najsjajnija zvezda sazvežđa je Altair, jedna od nama najbližih zvezda, oko 17 svetlosnih godina udaljena od nas. Altair je 12. rangirana zvezda po sjaju na nebu. Sazvežđe Orao ima 9 zvezda sa planetama. Tarazed, druga po sjaju zvezda sazvežđa, prečnika 110 prečnika Sunca. Zvezda je stara svega 100 miliona godina i već u svom jezgru sagoreva helijum u karbon. U sazvežđu Orao nalazi se nekoliko planetarnih maglina, otvorena jata i dve meteorske kiše. Na slici 6.11 prikazano je sazvežđe Orao.

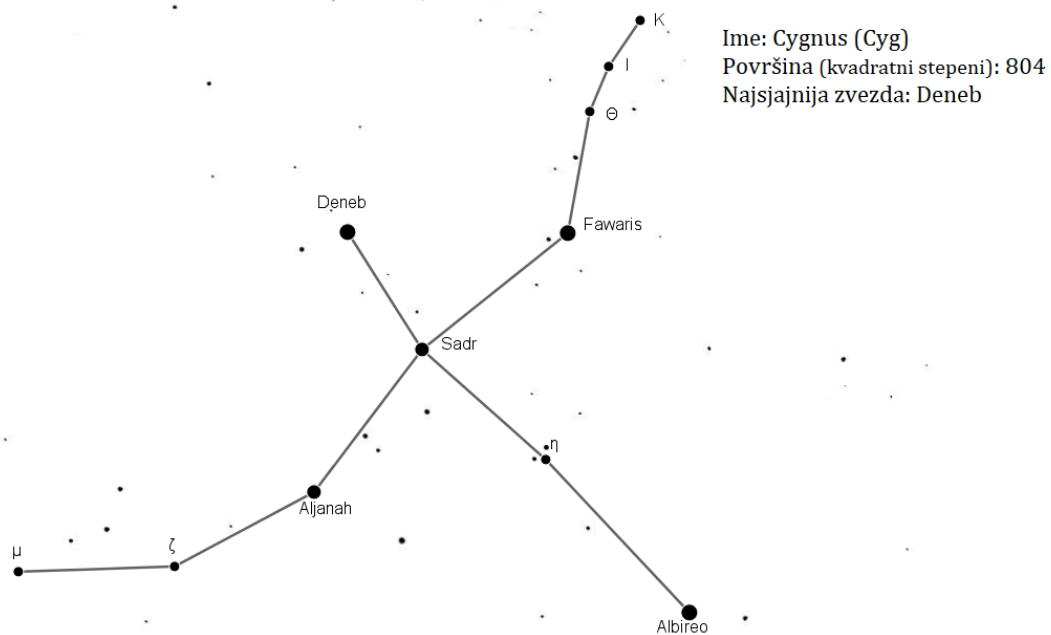


Slika 6.11. Orao

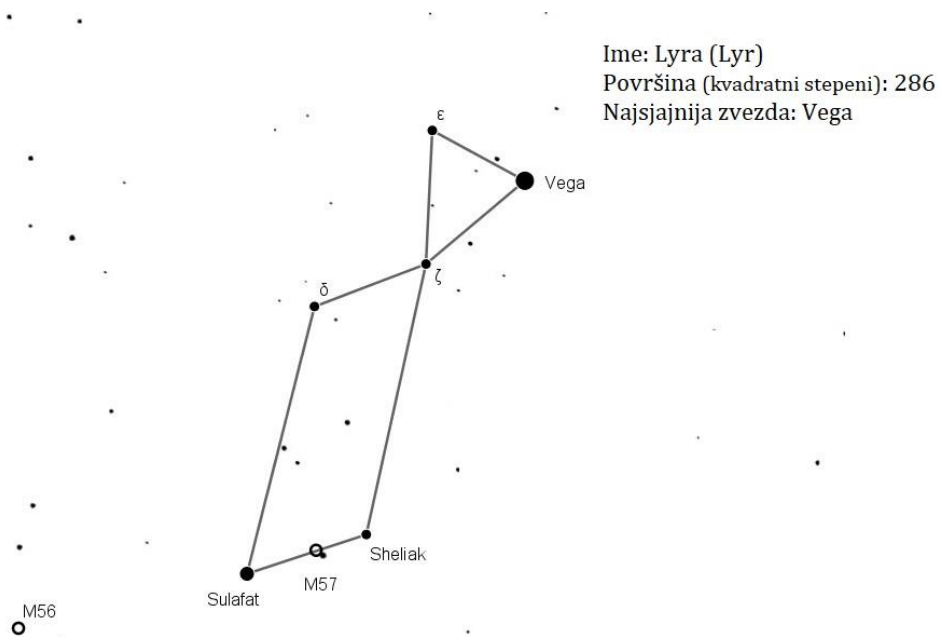
Labud (Cygnus) je 16. po veličini sazvežđe na nebu. Čine ga veliki broj zvezda. Od toga pet najsajjnijih su: α Cyg (Deneb), γ Cyg (Sadr), ϵ Cyg (Aljanah), δ Cyg (Fawaris) i β Cyg (Albireo), postavljenih u obliku krsta, odnosno labuda raširenih krila u let. Najsajjnija zvezda Labuda i 19. najsajjnija zvezda na nebu je Deneb. Nalazi se na oko 1400 svetlosnih godina od nas. Sazvežđe sadrži nekoliko poznatih maglina. Na slici 6.12 prikazano je sazvežđe Labud.

Lira (Lyra), je manje sazvežđe severnog neba, 52. po veličini na nebu. Četiri najsajjnije zvezda su: α Lyr (Vega), γ Lyr (Sulafat), β Lyr (Sheliak) i η Lyr (Aladfar). Najsajjnija zvezda sazvežđa je Vega, peta po sjaju zvezda na nebu i drugu po sjaju na severnoj hemisferi. To je prva fotografisana zvezda posle Sunca. Slika je nastala 1850. godine na opservatoriji na Harvardu. Vega će zbog kretanja Zemlje za nekoliko hiljada godina biti na mestu današnje Severnjače. U ovom sazvežđu možemo uočiti zvezdano jato M56, planetarnu maglinu M57 (maglina Prsten), galaksiju NGC 6745 i NGC 6791 otvoreno jato. Jato NCG 6791 je staro oko 8 milijardi godina. Na slici 6.13 prikazano je sazvežđe Lira.

GLAVA 6. SAZVEŽĐA



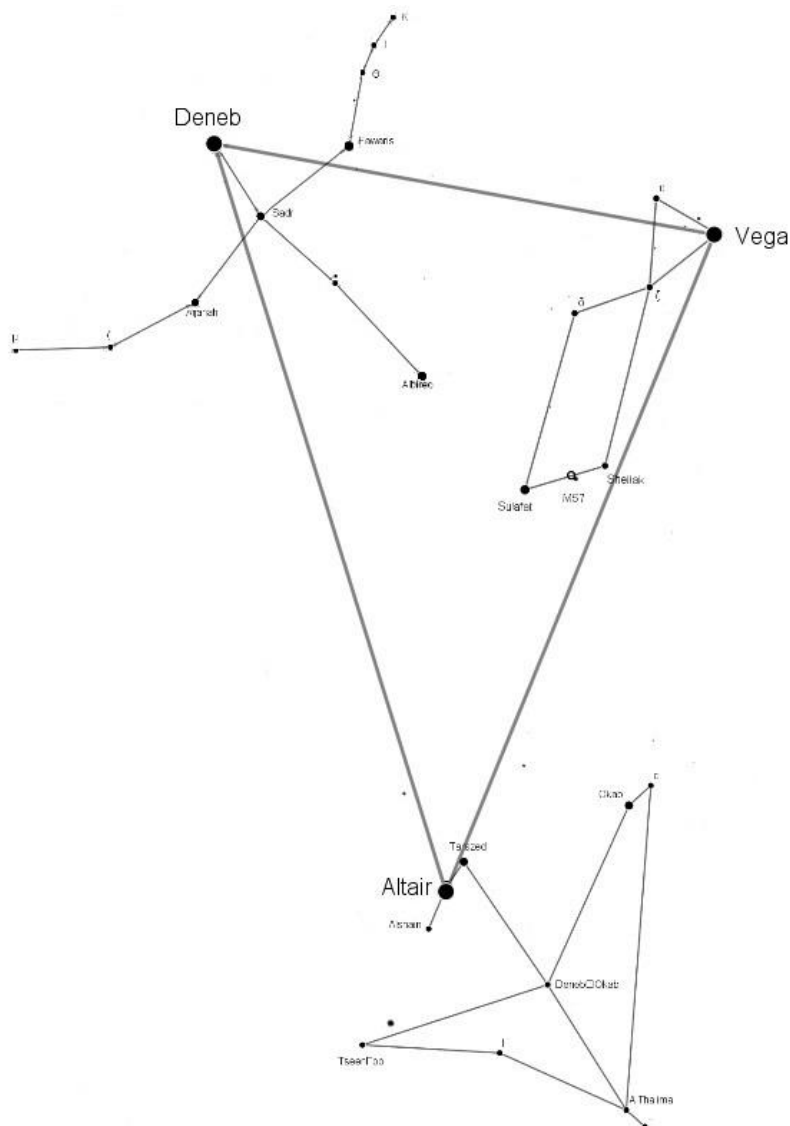
Slika 6.12. Labud



Slika 6.13. Lira

GLAVA 6. SAZVEŽĐA

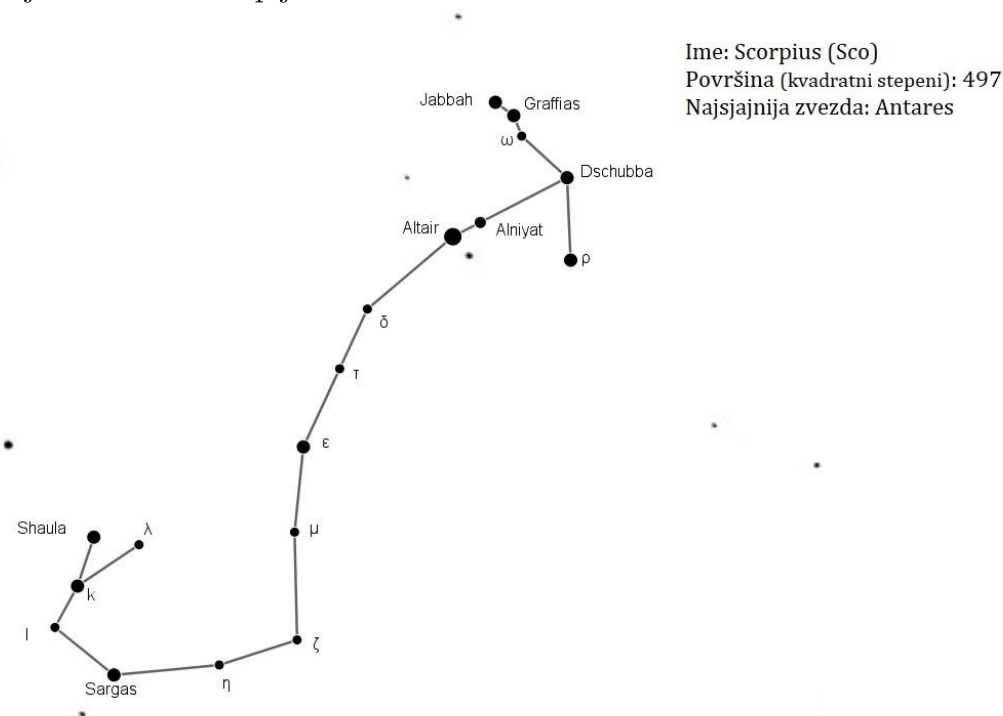
Letnji trougao čine najsjajnije zvezde: α Aql (Altair), α Cyg (Deneb) i α Lyr (Vega), sledeća tri sazvežđa: orao, labud i lira. Na slici 6.14 prikazan je letnji trougao.



Slika 6.14. Letnji trougao

Škorpija (Scorpius) je jedno od najstarijih poznatih sazvežđa. Nalazi se blizu sredine Mlečnog puta, između Vage i Strelca. Škorpiju čini mnogo sjajnih zvezda a neke od njih su: α Sco (Antares), β Sco (Graffias), λ Sco (Shaula), δ Sco (Dschubba), θ Sco (Sargas), ν Sco (Jabbah), π Sco (Fang), σ Sco (Alniyat) i

τ Sco (Paikauhale). Altaires je 16. najsjajnija zvezda na nebu. Sazvežđe Škorpija sadrži globularno jato M4, otvoreno jato ili Leptir jato M6, i druga. Na slici 6.15 prikazano je sazvežđe Škorpija.



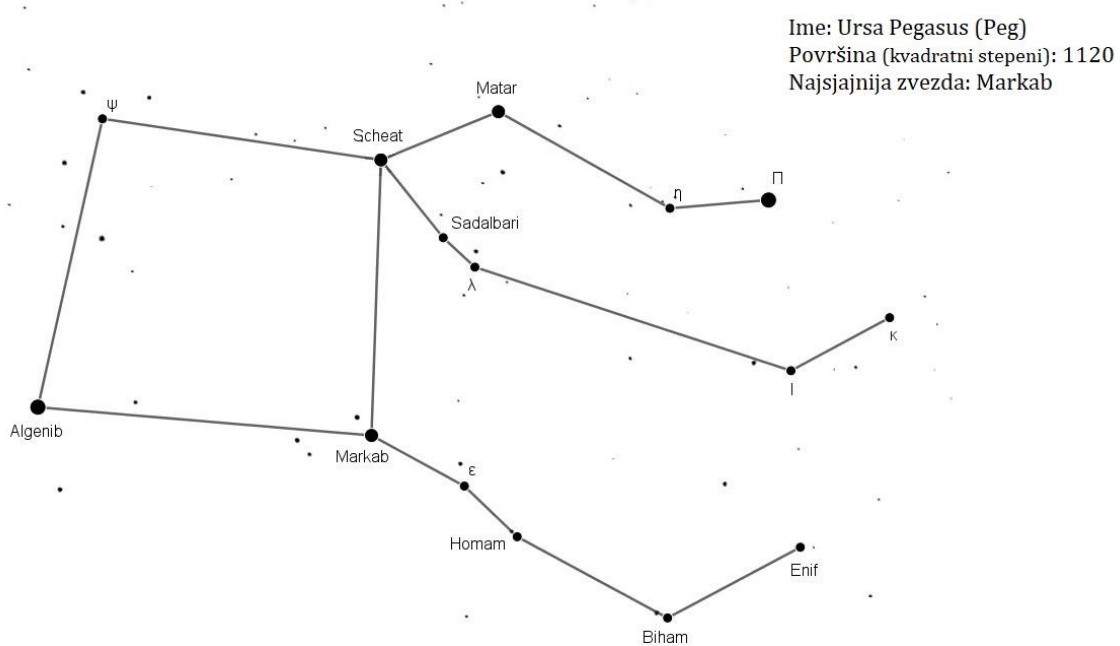
Slika 6.15. Škorpija

5.2.5 Jesenja sazvežđa

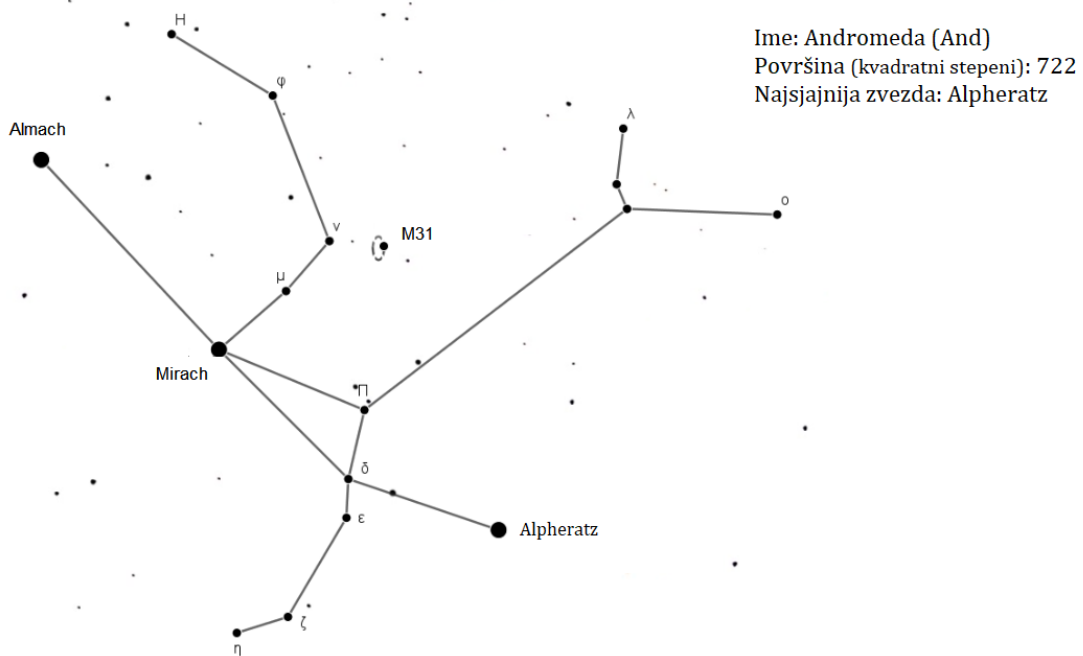
Pegaz (Pegasus) je 17. najveće sazvežđe na nebu. Čine ga 15 imenovanih zvezda a najsjajnija zvezda je superdžin ϵ Peg (Enif). Druga po sjaju u sazvežđu je β Peg (Scheat). Zvezda treća po sjaju sazvežđa Pegaz je α Peg (Markab). U Pegazu se nalazi i globularno jato M15, spiralne galaksije NGC 7319, NGC 7320 i drugi.

Andromeda (Andromeda) je 19. najveće sazvežđe na nebu. Ima devet imenovanih zvezda a najpoznatije su: α And (Alpheratz), zvezda koja se nekada računala kao deo Pegaza, β And (Mirach) je crveni džin, čija je boja vidljiva golim okom i γ And (Almach). U sazvežđu možemo uočiti galaksija M31 (Andromeda), M32 i M110, kao i meteorsku kišu. Na slici 6.16 prikazano je sazvežđe Pegaz a na slici 6.17 sazvežđe Andromeda.

GLAVA 6. SAZVEŽĐA



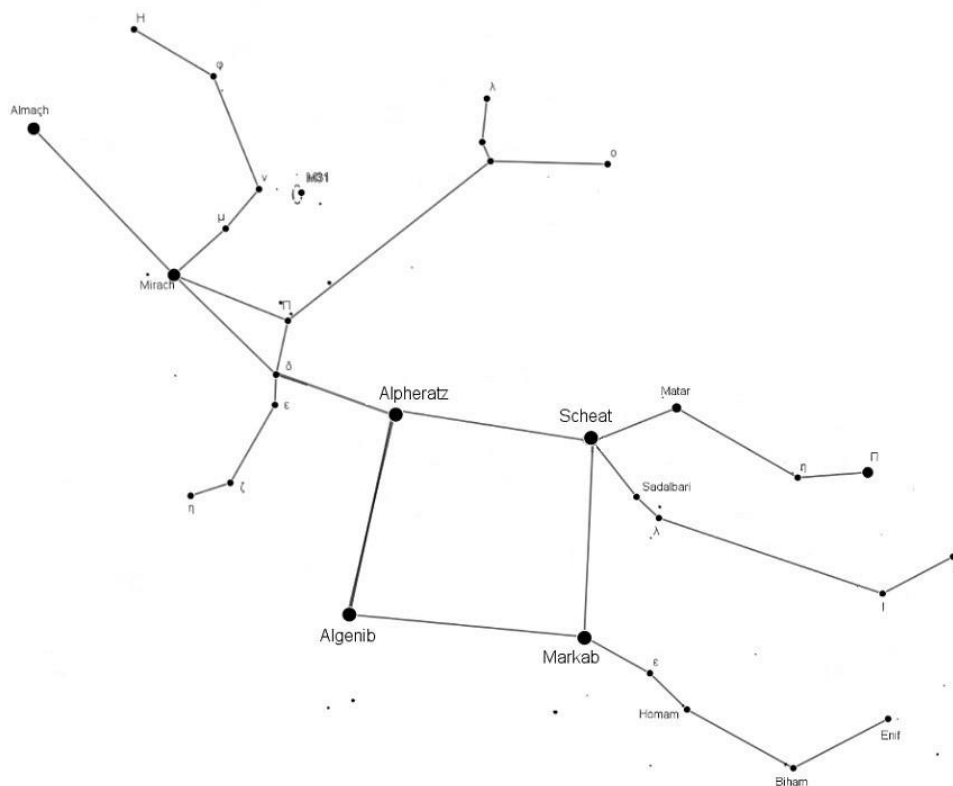
Slika 6.16. Pegaz



Slika 6.17. Andromeda

GLAVA 6. SAZVEŽĐA

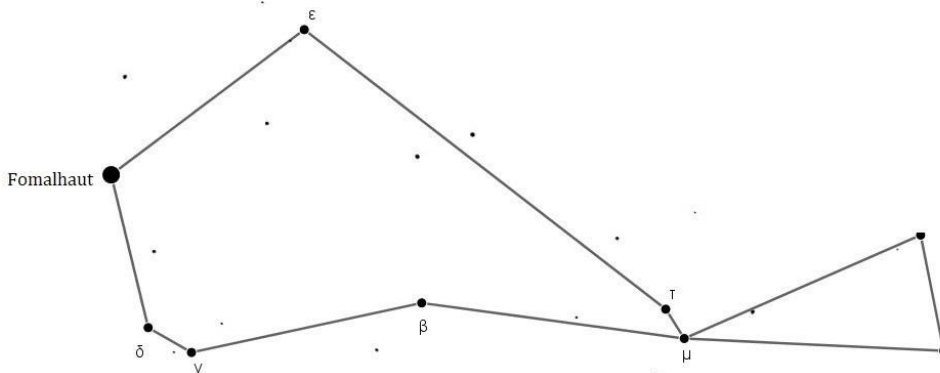
Jesenji četvorougao čine najsjajnije zvezde iz sazvežđa Pegaz i jedna zvezda sazvežđa Andromeda: α Peg (Markab), β Peg (Scheat), γ Peg (Algenib) i α And (Alpheratz). Ovaj četvorougao predstavlja telo Pegaza. Na slici 6.18 prikazan je jesenji četvorougao.



Slika 6.18. Jesenji četvorougao

Južna riba (Piscis Austrinus) je po veličini 60. sazvežđe na nebu i prvo sazvežđe u katalogu zvezda Ptolomeja iz II veka. Sazvežđe čine dve imenove zvezde. Najsjajnija zvezda je α Piscis (Formalhaut), ona je ujedno i 18. najsjajnija zvezda na nebu. U sazvežđu vidljiva je i grupa galaksija HCG 90 (Hickson Compact Group), eliptična galaksija NCG 7173 i NCG 7176 i spiralne galaksije NGC 7174, NGC 7172 i NGC 7314. Na slici 6.19 prikazano je sazvežđe Riba.

Ime: Pisci Austrinus (PsA)
 Površina (kvadratni stepeni): 245
 Najsjajnija zvezda: Fomalhaut

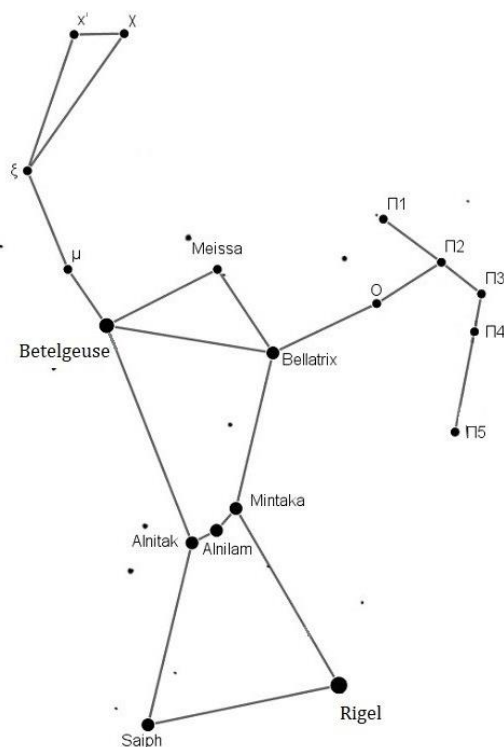


Slika 6.19. Riba

5.2.6 Zimska sazvežđa

Zimsku grupu sazvežđa čine Orion, Bik, Kočijaš, Blizanac, Veliki i Mali pas.

Orion (Orion), poznato još kao sazvežđe Lovac je za mnoge najlepše sazvežđe našeg neba. Orion čine deset imenovanih zvezda od kojih izdvajamo sedam. Desno Orionovo rame je zvezda α Ori (Betelgeuse) a levo rame γ Ori (Bellatrix). Orionov pojas čine tri zvezde: Δ Ori (Mintaka), ϵ Ori (Alnilam), ζ Ori (Alnitak). Desno i levo koleno predstavljaju zvezde, κ Ori (Saiph) i β Ori (Rigel). Najsjajnija zvezda sazvežđa i sedma najsjajnija zvezda na nebu je Rigel. Rigel je zapravo sistem od tri zvezde. Druga najsjajnija zvezda Orionu i osma po sjaju na nebu je superdžin Betelgez. Južno od Orionovog pojasa vide se tri bledunjave zvezde koje čine mač. Na mestu mača nalazi se maglina M42, koja se sa maglinom M43 spaja i čini jednu veoma svetlu maglinu. Zbog velikog sadržaja gasa i prašine, ova maglina je veliko porodilište zvezda. U Orionovom pojasu nalazi se i jedna tamna maglina, prečnika oko 3,5 svetlosnih godina i udaljena od Zemlje oko 1500 svetlosnih godina. To je maglina NCG 2024 a zbog svog oblika dobila je naziv konjska glava. U sazvežđu Orion izdvajamo otvoreno jato, prepoznatljivo po četiri zvezde koje formiraju trapez, kao i dve meteorske kiše. Na slici 6.20 prikazano je sazvežđe Orion.



Ime: Orion (Ori)
 Površina (kvadratni stepeni): 594
 Najsjajnija zvezda: Betelgeuse

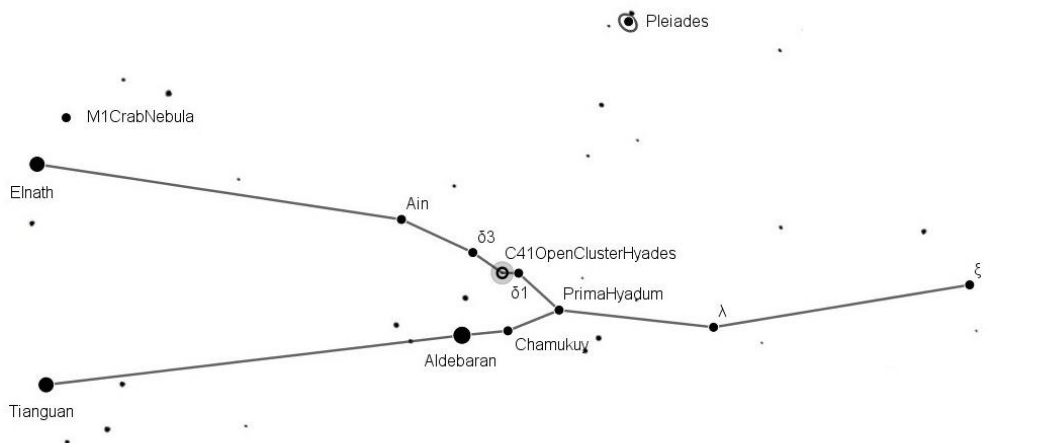
Slika 6.20. Orion

Bik (Taurus) je sazvežđe u produžetku pojasa Orion, ka gore. Čine ga 17 imenovanih zvezda, od kojih šest uočljivih zvezda. To su: α Tau (Aldebaran), β Tau (Elnath), γ Tau (Hyadum), ϵ Tau (Ain), ξ Tau (Ushakaron) i ζ Tau (Electra). Najsjajnija je zvezda Aldebaran (α Tauri) koja se prividno nalazi u rasejanom jatu zvezda Hijade, ali nije deo ovog jata. Nešto dalje nalazi se zbijeno jato Plejade sa nekoliko zvezda vidljivih golim okom. Ovo zvezdano jato udaljeno je oko 450 svetlosnih godina od nas. Na slici 6.21 prikazano je sazvežđe Bik.

Kočijaš (Auriga) je 21. rangirano po veličini sazvežđe. Čine ga 10 imenovanih zvezda. Izdvajamo: α Aur (Cappela), β Aur (Menkalinan), θ Aur (Mahasim), ϵ Aur (Almaaz), η Tau (Haedus), ζ Aur (Saclateni) i δ Aur (Priipati). Kapela je najsjajnija zvezda ovog sazvežđa i šesta najsjajnija zvezda neba. Od nas je udaljena oko 42 svetlosne godine. Sazvežđe sadrži otvorena jata zvezda M36, M37 i M38 i dve meteorske kiše. Na slici 6.22 prikazano je sazvežđe Kočijaš.

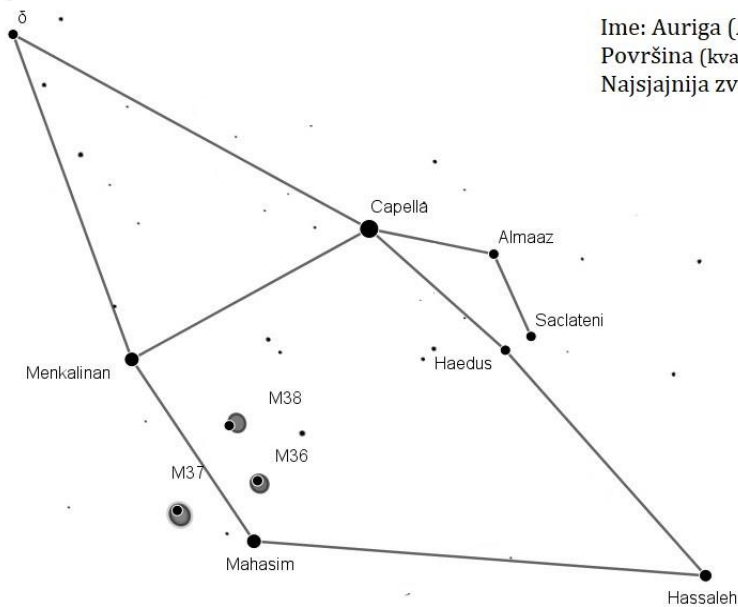
GLAVA 6. SAZVEŽĐA

Ime: Taurus (Tau)
Površina (kvadratni stepeni): 797
Najsajnija zvezda: Aldebaran



Slika 6.21. Bik

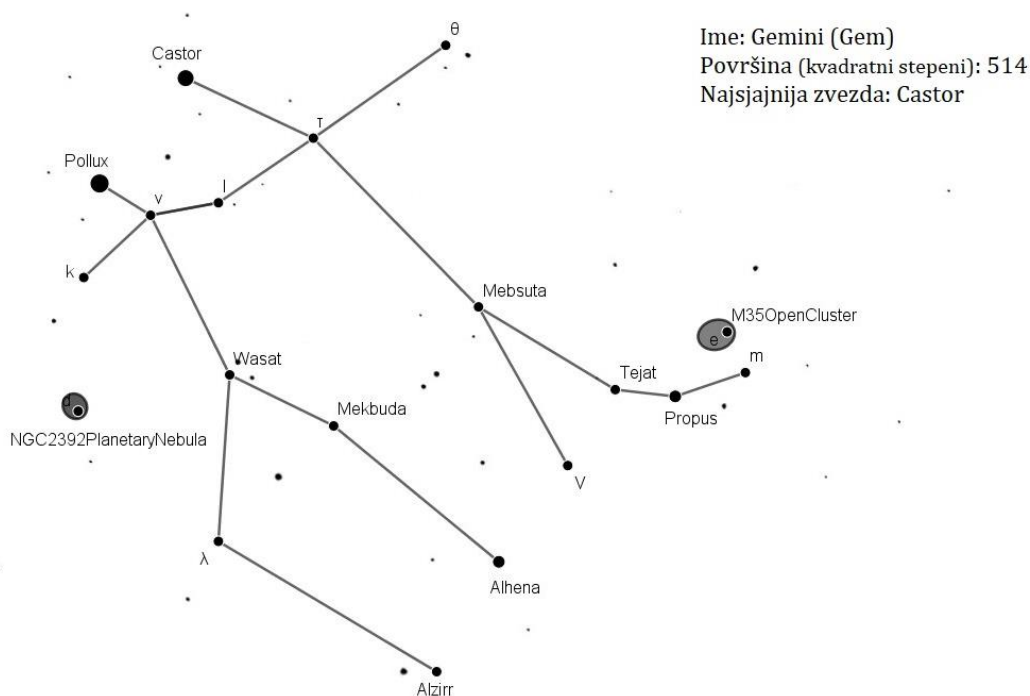
Ime: Auriga (Aur)
Površina (kvadratni stepeni): 657
Najsajnija zvezda: Capella



Slika 6.22. Kočijaš

GLAVA 6. SAZVEŽĐA

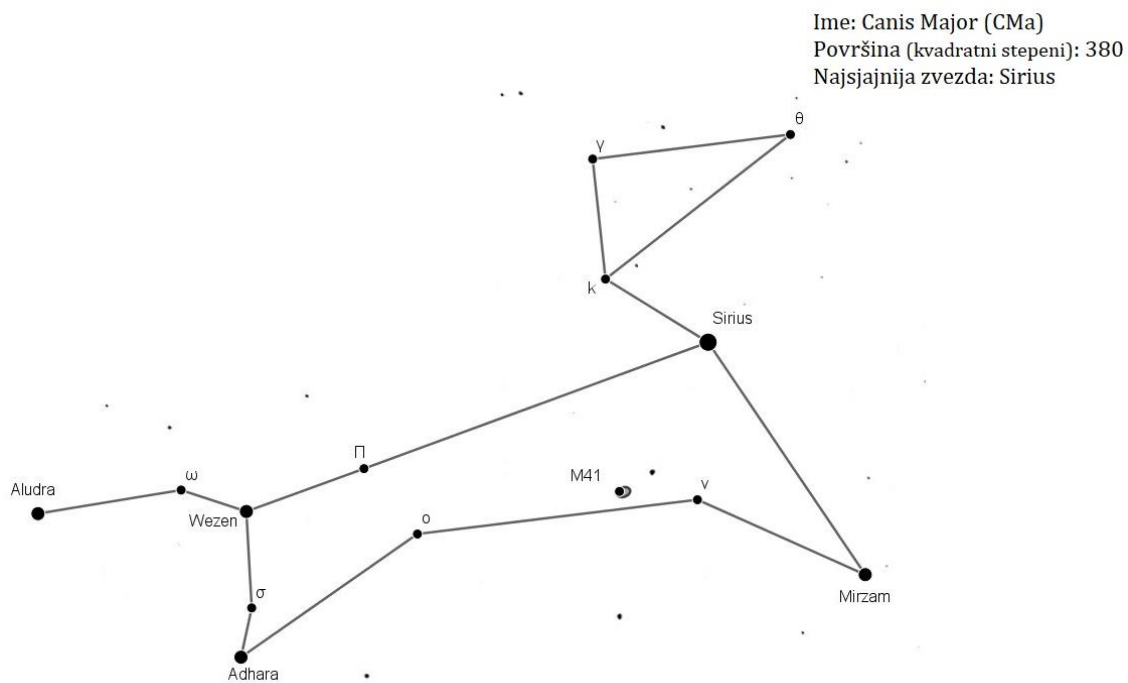
Blizanac (Gemini) je 30. rangirano po veličini sazvežđe na nebu. Nalazi se iznad Orionove desne ruke i sadrži 10 imenovanih zvezda. Neke od njih su: α Gem (Castor), β Gem (Pollux), γ Gem (Alhena), δ Gem (Wasat), ϵ Gem (Mebstuta), ζ Gem (Mekbuda) i η Gem (Propus). Poluks je najsjajnija zvezda ovog sazvežđa i 17. najsjajnija zvezda neba. Do nje je nešto slabijeg sjaja zvezda Kastor. Sazvežđe čini oko 90 zvezda vidljivih golim okom. Tu su i zvezdana jata M35, Meduza jato i druga. Na slici 6.23 prikazano je sazvežđe Blizanac.



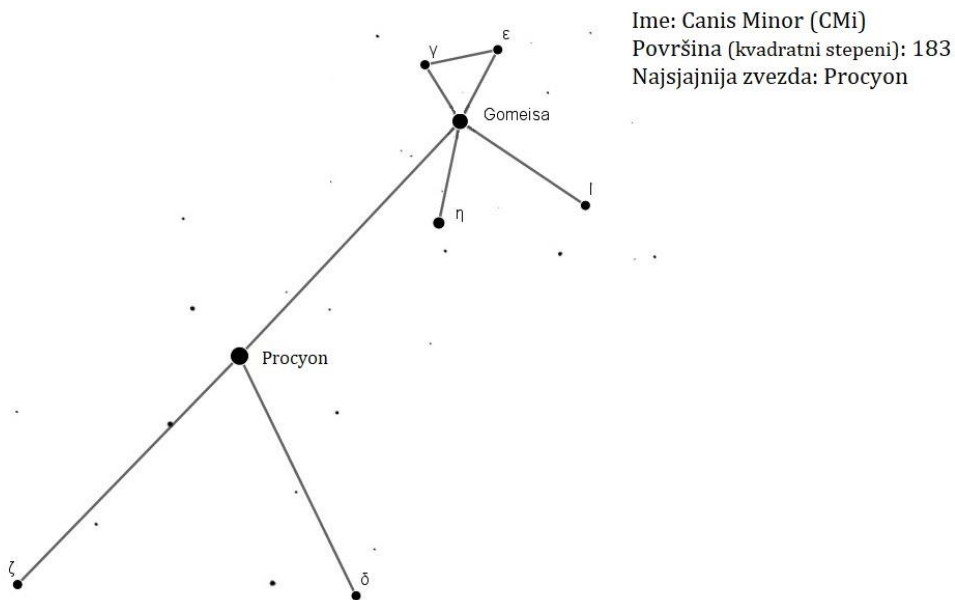
Slika 6.23. Blizanac

Veliki pas (Canis Major) je sazvežđe u produžetku pojasa Oriona ka dole. Čine ga deset imenovanih zvezda. Najsjajnija zvezda sazvežđa i najsjajnija zvezda na nebu je Sirijus. Kažemo najsjajnija, jer je jedna od nama najbližih. Udanjena je oko devet svetlosnih godina. To je dvojna zvezda, beli patuljak. Pored najsjajnije zvezde, među sjajnijima izdvajamo i Wezen, Alhara, Mirzam, i Aludra. Na slici 6.24 prikazano je sazvežđe Veliki pas a na slici 6.25 sazvežđe Mali pas.

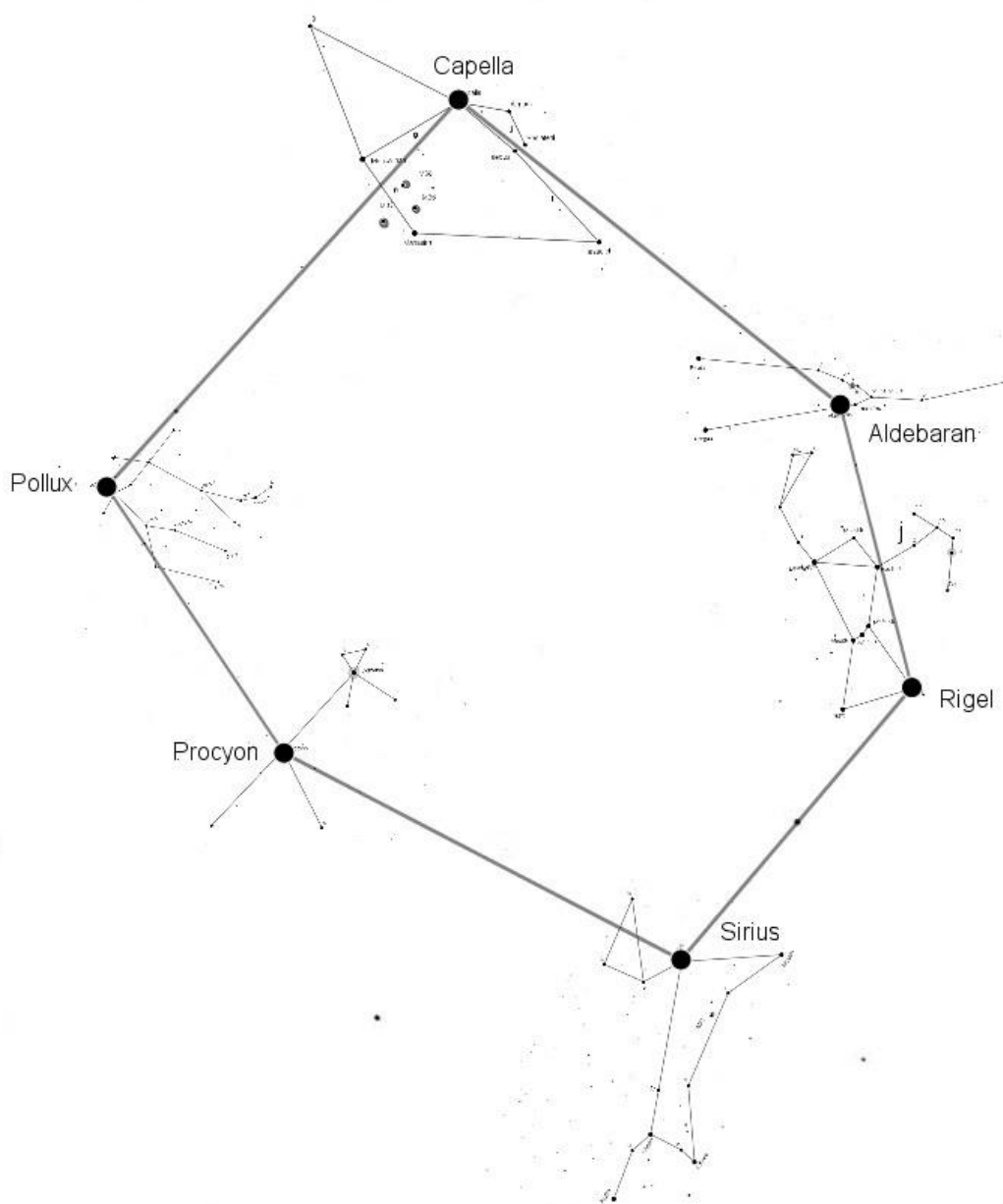
Mali pas (Canis Minor), severoistočno od velikog psa. Procyon, najsjajnija zvezda ovog sazvežđa. Mali pas je 71. po veličini sazvežđe na nebu.



Slika 6.24. Veliki pas



Slika 6.25. Mali pas



Slika 6.26. Zimski šestougao

Zimski šestougao čine najsjajnije zvezde ovih sazvežđa, i to su: α Tau (Aldebaran) iz sazvežđa Bik, α Aur (Kapela) iz sazvežđa Kočijaš, β Gem (Poluks) iz sazvežđa Blizanac, α CMi (Procion) iz sazvežđa Mali pas, α CMa (Sirijus) iz sazvežđa Veliki pas i β Ori (Rigel) iz sazvežđa Orion. Na slici 6.26 prikazan je zimski šestougao. U tabeli 1 izlistna su karakteristična sazvežđa za naše podneblje, najsjajnija

GLAVA 6. SAZVEŽĐA

zvezda tog sazvežđa, njena magnituda, udaljenost i redni broj po sjaju na nebu.

Tabela 6.1. Osnovne karakteristike najsjajnijih zvezda po sazveždima

SAZVEŽĐE	IME NAJSJAJNIJE ZVEZDE	PO SJAJU NA NEBU	MAGNITUDA	OD ZEMLJE UDALJENA (sv. god)
Ursa Major (Veliki medved)	(ϵ UMa) Alioth	31	1,76	81
Ursa Minor (Mali medved)	(α UMi) Polaris	50	1,985	434
Cassiopeia (Kasiopeja)	(α Cas) Schedir	69	2,24	228
Cepheus (Cefej)	(α Cep) Alderamin	86	2,5141	49
Bootes (Volar)	(α Boo) Arcturus	4	-0,04	36,7
Virgo (Devojka)	(α Vir) Spica	16	1,04	260
Leo (Lav)	(α Leo) Regulus	21	1,35	79
Aquila (Orao)	(α Aql) Altair	12	0,77	16,77
Cygnus (Labud)	(α Cyg) Deneb	19	1,25	1400
Lyra (Lira)	(α Lyr) Vega	5	0,03	25,04
Scorpius (Škorpija)	(α Sco) Antares	15	0,96	550

GLAVA 6. SAZVEŽĐA

Tabela 6.1. Osnovne karakteristike najsjajnijih zvezda po sazveždima

SAZVEŽĐE	IME NAJSJAJNIJE ZVEZDE	PO SJAJU NA NEBU	MAGNITUDA	OD ZEMLJE UDALJENA (sv. god)
Pegasus (Pegaz)	(ϵ Peg) Enif	81	2,399	690
Andromeda (Andromeda)	(α And) (Alpheratz)	54	2,06	97
Piscis Austrinus (Južna riba)	(α PsA) Fomalhaut	18	1,16	25,13
Orion (Orion)	(β Ori) Rigel	7	0,18	772,51
Taurus (Bik)	(α Tau) (Aldebaran)	14	0,86	65,1
Auriga (Kočijaš)	(α Aur) Capella	6	0,08	42,2
Gemini (Blizanac)	(β Gem) (Pollux)	17	1,14	33,78
Canis Major (Veliki pas)	(α CMa) (Sirius)	1	-1,42	8,6
Canis Minor (Mali pas)	(α CMi) Procyon	8	0,34	11,41

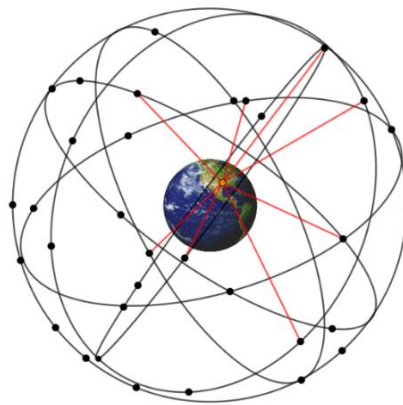
Pregled sazvežđa na nebeskoj sferi može se videti na sledećem linku:
<https://www.geogebra.org/m/cc94qnqc>.

6.3 Veštačka sazvežđa

Konstrukcija veštačkog sazvežđa zahteva najmanje 24 operativna satelita a maksimalno 32. Da bi se odredio položaj neke tačke na planeti Zemlji u tri dimenzije potrebna su 4 satelita. Sateliti se sastoje od solarnih panela i antena. Svaki satelit prenosi jedinstveni kod u signalu. [\[11\]](#)

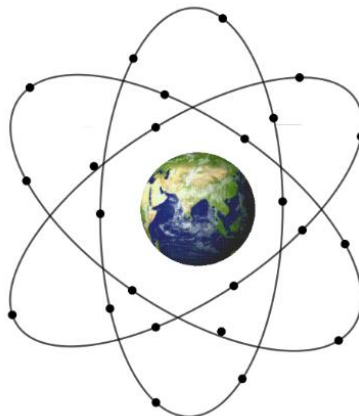
Postoje pet GNSS (Global Navigation Satellite System) sazvežđa: GPS (Amerika), GLONASS (Rusija), Galileo (Evropska Unija), QZSS (Japan) i BEIDOU (Kina).

1. GPS (Global Positioning System) je najstariji sistem koji je počeo sa radom 1978. godine za potrebe vojne navigacije. Šesnaest godina kasnije postao je dostupan za opštu primenu. Prva potpuna konstelacija od 24 satelita počela je sa radom 1993. godine. Sateliti u GPS sazvežđu su raspoređeni u šest orbitalnih ravni oko Zemlje. Svaki sadrži četiri slota. Ovakav raspored 6x4 slota omogućava da čovek sa bilo koje tačke na Zemlji može da vidi najmanje 4 satelita. Od 2011. godine GPS funkcioniše kao konstelacija od 27 slota. Trenutna konstelacija ima 32 operativna satelita koji se nalaze na visini od 20 180 metara. Ova visina je područje poznato kao srednja orbita ili MEO (Medium Earth Orbit). Orbita sa ekvatorijalnom ravni gradi ugao od 55 stepeni. Svaki satelit dva puta obiđe planetu Zemlju za 24h. Sjedinjena Američka Država ima potpunu kontrolu nad GPS i može selektivno da uskrati pristup sistemu, kada, kome i koliko dugo želi. Na slici 6.27 prikazan je vizuelni primer konstelacije od 32 GPS satelita. Odabrana tačka na površini Zemlje u trenutku na slici ima vidljivih osam satelita.



Slika 6.27. GPS

2. GLONASS (Global Navigation Satellite System) je počeo sa radom 1982. godine i sve do 2000 godine nije imao potpunu pokrivenost. Konstelacija postala je operativna potpuno 1995. godine. Za globalnu upotrebu dostupan je od 2011. godine. Sateliti u GLONASS sazvežđu su raspoređeni u tri orbitalne ravni oko Zemlje. Svaki sadrži osam slota. Dakle, trenutna konstelacija ima 24 operativna satelita koji se nalaze na visini od 19 100 metara. Orbita GLONASS sa ekvatorijalnom ravni gradi ugao od 64,8 stepeni. Jednu orbitu oko Zemlje naprave za oko pola sata brže od GPS jer su na nižoj visini u odnosu na GPS. Na slici 6.28 prikazan je vizuelni primer konstelacije od 24 GLONASS satelita.



Slika 6.28. GLONASS

3. Galileo je počeo sa radom 2016. godine. U vlasništvu je Evropske Unije sa sedištem u Pragu i operativnim centrima u Italiji i Nemačkoj. Za razliku od GPS i GLONASS za 24h ne može da napravi dve pune orbite jer se nalazi na visini od 23 222 metara. Ima 30 operativnih satelita u 3 orbite. Galileo sateliti daju preciznost od oko jedan metar, što je bolje i od GPS i od GLONASS.

4. QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) je sistem koji pomaže povećanju efikasnosti GPS-a u Aziji i Okeaniji. Ima 5 satelita u 5 orbite. Jedan satelit u geostacionarnoj orbiti (GEO) i 4 satelita u nagnutoj geosinhronoj orbiti (IGSO).

5. BeiDou se sastoji od dva odvojena sazvežđa. Prvi BeiDou počeo je sa radom 2000. godine sa tri satelita za korisnike u Kini i susednim regionima. Povučen je iz upotrebe 2012. godine. Drugi BeiDou počeo je sa radom 2011. godine sa 10 satelita i pokrivaao je azijsko - pacifički region.

GLAVA 6. SAZVEŽĐA

BeiDou treće generacije, lansiran 2015. godine počinje sa radom 2018. godine je globalne pokrivenosti. BeiDou-3 trenutno ima 35 satelita. Globalna preciznost je oko 3,6 m dok za Kinu je ta preciznost oko 2,6 m. Ima pet satelita u geostacionarnoj orbiti (GEO), 27 u srednjoj orbiti (MEO) i 3 satelita u nagnutoj geosinhronoj orbiti (IGSO).

Tabela 6.2. Poređenje tri GNSS-a

	GPS	GLONASS	Galileo
VLASNIŠTVO	Amerika	Rusija	Evropska Unija
DATUM PRVOG LANSIRANJE	22.02.1978.	12.10.1982.	28.12.2005.
GODINA POČETKA GLOBALANE UPOTREBA	1994	2011	2019
BROJ SATELITA	32	24	30
BROJ ORBITA	6	3	3
INKLINACIJA	55°	64,8°	56°
LATITUDA	20 180 km	19 100 km	23 222 km
PERIOD ROTACIJE OKO ZEMLJE	11h 58min	11h 15min	14h 07min
PRECIZNOST	3,5 – 7,8 metara	5 – 10 metara	2 – 3 metara
SIGNAL ZA GLOBALNU UPOTREBU	L1 – 1575,42 MHz L5 – 1176,45 MHz	L1 – 1602 MHz	E1 – 1575,42 MHz E5 – 1176,45 MHz
VOJNI SIGNAL	L2 – 1227,6 MHz	L2 – 1246,2 MHz	L2 – 1246,2 MHz

U tabeli 6.2 izlistane su karakteristike tri vodeća veštačka sazvežđa.

Glava VII

Sunce i Sunčev sistem

Sunčev sistem čini Sunce i sva tela koja kruže oko njega. Sunčeva gravitacija omogućava Suncu da drži planete, patuljaste planete, satelite, komete, meteore i asteroide na okupu. Sva tela Sunčevog sistema kreću se po eliptičnim putanjama oko Sunca.

Kao osnovna jedinica za rastojanja u Sunčevom sistemu uzima se srednje rastojanje Zemlje od Sunca, koje iznosi oko 149 597 870 km, odnosno jedna astronomska jedinica (1 AJ). U tabeli 7.1 izlistane su planete i njihova udaljenost od Sunca u AJ.

Tabela 7.1. Udaljenost planeta od Sunca

PLANETA	UDALJENOST OD SUNCA (AJ)
MERKUR	0,39
VENERA	0,72
ZEMLJA	1
MARS	1,52
JUPITER	5,2
SATURN	9,54
URAN	19,2
NEPTUN	30,1

7.1 Sunce

Sunce je jedna od nekoliko stotina milijardi zvezda naše galaksije. Prosečna zvezda, koja se ni počemu ne izdvaja od drugih zvezda, osim po tome što je za nas neprocenjivo važna. Život na Zemlji ne može se zamisliti bez Sunca. Naša zvezda stara je oko 4,5 milijardi godina i procenjuje se da je negde na polovini svog životnog veka. Oko Sunca kruži 8 planeta, 5 patuljastih planeta (Pluton, Ceres, Makemake, Haumea i Eris), sateliti, komete, meteori i asteroidi. Udaljenost između Sunca i Zemlje u iznosu od 1 AJ svetlost pređe za 8 minuta i 18 sekundi. Sunce kruži oko centra naše galaksije na udaljenosti od oko 27 000 svetlosnih godina i kreće se u pravcu sazvežđa Labud. Da bi Sunce obišlo jedan krug oko centra galaksije potrebno je oko 225 miliona godina, odnosno jedna galaktička godina, krećući se brzinom od oko 250 km/s.

7.1.1 Osnovne karakteristike

Sunce, kao i sve zvezde je gasovita lopta. Sastoji se većim delom od vodonika, oko 28% helijuma i 2% ostalih elemenata. Na osnovu sastava Sunca, zaključuje se da Sunce nije zvezda prve generacije. Zvezde prve generacije čini samo vodonik i helijuma. Postojanje eventualno ostalih elemenata može biti samo u jezgru zvezde, dakle ne može biti vidljivo na spektralnim linijama. Znači, naše Sunce nije zvezda prve generacije jer u atmosferi Sunca imamo i težih elemenata koje se vide na spektrografu. Sunce još uvek sagoreva vodonik, i sagorevaće ga još oko 5 milijardi godina koliko se procenjuje da će još biti na glavnom nizu¹³ H - R dijagrama¹⁴. U tabeli 7.2 izlistane su osnovne karakteristike Sunca.

Ako uzmemo da je $\rho = 960''$ ugaoni radijus Sunca i a – vrednost velike poluose planetarne orbite (kod Zemlje $a = 149,6 \cdot 10^6$ km = 1AJ) i $1 \text{ rad} = 206\,265''$ ($2\pi \text{ rad} = 360^\circ$), tada poluprečnik Sunca (R_\odot) računamo po formuli:

$$R_\odot = \frac{\rho \cdot a}{206\,265}, \quad (7.1)$$

¹³ Glavni niz H – R dijagrama čine zvezde koje u svom jezgru još uvek sagorevaju vodonik.

¹⁴ H – R dijagram (Hercšprung – Raselov dijagram) je grafik zavisnosti temperature zvezda i njihovog sjaja.

Iz formule se dobija da je poluprečnik Sunca $R_{\odot} = 696\,000$ km. Dakle, prečnik Sunca je oko 109 puta veći od prečnika Zemlje.

Masa Sunca određuje se iz Trećeg Keplerovog zakona¹⁵. Ako uzmemo da je T – siderički period rotacije oko Sunca (kod Zemlje $T = 1$ siderička godina), a – vrednost velike poluose planetarne orbite (kod Zemlje $a = 1$ AJ) i G – Njutnova gravitaciona konstanta, $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Nm², tada je prema formuli:

$$M_{\odot} = \frac{4\pi^2 \cdot a^3}{G \cdot T^2}, \quad (7.2)$$

masa Sunca 2×10^{30} kg, što je 300 000 masa Zemlje. [\[12\]](#)

Na osnovu mase i zapremine, prosečna gustina Sunca iznosi 1408 kg/m³, što je oko 4 puta manje od gustine Zemlje. Osa rotacije Sunca sa ravni ekliptike zaklapa ugao od 7,2°. Kako je Sunce gasovita lopta, brzine rotacija različitih delova njegove površine se razlikuju. Rotacija je najbrža za tačke na ekvatoru i iznosi oko 25 dana i sve sporija ka polovima, gde iznosi i preko 30 dana. Ovakva pojava naziva se diferencijalna rotacija. Razlika u dužini rotacija različitih pojava Sunca utvrđena je doplerovim pomakom spektralnih linija¹⁶, kao i dugotrajnim posmatranjem Sunčevih pega. Kako je prečnik Sunca 1 392 000 km, a rotacija Sunca u proseku oko 27 dana, dobija se da je brzina tačke na ekvatoru oko 2 km/s. Sunce tako spada u zvezde koje sporo rotiraju.

Naše Sunce je ogroman izvor energije. Veliki pritisak i visoke temperature spajaju četiri atoma vodonika u jedan atom helijuma. Prilikom ove nuklearne fuzije oslobađa se deo materije u svemir i svega jedan milijarditi deo dođe do Zemlje. Da bi se energija iz jezgra Sunca prenela do površine Sunca potrebno je i do nekoliko miliona godina, a nakon toga svega oko 8 minuta da dođe do površine Zemlje.

¹⁵ Kvadrati perioda obilaska planeta oko Sunca (T) srazmerni su kubovima velikih poluosa (a) njihovih putanja : $\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} = const.$

¹⁶ Pri kretanju zvezde ka posmatraču ili od posmatrača menja se talasna dužina koju ona emituje. Ako se zvezda približava posmatraču smanjuje joj se talasna dužina i tamne linije u spektru se pomeraju ka plavom delu spektra. Ako se zvezda udaljava povećava joj se talasna dužina i tamne linije u spektru se pomeraju ka crvenom delu spektra.

GLAVA 7. SUNCE I SUNČEV SISTEM

Luminoznost Sunca je količina energije koja u jednoj sekundi padne na 1 m² prijemnika na gornjoj granici Zemljine atmosfere. Ako uzmemo da je C – solarna konstanta ($C = 1367 \text{ W/m}^2$) i a – udaljenost Sunca od Zemlje ($a = 1 \text{ AJ} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$) ukupna količinu energije računa se po formuli:

$$L = C \cdot 4 \pi a^2. \quad (7.3)$$

Odakle dobijamo da je luminoznost Sunca, $L_{\odot} \approx 3,84 \cdot 10^{26} \text{ W}$.

Ako uzmemo da je: R – radijus Sunca ($R = 6,955 \cdot 10^8 \text{ m}$), $4 \pi R^2$ – površina sfere Sunca, ϵ – Štefan – Bolcmanova konstanta¹⁷ ($\epsilon = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$) i L – luminoznost Sunca, tada se temperatura Sunca računa iz formule za luminoznost:

$$L = \epsilon T^4 \cdot 4 \pi R^2, \quad (7.4)$$

odnosno,

$$T^4 = \frac{L}{\epsilon \cdot 4 \pi R^2} = \frac{C \cdot 4 \pi a^2}{\epsilon \cdot 4 \pi R^2} = \frac{C \cdot a^2}{\epsilon \cdot R^2}. \quad (7.5)$$

Odakle dobijamo da je temperatura Sunca na površini oko $5\,500^\circ \text{ C}$.¹⁸

¹⁷ Štefan-Bolcmanov zakon glasi: Emisiona moć apsolutno crnog tela srazmerna je četvrtom stepenu temperature tela. $E = \epsilon T^4$.

¹⁸ Prema definiciji, nula na Celzijusovoj skali (0° C) jednaka je $273,15 \text{ K}$.

Tabela 7.2. Osnovne karakteristike Sunca

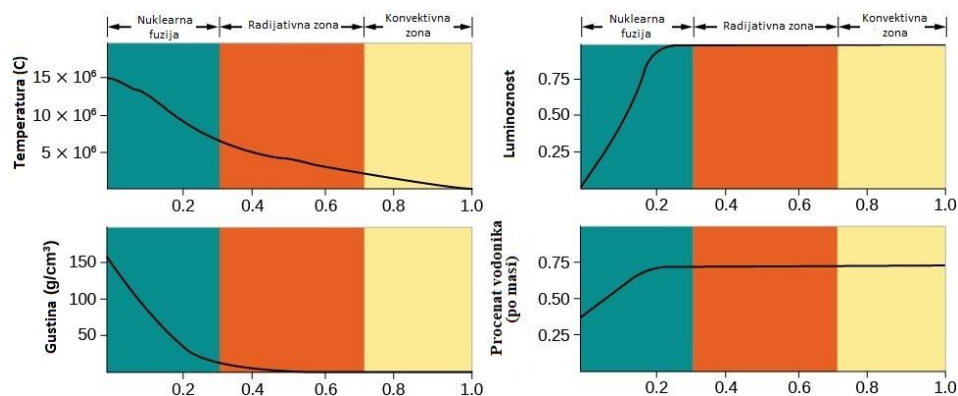
	SUNCE
NAGIB PREMA ORBITI	7,25°
POLUPREČNIK	695 508 km
OBIM	4 370 006 km
ZAPREMINA	$1,409 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$
MASA	$1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
GUSTINA	$1,409 \text{ g/cm}^3$
PERIOD ROTACIJE	25,38 zvezdanih dana
TEMPERATURA	5500° C

7.1.2 Unutrašnjost Sunca

Sunčevu unutrašnjost ne možemo neposredno posmatrati. Po standardnom modelu u unutrašnjosti Sunca razlikujemo tri oblasti: jezgro, radijativna i konvektivna zona. Oko četvrtine prečnika Sunca čini jezgro. Temperatura središta Sunca iznosi oko 15 miliona stepeni Celzijusa. U jezgru Sunca dolazi do spajanja protona sa protonom i nastaje jezgro atoma deuterijum, koje se razlikuje od atoma vodonika jer pored protona sadrži i neutron. U opisanoj fuziji jedna čestica pretvara se u neutrin. Proces se dalje nastavlja spajanjem novonastalog deuterijuma sa novim protonom i nastaje izotop helijum uz oslobađanje energije. U poslednjoj fazi dva izotopa helijuma spajaju se u jedan teži izotop helijuma i dva protona. Protoni zatim započinju novi ciklus fuzije. Jedan deo materije u opisanom procesu, pretvara se u energiju. Energija dalje prolazi kroz zonu zračenja debljine oko 380 000 km i dolazi u konvektivnu zonu debljine oko 140 000 km. Da bi foton preneo energiju iz radijativne u konvektivnu zonu potrebno mu je nekoliko miliona godina. Iz konvektivne zone energija se mnogo brže prenosi dalje do fotosfere. Gas u ovoj zoni u vidu mehurića ključale vode meša se i izbija na površinu a zatim napušta Sunce u vidu svetlosti ili toplote.

GLAVA 7. SUNCE I SUNČEV SISTEM

Efekat mehurića na površini Sunca naziva se granulacija. Za proveru opisanog modela unutrašnjosti Sunca koristimo dve informacije: oscilacije i neutrini. Oscilacije na Suncu otkrivene su 1962. godine i njih proučava helioseizmologija. Posmatranje i analiza frekvencija i amplituda oscilacija omogućava izradu modela unutrašnjosti. Posledice oscilacija su periodični pomaci spektralnih liniji. Druga informacije je pojava neutrina. U jezgru Sunca tokom termonuklearnih reakcija, stvara se ogromna količina energije. Ta energija oslobađa se u obliku fotona i neutrina. Neutrini su subatomske čestice, veoma male mase koje se vrlo retko spajaju sa drugim česticama. Zbog te osobine, neutrini iz jezgra neometano putuju kroz Sunce a zatim dalje kroz atmosferu Sunca. Detekcija neutrina na Zemlji i njihovo proučavanje daje nam saznanja o termonuklearnim procesima i o unutrašnjoj strukturi Sunca.



Slika 7.1. Dijagram

Na slici 7.1 prikazan je dijagram koji pokazuje kako temperatura, gustina, brzina stvaranja energije i procenat (po masi) vodonika variraju unutar Sunca. Horizontalna skala pokazuje deo Sunčevog poluprečnika. Leva ivica je sam centar Sunca, a desna ivica je vidljiva površina Sunca, koja se naziva fotosfera.

7.1.3 Atmosfera Sunca

Razlikujemo tri sloja Sunčeve atmosfere: fotosfera, hromosfera i korona.

Fotosfera

Fotosfera ili sfera svetlosti je unutrašnji sloj atmosfere Sunca. Temperatura jezgra Sunca može biti i do 15 miliona stepeni Celzijusa, dok se temperatura fotosfere kreće od 6200°C u donjim pa do 4200°C u gornjim slojevima fotosfere. U odnosu na poluprečnik Sunca od oko 700 000 km, fotosfera je veoma tanka, debljine oko 500 km. Mehuraste granule koje čine fotosferu su mlazevi vrele plazme. Plazma izvire iz unutrašnjosti Sunca na površinu fotosfere i nakon nekoliko minuta iščezava. Prečnik ovih mlazeva može biti i do 1000 km, ivice su hladnije za nekoliko stotina stepeni i zbog toga izgledaju tamnije.

Hromosfera

Hromosfera ili obojena sfera je sloj atmosfere Sunca iznad fotosfere. Gustina je znatno manje od fotosfere i iz tog razloga je teško vidljiva. Može se posmatrati samo tokom pomračenja Sunca ili uz pomoć spektroheliografa¹⁹. Temperatura hromosfere kreće od 4000°C u donjim pa do $10\,000^{\circ}\text{C}$ i više u gornjim slojevima fotosfere. Strukturu hromosfere čine spikule. Spikule su dugački tanki mlazevi vrelog gasa koji se podižu do visine od oko 100 000 km i širine oko 700 km. Erupcija ovog gasa traje relativno kratko, svega nekoliko minuta. Spikule je otkrio sveštenik Vatikanske opservatorije Angelo Seči, 1877. godine.

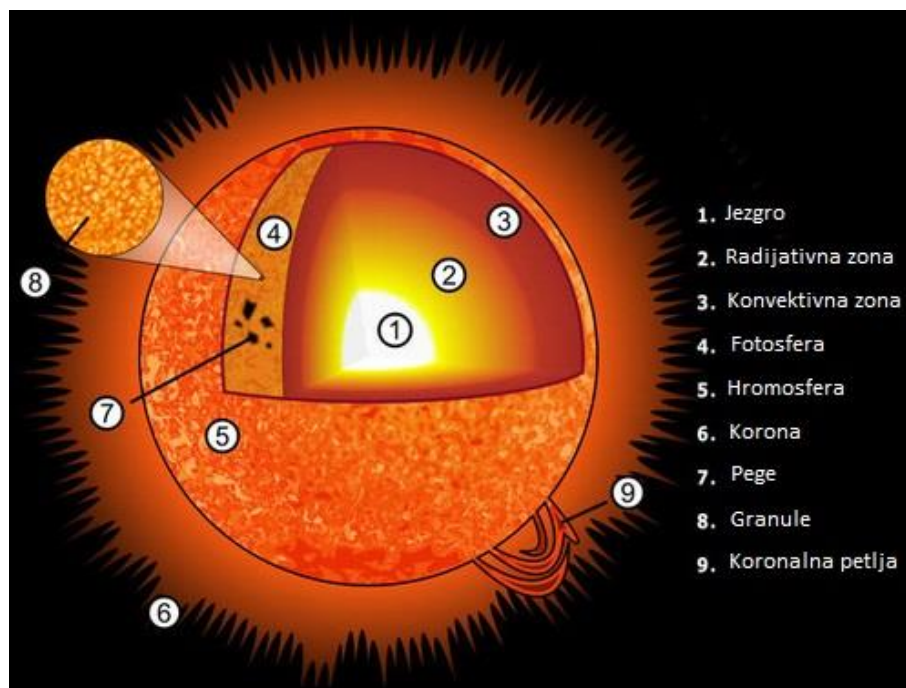
Korona

Treći i poslednji sloj Sunčeve atmosfere je korona (kruna ili venac). Veoma retka, i do 10^{12} puta ređa od hromosfere i oko milion puta slabijeg sjaja. Temperatura korone može dostići $2\,000\,000^{\circ}\text{C}$. Posmatra se samo tokom totalnog pomračenja

¹⁹ Spektroheliograf je instrument za dobijanje monohromatske slike Sunca. Izumeli su ga nezavisno jedan od drugog Henri - Alexandre Deslandres i George Ellery Hale, 1890. godine.

GLAVA 7. SUNCE I SUNČEV SISTEM

Sunca ili uz pomoć koronografa²⁰. Strukturu čine čestice plazme (protoni i elektroni) i do nekoliko kilometara od Sunca, koje napuštaju koronu u vidu Sunčevog vetra. Korona ima periode kada je mirna kao i periode kada je aktivna. Aktivna područja su područja u kojima je koncentracija čestica povećana, to su takozvane koronalne petlje ili lukovi. Lukove čine zarobljene čestice unutar zatvorenih linija sile magnetnog polja (Lorenova sila). Prostiru se u dve zone, obe paralelne sa ekvatorom. Manje aktivna, područja su područja u kojima je koncentracija čestica mala i nazivaju se koronalne rupe. Koronalne rupe ili šupljine su čestice unutar otvorenih linija sile magnetnog polja. Pojavljuju se na polovima Sunca. Na slici 7.2 prikazana je struktura Sunca.



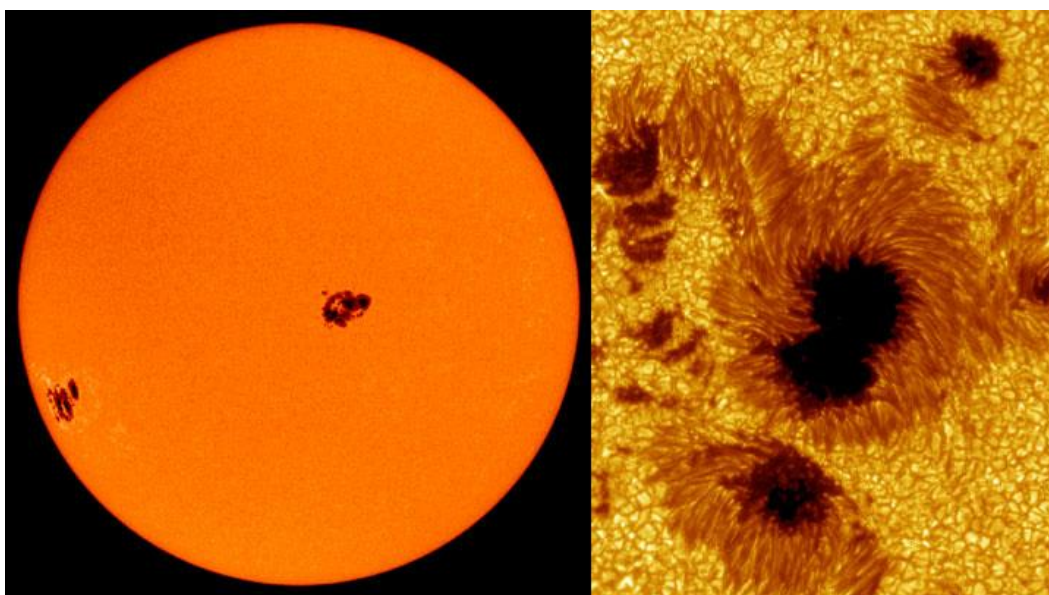
Slika 7.2. Struktura Sunca

²⁰ Koronograf je komponenta teleskopa koji zaklanja svetlost fotosfere. Izumeo ga je francuski astronom Bernard Liot 1930. godine.

7.1.4 Sunčeva aktivnost

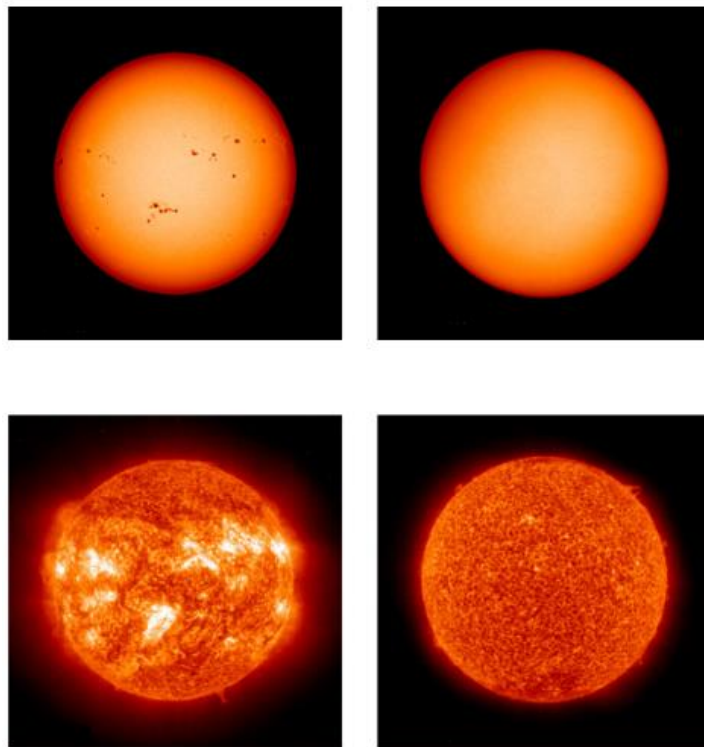
Sve Sunčeve aktivnosti posledica su dejstva magnetnog polja na površini Sunca. Treba ih posmatrati sa posebnom zaštitom kako ne bi izazvale oštećenje retine oka što za posledicu ima slepilo.

Sunčeve pege



Slika 7.3. Sunčeva pega

Na slici 7.3 prikazana je Sunčeva pega i pega snimljena u visokoj rezoluciji. Zbog uticaja magnetnog polja koje ograničava količinu energije koja izbija na površinu Sunca javljaju se pege. Analizom spektralnih linija utvrđeno je da je magnetno polje pege oko 1000 puta jače od magnetnog polja okoline. Sunčeve pege su vidljive kao tamne mrlje neobičnog oblika na površini Sunca pojedinačno ili u grupi. Prečnika od 16 km do 130 000 km pa i više. U odnosu na temperaturu fotosfere Sunca, Sunčeve pege su znatno hladnije. Centar Sunčeve pege zove se umbra (senka) i temperature je oko 4000° C i predstavlja područje sa najjačima magnetnim poljem. Oko centra je nešto svetlija oblast, perumbra (polusenka) i temperature oko 5000° C. Na slici 7.4 prikazano je poređenje Sunčevih pega. Leva kolona predstavlja solarni maksimum a desna solarni minimum.



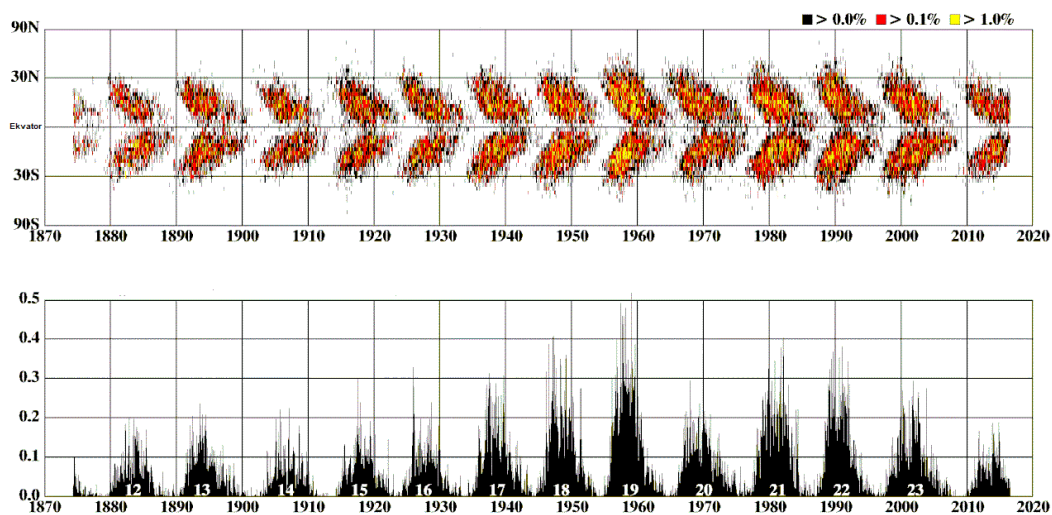
Slika 7.4. Sunčeve pege

U vreme solarnog maksimuma povećava se broj Sunčevih pega, magnetno polje Sunca slabi, polaritet se obrće i Sunčev vetar se neprestano menja. Nasuprot tome, u vreme Sunčevog minimuma magnetno polje je veoma jako, pege se povlače a Sunčev vetar je konstantan. Sunčev ciklus traje 22 godine i na svakih 11 godina menja se polaritet Sunca. Kako se menja polaritet Sunca tako se menja i polaritet pega. Leptir dijagram pokazuje ciklus Sunčeve aktivnosti tokom određenog vremenskog perioda.

Smatra se da su Sunčeve pege primećene oko 400 godine p. n. e. u Kini. Sa otkrićem teleskopa, Galileo Galilej uočio je pege na Suncu. Svakodnevno prateći Sunčeve pege zaključio je da Sunce rotira sa periodom od 4 nedelje. Precizniju rotaciju Sunca, diferencijalnu rotaciju, dao je Ričard Kerington, u XIX veku, dva veka nakon Galileja.

Sunčeve pege imaju i različito vremensko trajanje i to od jednog dana do 100 dana dok velike grupe pega mogu trajati do 50 dana. Po karakteru magnetnog polja razlikujemo unipolarne (8,6%), bipolarne (91%) i multipolarne pege (0,4%).

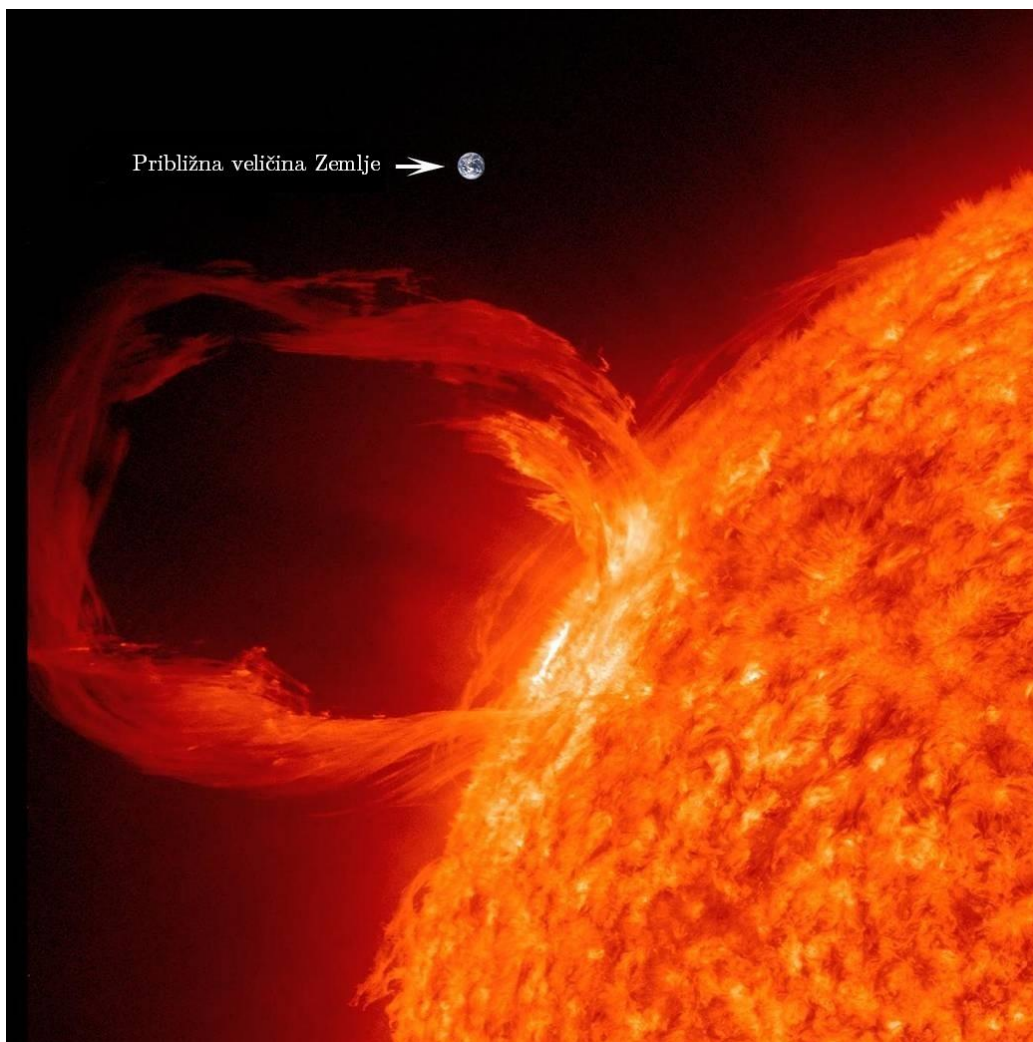
Najveći broj pega su bipolarne, odnosno pege koje se javljaju u paru. Zapadna pega, pega vodilja i istočna pega, pega pratilja imaju različiti polaritet. Takođe polaritet pega se razlikuje i u zavisnosti od hemisfere Sunca. Smer linija sile magnetnog polja određuje polaritet. Na slici 7.5 prikazan je Maunder-ov leptir dijagram. Na gornjoj slici bojom je predstavljen broj pega u pojedinom delu ciklusa a na donjoj slici je prikazana zavisnost prosečne dnevne površine pega u odnosu na vreme.



Slika 7.5. Maunder-ov leptir dijagram

Protuberance

Protuberance su mlazevi plazme (usijan gas koji se sastoji od naelektrisanog vodonika i helijuma) koji izlaze iz hromosfere i dostižu visinu do nekoliko stotina hiljada kilometara. Od okolinog gasa se razlikuju većom gustinom, i do 100 puta, i nižom temperaturom. S obzirom da su povezani sa magnetnim poljem Sunca često se pojavljuju u blizini pega. Interakcijom između magnetnog polja Sunca i plazme stvara se sila koja se suprotstavlja sili gravitacije i plazma se podiže u vis. Prema vremenu trajanja i strukturi mogu biti mirne i aktivne. Mirne ili stabilne traju nekoliko nedelja pa čak i nekoliko meseci i nakon toga se spuste nazat prema površini Sunca ili se oslobode u svemir. Aktivne ili eruptivne protuberance se razvijaju veoma brzo, mnogo kraće traju i imaju izgled vodoskoka. Najveća protuberance registrovana je 4. juna 1946. godine, visine od preko 100 000 km.



Slika 7.6. Protuberanca „Vatreni prsten”

Na slici 7.6 prikazana je protuberanca „Vatreni prsten” (Ring of Fire) i njena veličina u odnosu na Zemlju. Sve protuberance se posle izvesnog vremena raspadnu u hromosferu i mogu dovesti do Sunčevog koronalnog izbacivanja masa, Coronal Mass Ejections (CMEs)²¹ i na Zemlju imaju uticaj u vidu solarnih vetrova. [13] Kako se udaljava od Sunca, CME se širi i ako je usmeren ka Zemlji, na našu planet stiže za 15 do 18 sati.

²¹ Jonizovani gas koji napušta Sunčevu atmosferu i odlazi u planetarski prostor brzinom od 250 km/s pa do 3000 km/s.

Hromosferske erupcije

Hromosferske erupcije ili Solarne erupcije javljaju se kada se nagomilana magnetna energija iznenada oslobodi. Obično u blizini Sunčevih pega u aktivnim regionima Sunca kada magnetno polje postane nestabilno dolazi do erupcije, odnosno, bljeska u hromosferi. Ove erupcije emituju veliku količinu zračenja (ultraljubičastog i rendgenskog zračenja). Traju kratko, manje od jednog sata. Maksimalna eksplozija dostiže se u roku od par minuta. Pri erupciji oslobađaju se visokoenergetske čestice koje putuju brzinom svetlosti i za približno jedan sat stižu na našu planetu.

Uticaj Sunčeve aktivnosti na planetu Zemlju

Najznačajnije uticaj na našu planetu ima izbačena koronalna masa. Interakcija između magnetnog polja koronalnih masa i magnetnog polja Zemlje može izazvati geomagnetske oluje. Ovakve oluje mogu ometati radio komunikaciju i satelitsku komunikaciju, a samim tim usluge telekomunikacije, navigacije i meteorološke podatke. Veoma intenzivan CME može poremetiti magnetosferu i preopteretiti protok struje na Zemlji, što za posledicu može imati nestanak električne energije. Kada energetske čestice sa Sunca reaguju sa Zemljinom atmosferom može nastati spektakularna svetlost. Zarobljeni u magnetnom polju Zemlje, protoni i elektroni sa Sunca intereaguju sa molekulima kiseonika i azota u visokim slojevima Zemljine atmosfere. Ta interakcija izaziva promene u energetskim nivoima tih molekula. Nakon apsorpcije energije od strane nabijenih čestica, atomi i molekuli u atmosferi dolaze u pobuđeno stanje. Kako bi se vratili u svoje osnovno stanje oni emituju višak energije u vidu svetlosti. Ta svetlost poznata je kao polarna svetlost. U blizini severnog pola, to je, Aurora Borealis a u blizini južnog pola Aurora Australis. Na slici 7.7 prikazana je Aurora Borealis snimljena u Finskoj 18.01.2021. godine, a na slici 7.8 prikazana je Aurora Austarlis snimljena na Novom Zelandu, 28.02.2023. godine. Aurore se najbolje vide u zimskom period. Mogu biti u obliku prstenova, traka ili zavesa koje se šire preko neba. Boja polarne svetlosti je rezultat interakcije sa različitim gasovima u atmosferi Zemlje. Zelena boja je rezultat interakcije sa molekulima kiseonika a ljubičasta sa molekulom azota. Promene aktivnosti Sunca mogu uticati na klimatske promene na Zemlji.



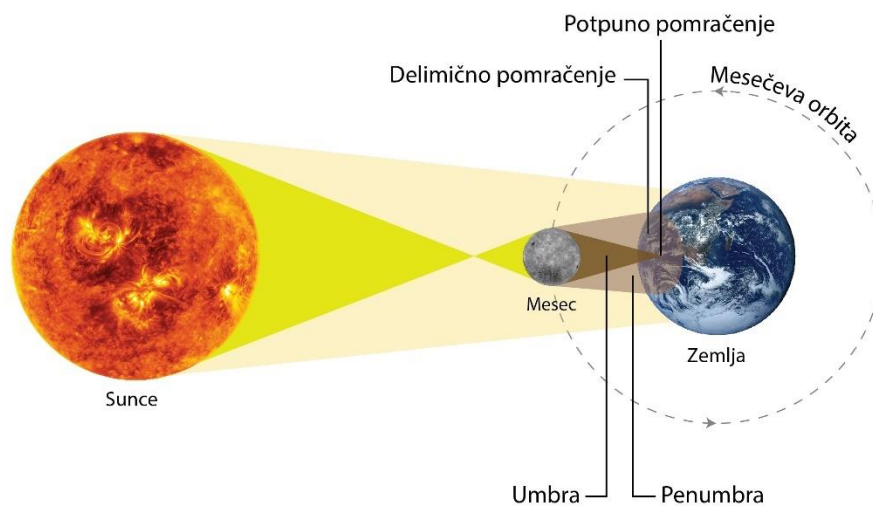
Slika 7.7. Aurora Borealis



Slika 7.8. Aurora Australis

7.1.5 Pomračenje Sunca

Pomračenje Sunca nastaje kada se u istoj ravni nađu Zemlja, Mesec i Sunce, odnosno kada Mesec krećući se po svojoj putanji oko Zemlje dođe u ravni sa Suncem i tako ga zakloni bacajući senku na Zemlju. Na slici 7.9 prikazano je delimično i potpuno pomračenje Sunca.



Slika 7.9. Delimično i potpuno pomračenje Sunca

Kako je Mesec oko 400 puta manji od Sunca i za oko 400 puta bliži Zemlji, prividni prečnici²² Sunca i Meseca su gotovo isti, odnosno naša zvezda i naš prirodni satelit su prividno iste veličine, pa dolazi do potpunog pomračenja Sunca. Prividni prečnik Meseca, zavisno od njegove udaljenosti od Zemlje varira između 29' 22" i 33' 31" a prividni prečnik Sunca između 31' 31" i 32' 35", pa je ovo razlog različitim vrstama pomračenja Sunca. Kada je Mesečev prividni prečnik maksimalan tada pomračenje traje i do 7 minuta i 32 sekunda, što je ujedno najduže pomračenje Sunca. Pomračenje Sunca počinje tako što Mesečev disk sa leve strane dodirne desnu stranu Sunca, to je prvi prividni kontakt. Zatim, Mesečev disk krećući se preko Sunca počinje da ga zaklanja i to zovemo delimično pomračenje. Ukoliko disk nastavlja da prekriva Sunce, u jednom momentu dodirnuće ga sa leve strane, to je drugi kontakt, zatim dolazi do potpunog pomračenja Sunca. Mesec nakon toga počinje da napušta disk Sunca sledi treći kontakt i na kraju kada Mesec dodirne Sunčev disk sa leve strane spolja nastaje četvrti i poslednji kontakt. Pojas na Zemlji sa kojeg se može videti potpuno pomračenje zove se zona totaliteta. Zbog rotacije Zemlje kao i zbog kretanja Meseca senka na našem tlu pomera se brzo u pravcu zapad – istok. Oko zone totaliteta, nalazi se pojas odakle se može videti samo delimično pomračenje Sunca. Kako je pojas polusenke širok i do 10 000 km delimično pomračenje u tim krajevima može da traje i do 2 sata. Svako potpuno pomračenje prati delimično ali ne i obrnuto. Kada Mesečeva senka prođe izvan Zemlje a polusenka padne na Zemlju tada se može videti samo delimično pomračenje Sunca. U slučaju da je Mesečeva prividna veličina manja od prividne veličine Sunca dolazi do pojave koju zovemo prstenasto pomračenje. Mesečev disk prekriva Sunčev ali kako je manji od Sunca, prekriven je samo centar a jedan prsten, odnosno rub Sunca ostaje vidljiv. Najduže prstenasto pomračenje trajalo je 12 minuta i 24 sekunde. To je duže od najdužeg potpunog pomračenja jer Mesec je prividno manji pa mu duže vremena treba da potpuno napusti Sunčev disk.

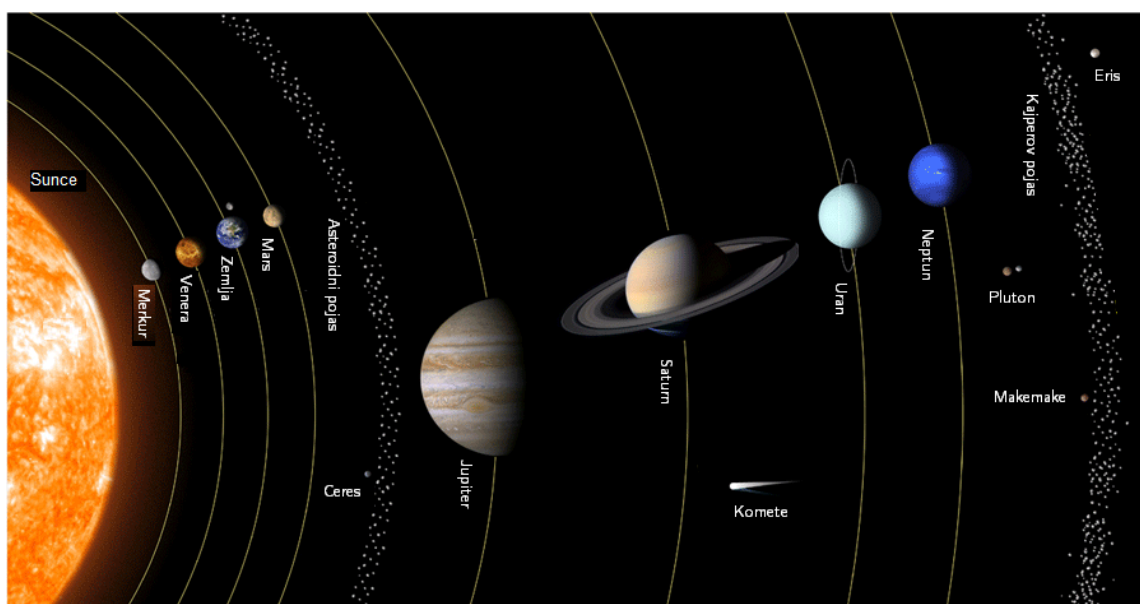
Simulacija pomračenja Sunca u 2D može se videti na sledećem linku:
<https://www.geogebra.org/m/syvjtvmv>.

Simulacija pomračenja Sunca u 3D može se videti na sledećem linku:
<https://www.geogebra.org/m/awxwf3gh>.

²² Prividni prečnik nekog tela je prečnik kako ga mi vidimo sa Zemlje.

7.2 Planete Sunčevog sistema

Još su stari Heleni, krajem XVIII veka, pored Zemlje, znali za prvih pet planeta (Merkur, Venera, Mars, Jupiter i Saturn) koje se mogu videti golim okom. Pošto su se pomerale po nebu a nisu znali da objasne šta predstavljaju dali su im naziv planete što znači lutajuće zvezde. Na slici 7.10 prikazano je Sunce i planete Sunčevog sistema, četiri patuljaste planete, asteroidni i Kajperov pojas .



Slika 7.10. Sunce i planete Sunčevog sistema

Međunarodna astronomska unija 2006. godine usvaja zvaničnu definiciju planete.

Planeta je nebesko telo koje:

- (1) se nalazi u orbiti oko Sunca,
- (2) ima dovoljnu masu da sopstvenom gravitacijom savlada sile čvrstog tela tako da uspostavi hidrostatičkoj ravnoteži i poprimi (skoro) okrugli oblik,
- (3) je očistilo okolinu svoje orbite.

U tabeli 7.3 izlistane su planete i osnovne karakteristike planeta. [\[14\]](#)

Po hemijskom sastavu planete se mogu podeliti u dve grupe: planete Zemljinog tipa i planete Jupiterovog tipa.

Planete Zemljinog tipa (terestrične planete) su: Merkur, Venera, Zemlja i Mars. Ovo su manje planete, čvrste stenovite površine, relativno velike gustine sa sporom rotacijom i imaju mali broj ili uopšte nemaju satelite. Merkur i Venera nemaju prirodne pratioce dok Zemlja ima jedan a Mars dva. Planete ovog tipa imaju atmosferu. Merkur najbliža planeta Suncu, usled Sunčeve gravitacije ima veoma razređenu atmosferu.

Planete Jupiterovog tipa (jovinske planete) su: Jupiter, Saturn, Uran i Neptun. Ovo su velike planete, gasni giganti sastavljeni uglavnom od vodonika i helijuma. Imaju brzu rotaciju, malu gustinu, veliki broj prstena i satelita.

Plutona je otkrio Klajd Tombo, 1930. godine i punih 76 godina smatrao se devetom planetom Sunčevog sistema. Na slici 7.11 prikazan je Pluton a na slici 7.12 površina Plutona. Međunarodna astronomska unija, 2006. godine, definiše planetu patuljak.

Planeta patuljak je nebesko telo koje:

- (1) se nalazi u orbiti oko Sunca,
- (2) ima dovoljnu masu da sopstvenom gravitacijom savlada sile čvrstog tela tako da uspostavi hidrostatičkoj ravnoteži i poprimi (skoro) okrugli oblik,
- (3) nije očistila okolinu svoje orbite,
- (4) nije satelit.

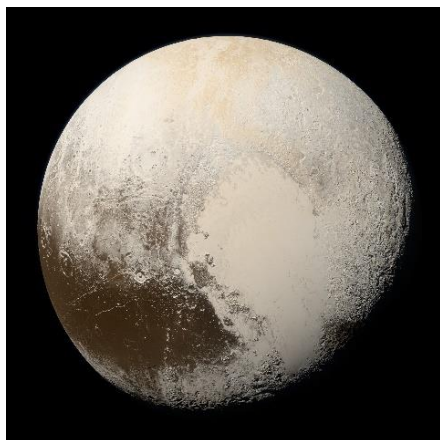
Svi ostali objekti koji se nalaze u orbiti oko Sunca izuzev satelita odlukom Međunarodne astronomske unije, dobili su naziv mala tela Sunčevog sistema.

Prema ovoj definiciji, Pluton dobija status planete patuljak.

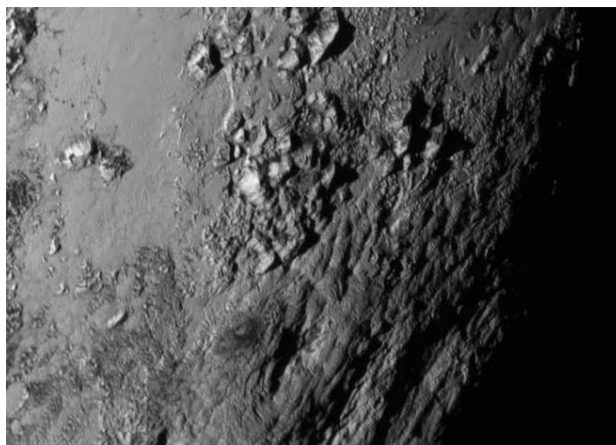
Pluton ima veoma izduženu putanju koja se razlikuje od putanja ostalih planeta. Zbog ovakve putanje dešava se da izvesno vreme Pluton bude bliži Suncu od Neptuna. Kako se veći deo vremena nalazi u orbiti iza Neptunove, Pluton pripada grupi transneptunskih objekata. Ove objekte čine objekti Kajperovog pojasa,

GLAVA 7. SUNCE I SUNČEV SISTEM

objekti rasejanog diska i Ortov oblak kometa. Pluton ima pet satelita: Haron, Niks, Hidra, Kerber i Stiks.



Slika 7.11. Pluton



7.12. Površina Plutona

Po svom položaju planete se dele na unutrašnje i spoljne, a kao granica uzima se Zemljina putanja. Prema tome unutrašnje (engl. inferior) planete su planete koje su bliže Suncu nego Zemlja: Merkur i Venera, a spoljne (engl. superior) su: Mars, Jupiter, Saturn, Uran i Neptun.

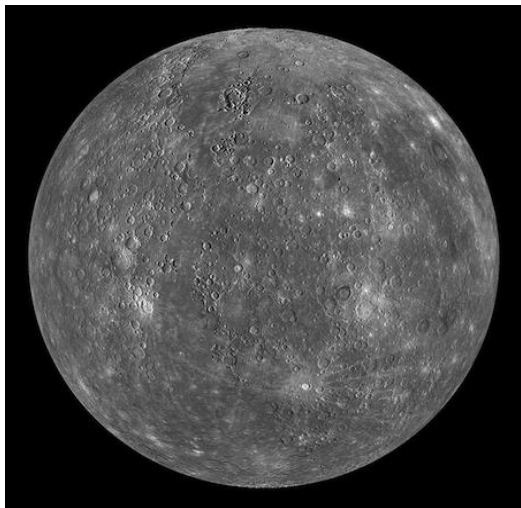
Po veličini dele se na male (ne treba ih poistovećivati sa malim planetama, tj. sa planetoidima): Merkur, Venera, Zemlja i Mars, prečnika manjeg od 13 000 km i velike planete: Jupiter, Saturn, Uran i Neptun, prečnika većeg od 48 000 km.

Tabela 7.3. Osnovne karakteristike Planeta

PLANETA	EKVATORSKI POLUPREČNIK (km)	MASA (kg)	SREDNJA GUSTINA (kg/m ³)	ROTACIJA (dani)
MERKUR	2439,7	$3,3010 \cdot 10^{23}$	5427	58,646
VENERA	6051,8	$4,8673 \cdot 10^{24}$	5243	-243,018
ZEMLJA	6371	$5,9722 \cdot 10^{24}$	5513	0,99726968
MARS	3389,5	$6,4126 \cdot 10^{23}$	3934	1,026
JUPITER	69911	$1,898 \cdot 10^{27}$	1326	0,41354
SATURN	58232	$5,6832 \cdot 10^{26}$	687	0,444
URAN	25362	$8,6810 \cdot 10^{25}$	1270	-0,718
NEPTUN	24622	$1,0241 \cdot 10^{26}$	1638	0,671

PLANETA	REVOLUCIJA (godine)	VELIKA POLUOSA (AJ)	BROJ SATELITA
MERKUR	0,2408467	0,387099	0
VENERA	0,61519726	0,723326	0
ZEMLJA	1,0000174	1,000018	1
MARS	1,8808476	1,523638	2
JUPITER	11,862615	5,20248	95
SATURN	29,447498	9,56329	83
URAN	84,016846	19,2937	27
NEPTUN	164,79132	30,2743	14

7.2.1 Merkur



Slika 7.13. Merkur



Slika 7.14. Površina Merkuar

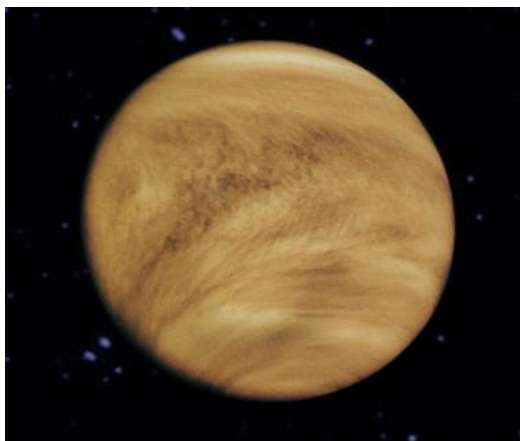
Merkur je dobio ime po rimskom bogu glasniku bogova. To je najmanja planeta (malo je veći od Meseca), malog ugaonog prečnika od 7". Teška za posmatranje jer je najbliža planeta Suncu (na udaljenosti od oko 58 miliona kilometara ili 0,39 AJ). Merkur je najbrža planeta, kreće se oko Sunca brzinom od 47 km/s. Kako je elongacija²³ planete 27,5° najbolje se posmatra pre izlaska i pre zalaska Sunca malo iznad horizonta. Veoma sjajna, najbliža planeta Sunca ali ne i najtoplija. Zbog veoma retke atmosfere Merkur ima najveće temperaturne razlike, od -173 °C u toku noći do +427 °C u toku dana. Na Merkuru nema smene godišnjeg doba zbog veoma malog nagiba svoje ose od 2,11'. Orbita Merkura ima najveću ekscentričnost od svih planeta Sunčevog sistema. U afelu Merkur je najudaljeniji od Sunca $69,8169 \cdot 10^6$ km a u perihelu najbliži $46,0012 \cdot 10^6$ km. Jedan siderički dan na Merkur (vreme potrebno da se Merkur jednom okrene, odnosno napravi pun krug u odnosu na zvezde) traje 59 zemaljskih dana. Merkur načini potpunu orbitu oko Sunca (godinu u Merkurovom vremenu) za samo 88 zemaljskih dana. Dakle, sa odnosom 2:3 Merkur u svoje dve godine ima samo tri dana. Ovo otkriće je posledica uzajamnog dejstva plimskih sila Merkura i Sunca kada je Merkur u perihelu. Na slici 7.13 prikazan je Merkur a na slici 7.14 površina Merkura.

²³ Elongacija je ugaono rastojanje između planete i Sunca izmereno sa Zemlje.

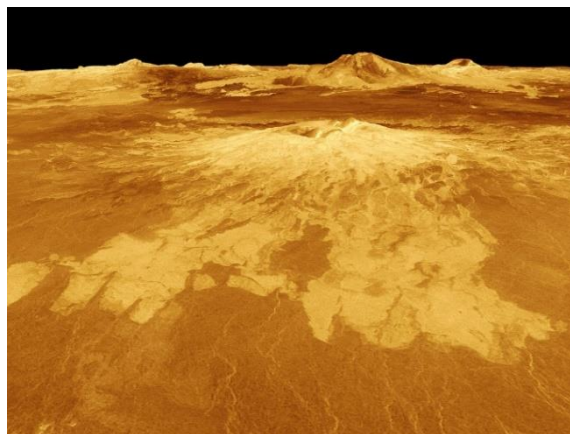
Merkur je stenovita planeta, sa čvrstom površinom, sličnom Zemljinom mesecu. Površina Merkura prekrivena je kraterima za koje se smatra da su nastali od udara asteroida u početnoj fazi formiranja planeta. Najveći krater na Merkuru ima prečnik od 1550 km (Kaloris). Gustina planete je oko $5,427 \text{ g/cm}^3$, što je čini drugom najgušćom planetom posle Zemlje. Veliko gvozdeno jezgro koje je jednim delom u tečnom stanju čini oko 55% zapremine cele planete. Merkur je izložen stalnim udarima meteora zbog svoje retke atmosfere ili egzosfera koja se sastoji uglavnom od kiseonika (O_2), natrijuma (Na), vodonika (H_2), helijuma (He) i kalijuma (K). Atomi koji su izbačeni sa površine Sunčevim vetrom i udarima mikrometeoroida stvaraju Merkurovu egzosferu. Merkur nema mesece. Oko Merkura nema prstena. Ako bi posmatrali Sunce sa površine Merkura ona bi bilo oko 3 puta veće i oko 8 puta sjajnije nego na Zemlji.

Mariner 10, 1974. godine, bila je prva misija koja je istražila Merkur. Tokom svoje misije Mariner 10 fotografisao je oko 45% površine planete. Mesindžer je prvi krenuo u orbitu oko planete, 2011. godine. Kako bi bolje proučili Merkur, svemirska letelica kompanije ESA (European Space Agency), BepiColombo, lansirana je 2018. godine i očekuje se da će stići na planetu 2025. godine.

7.2.2 Venera



Slika 7.15. Venera



Slika 7.16. Vulkan na Veneri

Na slici 7.15 prikazan je Venera a na slici 7.16 prikazan je vulkan na Veneri.

Venera je dobila ime po rimskoj boginji ljubavi i lepote. To je jedina planeta koja je dobila ime po ženskom mitološkom božanstvu i nakon odluke Međunarodne astronomske unije reljef na Veneri dobija isključivo ženska imena. Iako se smatralo da je Venera bliznakinja Zemlji jer je po veličini, masi, gustini i gravitaciji veoma slična, one se zapravo veoma razlikuju. Venerina elongacija iznosi 48° pa je najbolji period posmatranja oko tri sata pre izlaska Sunca pa otuda naziv zvezda Danica (Zornjača) kao i oko tri sata posle zalaska Sunca pa otuda naziv Večernjača. Venera je najsjajnija planeta, ima najvećim albedo²⁴ od 65%. Zbog svog velikog sjaja vidljiva je i golim okom danju. To je druga planeta najbliža Suncu, na udaljenosti od oko 108 miliona kilometara ili 0,72 AJ i najtoplija planeta od oko 462° C. Venerina atmosfera je neprozračna i oko 100 puta gušća od Zemljine. U Venerinoj atmosferi nalaze se gusti oblaci sumpor dioksida, otuda belo – žuta boja. Najveći deo atmosfere, čak 96% čini ugljen dioksida, 3% azot i 1% drugih gasovi. Ovako veliki procenat ugljen dioksida koji propušta vidljivo i ultraljubičasto zračenje od Sunca a apsorbuje infracrveno stvara efekat staklene bašte. Jedan dan na Veneri, vreme potrebno za jednu rotaciju je 243 dana ili 8 zemaljskih meseci. Venera rotira retrogradno, od istoka ka zapadu, dakle, Sunce izlazi na zapadu, a zalazi na istoku. Ona načini potpunu orbitu oko Sunca (godinu u Venerinom vremenu) za 225 zemaljskih dana. Dakle, jedan dan na Veneri je duži od Venerine godine. Radarskim merenjem utvrđeno je da je čvrsta Venerina površina prekrivena prostranim ravninama sa vulkanskim planinama i grebenastim visoravnima. Najviše uzvišenje iznosi 11 km (Maksvelove planine). Venera nema mesece i prstenove. Mnogi naučnici veruju da je voda nekada postojala na površini Venere međutim velike temperature Venere i kiseli oblaci učinili su je nemogućom za život.

Više od 40 letelica istraživalo je Veneru. Prve slike poslao je Mariner 2, Američka letelica koja se približila Veneri na oko 35 000 km, 1962. godine. Pet godina kasnije Venera 4, a kasnije 5 i 6, Ruske letelice spustile su sondu u Venerinu atmosferu. Zbog visoke temperature i velikog pritiska sonde nisu stigle na površinu. Prve podatke poslala je Venera 7 i 8, 1970. godine. Venera 9 i 10 prve crno bele fotografije nakon prvog uspešnog sletanja. Letelica Venera 13, 1981. godine, spustila je sondu na tlo Venere i poslala prve fotografije u boji. Sonda se nakon 127 minuta istopila. Američka misija Magellan mapirala je Veneru.

²⁴ Albedo (latinski Albus – beo, svetao) je broj koji pokazuje koliko se svetlosti reflektuje sa površine nekog tela.

7.2.3 Zemlja



Slika 7.17. Zemlja



Slika 7.18 Površina Zemlje

Zemlja je jedina planeta čije ime ne potiče ni iz rimske ni iz grčke mitologije. Ne zna se tačno kako je dobila ime ali naziv dolazi od staro engleske ili staro nemačke reči za tlo. Zemlja je treća planeta od Sunca (na udaljenosti od oko 150 miliona km ili 1 AJ). Temperatura se kreće od -88°C u toku noći do $+58^{\circ}\text{C}$ u toku dana. Za rotaciju oko svoje ose potrebno je 23 časa 56 minuta i oko 4 sekunde. Razlika ovog sideričkog dana i sunčanog dana je nešto manja od 4 minuta i nastaje zbog kretanja Zemlje oko Sunca. Brzina je oko pola kilometara za jednu sekundu. Zemlja napravi potpunu orbitu oko Sunca (godinu u zemaljskom vremenu) za oko 365,2564 dana. Osa rotacije nalazi se pod nagibom od oko $23,439^{\circ}$, što za posledicu daje smenu godišnjih doba. Zemlja je stenovita planeta sa čvrstom i dinamičnom površinom planina, kanjona, ravnica i još mnogo toga. Zemlja je po hemijskom sastavu sačinjena od gvožđa 32,1%, kiseonika 30,1%, silicijuma 15,1%, magnezijuma 13,9%, sumpora, nikla, kalcijuma i ostalih elemenata. Najgušća planeta Sunčevog sistema i najveća od četiri planeta Zemljinog tipa. Većina naše planete je prekrivena vodom, oko 71%, otuda i naziv „plava planeta”, ostatak čine kontinenti i ostrva. Zemljina atmosfera je 78% azota, 21% kiseonika i 1% ostalih elemenata. Zemlja ima jedan prirodni satelit Mesec i nema prstenove. Atmosfera Zemlje nas štiti od dolazećih meteoroida, od kojih se većina raspadne ili sagori pre nego što padne na površinu. Takođe, atmosfera i magnetno polje Zemlje štiti nas od radijacije sa Sunca.

Veliki broj letelica kruže u orbiti oko Zemlje.

Na slici 7.17 prikazana je planeta Zemlja a na slici 7.18 površina planete Zemlje.

7.2.4 Mars



Slika 7.19. Mars



Slika 7.20. Površina Marsa

Mars je dobio ime po rimskoj bogu rata. Veći od Merkura i skoro duplo manji od Venere, to je četvrta planeta od Sunca (na prosečnoj udaljenosti od oko 228 miliona km ili 1,52 AJ). Temperatura se kreće od -153°C u toku noći do $+20^{\circ}\text{C}$ u toku dana. Jedan dan na Marsu traje 24 sata i 37 minuta. Mars napravi potpunu orbitu oko Sunca (godinu po marsovskom vremenu) za 687 zemaljskih dana. Na Marsu, slično kao na Zemlji, postoji smena godišnjih doba, jer osa rotacije i ravan ekliptike grade ugao od 25° . Velika promena temperature između dana i noći može biti i do 80°C , što nam govori da je u pitanju pustinja. Još jedan od dokaza da su svetle površine Marsa zapravo pustinje je velika peščana bura, koja je 1956. godine u jednom periodu onemogućila posmatranja. U ekvatorskoj oblasti, otkriveni su vulkani, a najveći od njih je Nix Olimpica (Snegovi Olimpa) visine preko 20 km. Gledano sa Zemlje oblaci iznad vulkana izgledaju nam kao da je sam vulkan prekriven snegom, otuda i naziv Snegovi Olimpa. Najveći vulkan na Marsu je Olympus Mons, visine oko 26 km. Klimom na Marsu bavio se i naš veliki Milutin Milanković. Jedan krater na Marsu nosi njegovo ime. Vales Marineris je najveći kanjon u Sunčevom sistemu i nalazi se na Marsu. Dugačak je oko 4000 km, širok oko 200 km i dubine 7 km. Prosečna temperature je nešto ispod 0°C , pritisak je nizak pa vode u tečnom obliku nema. Bele oblasti koje prekrivaju severni i južni pol nazivamo polarnim kapama, po hemijskom sastavu to je zaleđeni ugljen dioksid. Na polarne kape utiču godišnja doba tako da one počinju

Otapanje početkom proleća i u toku leta gotovo potpuno iščezavaju. Mars je poznat kao crvena planeta jer minerali gvožđa na Marsu oksidiraju i izgledaju crveno. Procenat gvožđa u unutrašnjosti Marsa je manji u odnosu na ostale planete Zemljinog tipa jer je gustina Marsa nešto oko 3950 kg/m^3 . Mars ima razređenu atmosferu koju čine uglavnom ugljen-dioksid (95%), azot (3%) i u tragovima argon, kiseonika i vodena para. Mars ima dva meseca, Fobos (Strah) i Demos (Užas), otkriveni 1877. godine. Oko Marsa nema prstena. Na slici 7.19 prikazana je planeta Mars a na slici 7.20 površina Marsa.

Nekoliko misija je posetilo ovu planetu, od orbitera do rovera na površini. Prvi istinski uspeh misije na Marsu bio je prelet Mariner 4, 1965. godine koji je mapirao površinu Marsa. Misija Viking, 1976. godine imala je zadatak da otkrije mogućnost postojanja tragova života na Marsu.

7.2.5 Jupiter



Slika 7.21. Jupiter

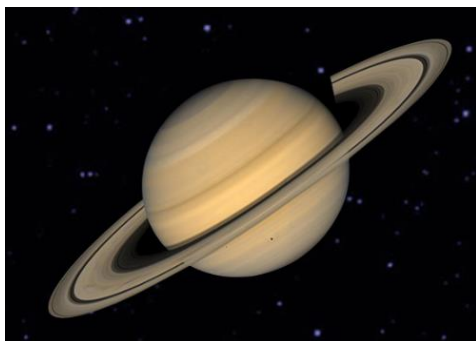


Slika 7.22. Crvena pega Jupitera

Jupiter, kralj bogova u Rimskoj mitologiji. Galileo je prvi ugledao Jupiter, 1610. godine, svega 18 meseci nakon otkrića teleskopa. Udaljen oko 778 miliona kilometara ili 5,2 AJ od našeg Sunca. Najveća planeta Sunčevog sistema, prečnika 11 puta većeg od Zemljinog. Jupiter ima malu gustinu, 1300 kg/m^3 i zapreminu svega 1,3 puta veću od Zemlje pa je masa Jupitera samo 318 puta veća od Zemljine mase i oko 1000 puta manja od mase Sunca. Posle Sunca, Meseca i Venere, Jupiter je četvrto najsjajnije telo gledano sa Zemlje, srednjeg prividnog

sjaja -2,5. Jupiter svojom gravitacijom sprečava ulazak kometa, asteroida u unutrašnjost Sunčevog sistema, ka Marsu, Zemlji, Veneri i Merkuru. Jupiter se okreće jednom na svakih 10 sati, odnosno 9 sati i 56 minuta (Jovijev dan), ali mu je potrebno nešto manje od 12 zemaljskih godina da završi jednu orbitu oko Sunca (Jovijanska godina). Periodi rotacije se razlikuju po slojevima zbog različitih atmosferskih kretanja. Jupiter je gigantska planeta, sastavljena od gasa, temperature od oko -130°C i mase 2,5 puta veće od mase svih planeta zajedno. Smatra se jednom od najlepših planeta za posmatranje. Ispod sloja vodonika, debljine oko 40 000 km, pretpostavlja se da je gvozdeno jezgro, veličine Zemlje ili još manje, gustine oko $20\ 000\ \text{kg/m}^3$, temperature oko $40\ 000^{\circ}\text{C}$ i pritiska 80 Mbar. Jupiterova atmosfera sastoji se od gustih oblaka, uglavnom vodonika oko 84% i 14% helijuma. Njegova Velika crvena pega je džinovska oluja. Površine otprilike duplo veće od Zemlje, vetrova takođe duplo brži od najbržih izmerenih vetrova na Zemlji. Brzine i do 400 km/h smatra se da su posledica brze rotacije Jupitera. Zbog brzine rotacije planeta izgleda kao da je sastavljena iz traka paralelnih prečniku. Različite boje traka potiču od različitih hemijskih elemenata u gornjim delovima atmosfere Jupitera. Jupiter ima oko 95 satelita. Prvih četiri otkrio je Galileo. Ganimed je najveći satelit Jupitera, a ujedno i najveći satelit našeg Sunčevog sistema i jedini satelit koji ima svoje magnetno polje. Neki naučnici smatraju da ispod površine Ganimeda ima vode u tečnom stanju. Io, satelit najbliži Jupiteru, ima preko 100 vulkana što ga čini mesecom sa najviše aktivnih vulkana. Kalisto je drugi najveći mesec Jupitera i treći po veličini u našem Sunčevom sistemu. Ima najveći broj kratera i najstariju površinu od svih tela Sunčevog sistema. Evropa je gotovo cela prekrivena ledom. Smatra se da ima okeane slane vode i da je najbolje mesto za potencijalni život van naše planete. Misija *Vojadžer*, 1979. godine, otkrila je Jupiterove prstene, znatno slabijeg sjaja od Saturnovih. Prsteni su sačinjeni od čestica prašine i ostataka Jupiterovih satelita. Kako nisu sastavljeni od leda, teško su uočljivi jer nisu sjajni kao Saturnovi. Dakle, sve četiri gigantske planete u našem Sunčevom sistemu imaju prstene. Na slici 7.21 prikazan je Jupiter a na slici 7.22 crvena pega Jupitera. Sedam letelica je prošlo pored Jupitera, a dve su obišle Jupiter. Svemirska letelica *Juno* stigla je na Jupiter 2016. godine.

7.2.6 Saturn



Slika 7.23. Saturn



Slika 7.24. Saturnovi prsteni

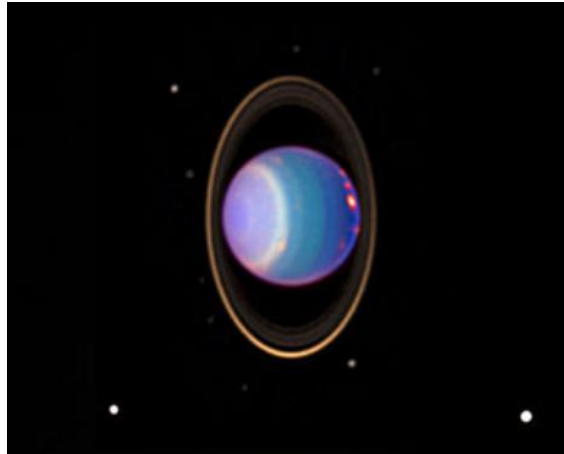
Saturn je šesta planeta od našeg Sunca, na udaljenosti od oko 1,474 milijardi kilometara ili 9,54 AJ od Sunca. Po veličini to je druga planeta posle Jupitera. Prečnika oko 9 puta većeg od prečnika Zemlje. Saturnu je potrebno oko 10,7 sati da se jednom zarotira oko svoje ose i oko 29 zemaljskih godina da bi obišao Sunce. Temperature negde oko -150° C. On je najsploštenija planeta i jedina sa gustinom manjom od gustine vode, svega 700 kg/m^3 . Saturn je gasovita planeta koje potencijalno ima čvrsto jezgro. Ispod sloja tečnog molekuskog vodonika leži sloj tečnog metalnog vodonika, manje debljine i zbog toga 20 puta slabijeg magnetnog polja od Jupiterovog. Saturnovu atmosferu čini vodonik oko 93% i helijum oko 5%. Pege se na Saturnu pojavljuju i nestaju, oluje traju po nekoliko meseci a zatim se smire i pega nestane. Saturn ima najspektakularniji sistem od sedam koncentrična prstena A, B, C, D, E, F, različitog sjaja i nekoliko praznina između njih. Prsten se sastoji od čestica leda i stena prečnika od nekoliko centimetara do nekoliko metara. Čestice bliže Saturnu se brže kreću od onih koji su dalje od planete. Đovani Domeniko Kasini, italijanski astronom je 1675. godine otkrio da postoji pukotina između prstena A i B. Pukotina je dobila ime po Kasiniju, Kasini pukotina. I ostali razmaci među prstenovima poneli su imena astronoma koji su ih otkrili. Saturn ima 83 satelita. Po udaljenosti od planete njegovi meseci su Pan, Atlas, Prometej, Pandora, Epimetej, Jan i drugi. Titan je drugi po veličini mesec Sunčevog sistema i najveći satelit Saturna. Na slici 7.23 prikazan je Saturn a na slici 7.24 Saturnovi prstenovi.

Nekoliko misija je posetilo Saturn. Proleteli su Pionir 11 i Vojadžer 1 i 2 a Kasini je orbitirao oko Saturna 294 puta od 2004. do 2017. godine.

7.2.7 Uran



Slika 7.25. Uran

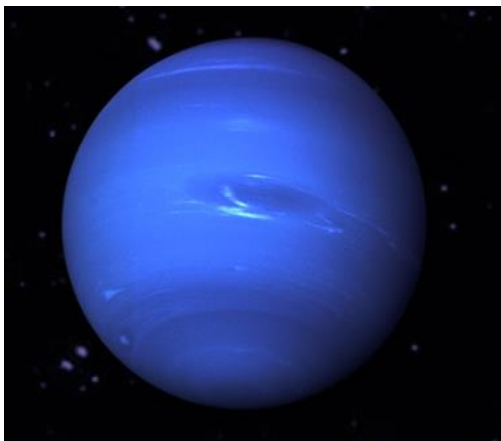


Slika 7.26. Uraova rotacija u stranu

Uran je dobio naziv po grčkom bogu neba. Otkrio ga je svojim teleskopom Vilijam Heršel, 1781. godine. Heršel je mislio da je otkrio zvezdu ali dve godine kasnije Uran je prihvaćen kao planeta. Zasluge za to pripadaju astronomu Džonu Bod koji mu je i dao ime. To je sedma planeta od Sunca na udaljenosti od oko 2,9 milijardi kilometara ili 19,2 AJ. Treća po veličini i najhladnija planeta Sunčevog sistema, sa temperaturom i do -224° C. Uranu je potrebno oko 17 sati da zarotira oko svoje ose (Uranski dan) i oko 84 zemaljske godine da obiđe oko Sunca (Uranska godina). Nagib Urana je veliki pa ako na severnom polu vidimo izlazak Sunca, zalazak ćemo videti za 42 zemaljske godine, odnosno jedan dan trajaće pola Uranove godine. Uran ima malo stenovito jezgro i oko njega sloj leda vode, metana i amonijaka, otuda naziv ledeni gigant. Njegovu atmosferu čini vodonik 84%, helijuma 15% i 1% metana. Plavičasta boja potiče od metana. Uran ima 27 poznatih meseca. Po veličini redom, to su: Oberon (prečnika oko 1600 km), Titanija, Umbriel, Ariel, Miranda i drugi. Imena su dobili po likovima iz dela Vilijama Šekspira i Aleksandra Popa. Njegovi sateliti su veoma male mase, tako da svi zajedno imaju pola mase Tritona (Neptunovog satelita). Uran ima 13 prstena. Unutrašnji su uski i tamni, a spoljni su jarko obojeni. Veoma uzani pa samim tim i ne toliko upadljivi kao kod Saturna. Slično Veneri, Uran se okreće od istoka ka zapadu što se za razliku od ostalih planeta on okreće na stranu. Nagib Zemlje u odnosu na ravan Sunca je $23,5^{\circ}$, dok je nagib Urana 99° . Na slici 7.25 prikazan je Uran a na slici 7.26 Uranova rotacija u stranu.

Voyager 2, 1986. godine je jedina svemirska letelica koja je proletela pored Urana.

7.2.8 Neptun



Slika 7.27. Neptun



Slika 7.28. Neptunove oblačne pruge

Neptun je osma planeta od Sunca. Otkrio ga je Johan Gale 1846. godine na opservatoriji u Berlinu. Od Sunca udaljen je oko 4,5 milijardi kilometara ili oko 30,1 AJ. To je jedina planeta našeg Sunčevog sistema koja nije vidljiva golim okom. Najudaljeniji ali ne i najhladniji, temperature do -220° C. Neptun je najmanja gasovita planeta, velike mase, odnosno, najgušća gasovita planeta. To je ledeni gigant, po sastavu veoma sličan Uranu. Neptunu treba oko 16 sati da se jednom rotira (neptunski dan) i oko 165 zemaljskih godina da bi obišao oko Sunca (neptunska godina). Dakle, jedna godina na Neptunu traje oko 165 godina na Zemlji. On je oko 17 puta masivniji od Zemlje i skoro četiri puta veći, gravitacije skoro iste kao na Zemlji. Na Neptunu duvaju vetrovi i do 2100 km/h. Neptunovu atmosferu uglavnom čine molekularni vodonik, helijum i metan. Prisustvo metana daje plavičastu boju. Neptun ima 14 poznatih meseca koji su u grčkoj mitologiji nazvani po morskim bogovima i nimfama. Najveći od njih je Triton, prečnika 2700 km, pa zatim Protej, prečnika 418 km, Nereida, Larisa i drugi. Ima pet glavnih prstena i još četiri prstenasta luka. Kako su sačinjeni od prašine i ostataka njegovih satelita koji ne reflektuje svetlost, prsteni Neptuna su skoro pa nevidljivi. Na slici 7.27 prikazan je Neptun a na slici 7.28 prikazane su Neptunove oblačne pruge.

Voyager 2 je jedina svemirska letelica koja je posetila Neptun.

Zbog eliptične orbite, patuljasta planeta Pluton je ponekad bliži Suncu nego Neptun.

Animacija planeta i malih tela Sunčevog sistema može se videti na sledećem linku: <https://www.geogebra.org/m/x8w85g8w>.

7.3 Sateliti

Sateliti su prirodni pratioci planeta. Kruže oko svoje zamišljene ose, oko planete i sa planetom oko Sunca. Osam planeta zajedno imaju 222 satelita. Merkur i Venera nemaju satelite, Zemlja ima jedan a Mars dva. Jupiter ima 95, Saturn 83, Uran 27 i Neptun ima 14 satelita.

7.3.1 Osnovne karakteristike Meseca

Mesec je najsjajniji objekat na nebu, posle Sunca. On je jedini prirodni satelit Zemlje. Do 1609. godine naš mesec bio je i jedini nama poznat satelit. Te godine Galileo je otkrio još 4 satelita, Jupiterova satelita. Mesec je udaljen od Zemlje oko 385 000 kilometara. Kreće se po eliptičnoj putanji oko Zemlje, od zapada ka istoku, brzinom oko 1 km/s. Vremenski period od jednog prolaska Meseca kroz neku tačku na nebu, kao što je referentna zvezda, do sledećeg prolaza kroz tu istu tačku iznosi 27^d 7^h 43^m 11,5^s (27,32 dana). Taj vremenski period naziva se Siderički Mesec. Rotacije Zemlje i Meseca su toliko sinhronizovane da stalno vidimo samo jednu stranu Meseca. U tabeli 7.4 izlistane su opšte karakteristike Meseca.

Ruska letelica 1959. godine omogućila je da vidimo tamnu stranu meseca. Mesec je stenovito telo sa čvrstom površinom, čiji je veći deo u kraterima, nastalih od udara asteroida. Mesec ima vrlo tanku atmosferu koja se naziva egzosfera. Lansirano je više od 105 robotskih svemirskih brodova za istraživanje Meseca. To je jedino nebesko telo izvan Zemlje, do sada, koje su posetili ljudi. Dvadeset četiri astronauta putovalo je do Meseca a čak dvanaest je i hodola po Mesecu. Mesečeva slaba atmosfera i nedostatak tečne vode ne mogu podržati život kakav poznajemo. Astronauti Apolona vratili su na Zemlju ukupno 382 kg mesečevih stena koje se još uvek proučavaju.

GLAVA 7. SUNCE I SUNČEV SISTEM

Tabela 7.4. Satelit Meseć

	MESEC
SREDNJI POLUPREČNIK	1737,4 km
EKVATORSKI POLUPREČNIK	1738,1 km
POLARNI POLUPREČNIK	1736,0 km
POVRŠINA	37 932 220 km ²
MASA	0,07346 · 10 ²⁴ kg
SREDNJA GUSTINA	3344 kg/m ³
ZAPREMINA	0,021952 · 10 ¹² km ³
SPLJOŠTENOST	0,0012
BRZINA	2,38 km/s
TEMPERATURA	-3,15° C
SREDNJA MAGNITUDA	-12,7
ALBEDO	0,12
PERIOD ROTACIJE	29,530589 dana
PERIOD REVOLUCIJE	27,321661 dana
NAGIB EKVATORA PREMA EKLIPTICI	1,53°
NAGIB PUTANJE PREMA EKLIPTICI	5,15°
SINODIČKI MESEC	29 ^d 12 ^h 44 ^{min} 2,9 ^s
GRAVITACIJA	1,624 m/s ²
SREDNJA ORBITALNA BRZINA	0,97 – 1,08 km/s
RASTOJANJE ZEMLJA - MESEC (od centra do centra)	384 400 km (SREDNJE) 363 300 km (U PERIGEJU) 405 500 km (U APOGEJU)

Na slici 7.29 prikazan je Meseć a na slici 7.30 prikazana je površina Meseća.



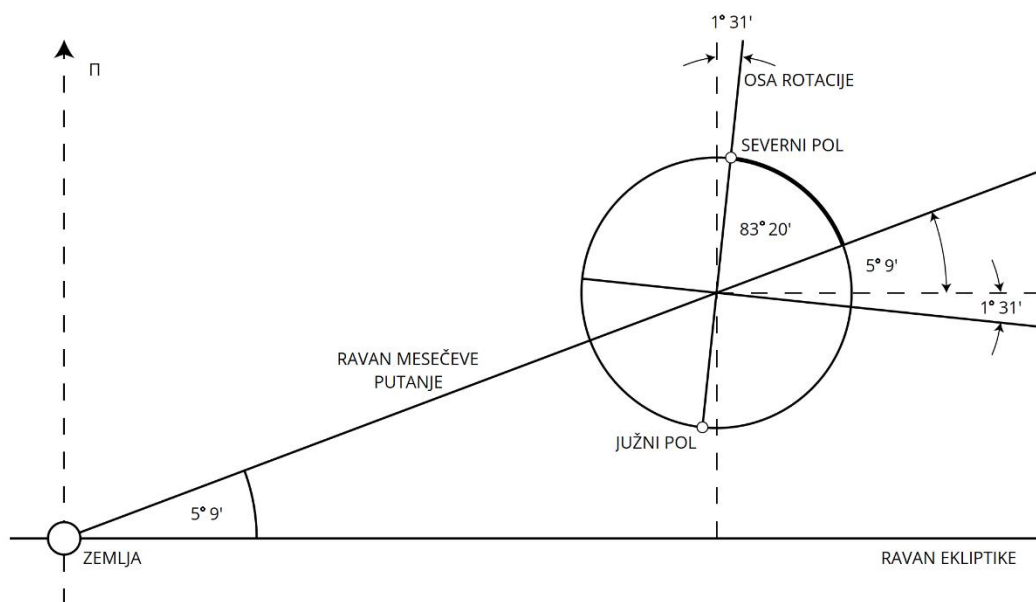
Slika 7.29. Meseć



Slika 7.30. Površina Meseća

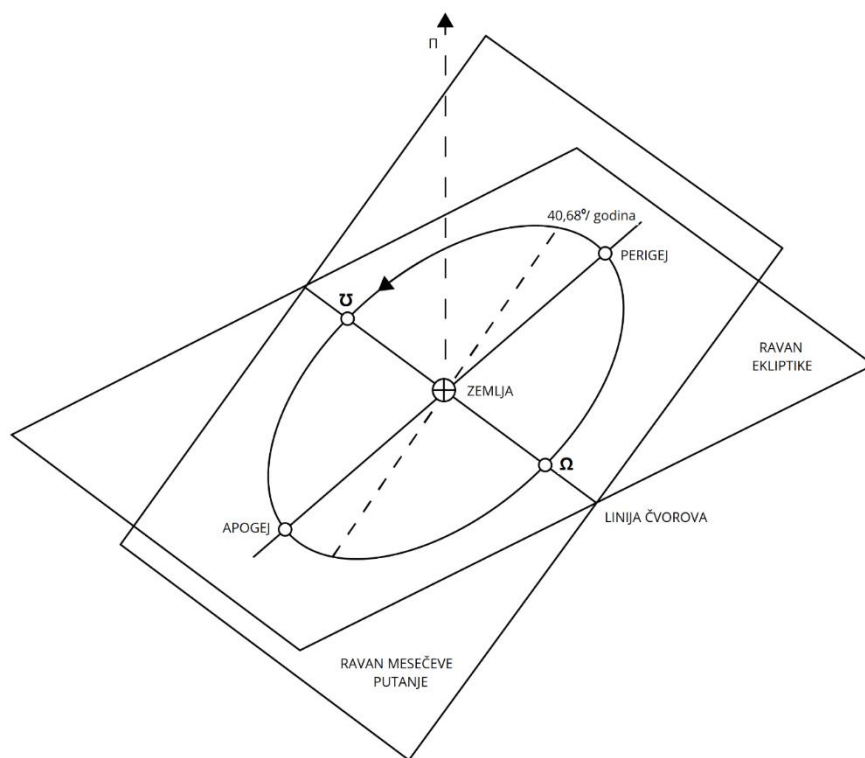
7.3.2 Kretanje Meseća

Ravan Mesečeve putanje i ravan ekliptike grade ugao od $5^{\circ} 9'$.



Slika 7.31. Ravan Mesečeve putanje i ekliptike

Osa rotacije Meseca uzdignuta je od ravni Mesečeve putanje za $83^{\circ} 20'$ a od normale na ravan ekliptike za $1^{\circ} 31'$, zato kažemo da se Mesec obrće normalno na ravan ekliptike. Na slici 7.31 prikazana je ravan Mesečeve putanje i ekliptike.



Slika 7.32. Mesečeva putanja

Na slici 7.32 prikazana je ravan Mesečeve putanje. Mesec se kreće po eliptičnoj putanji oko Zemlji (Mesečeva putanja) koja se i sama kreće. Ona menja položaj u ravni tako što se okreće u istom smeru u kojem se Mesec okreće oko Zemlje. To okretanje je zapravo kretanje velike ose Mesečeve putanje. Velika osa putanje, zamišljena prava koja spaja apogej sa perigejom za godinu dane pređe put od $40,68^{\circ}$ a za pun zaokret potrebno joj je oko 8 godina i 310 dana. Zbog okretanja Mesečeve putanje interval vremena između dva uzastopna prolaska Meseca kroz perigej zovemo anomalistički mesec koji traje $27,554551$ dana, što je nešto duže od sideričkog meseca.

Uzlazni čvor (Ω) je tačka u kojoj Mesec prelazi sa južne strane na severnu stranu ekliptike. Obrnuto, silazni čvor (ω) je tačka u kojoj Mesec prelazi sa severne na

južnu stranu ekliptike. Prava preseka ravni ekliptike i ravni Mesečeve putanje je prava koja povezuje čvorove. Kako ravan Mesečeve putanje nije uvek u istom položaju tako ni linija čvorova ne može biti. Ona se zaokrene u prostoru za $19,355^\circ$ u toku godine. Odnosno, pun obrtaj napravi za 18,6 godina. To vreme naziva se period regresije čvorova jer se ravan Mesečeve putanje i čvorovi kreću suprotno od smera kretanja Meseca oko Zemlje, odnosno, od istoka prema zapadu.

Ovaj smer suprotan je smeru kretanja Meseca oko Zemlje kao i smeru godišnjeg kretanja Sunca, što utiče na pomračenja, jer se pomračenja mogu dogoditi samo kada je Mesec u blizini čvorova. Zbog obrtanja linije čvorova period prolaska Meseca kroz jedan izabrani čvor, kraći je od sideričkog meseca i iznosi 27,21 dan. Taj period se zove nodički mesec (nod lat. = čvor) ili drakonistički mesec.

Složenost mesečevog kretanje posledica je složenog gravitacionog polja. Mesec se kreće u Zemljinom gravitacionom polju i istovremeno u Sunčevom gravitacionom polju. Kako je privlačna sila Sunca dva puta veća od Zemljine, možemo reći da se Mesec kreće oko Sunca a Zemljina gravitacija utiče na poremećaje Mesečeve putanje jer prisiljava Mesec da se kreće oko nje.

7.3.3 Libracija

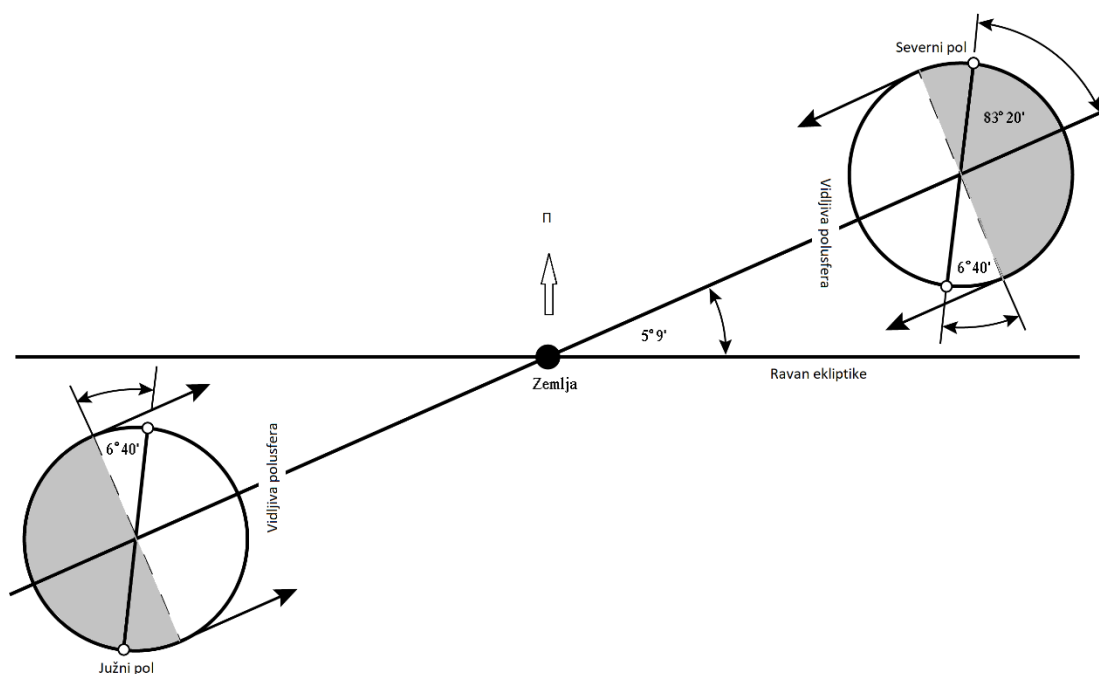
Kako je period rotacije Meseca jednak period revolucije mi vidimo samo jednu polovinu Mesečeve površine. Tu stranu Meseca vidimo samo kada je on pun. Međutim zahvaljujući libraciji²⁵ možemo videti nešto više od polovine Meseca, oko 59% Mesečeve površine.

Postoje tri vrste libracije libracija po širini, libracija po dužini i paralaktička libracija.

²⁵ Libracija je periodično kretanje oko položaja ravnoteže, ljuhanje, njihanje.

Libracija po širini (Libracija u latitudi)

Kada Mesec prilikom kretanja oko Zemlje pređe severno od ekliptike on nam tada otkriva područje oko južnog pola druge strane koje inače ne vidimo. Slično, kada silazi južno od ekliptike otkriva nam deo kod severnog pola druge strane. Deo koji nam se otkriva iznosi $6^{\circ} 40'$ dalje od polova jer je za toliko Mesečeva osa udaljena od normale. Odnosno ponekad i do $6^{\circ} 50'$ zbog promena u položaju Mesečeve ose usled nutacije. Na slici 7.33 prikazana je libracija po širini.



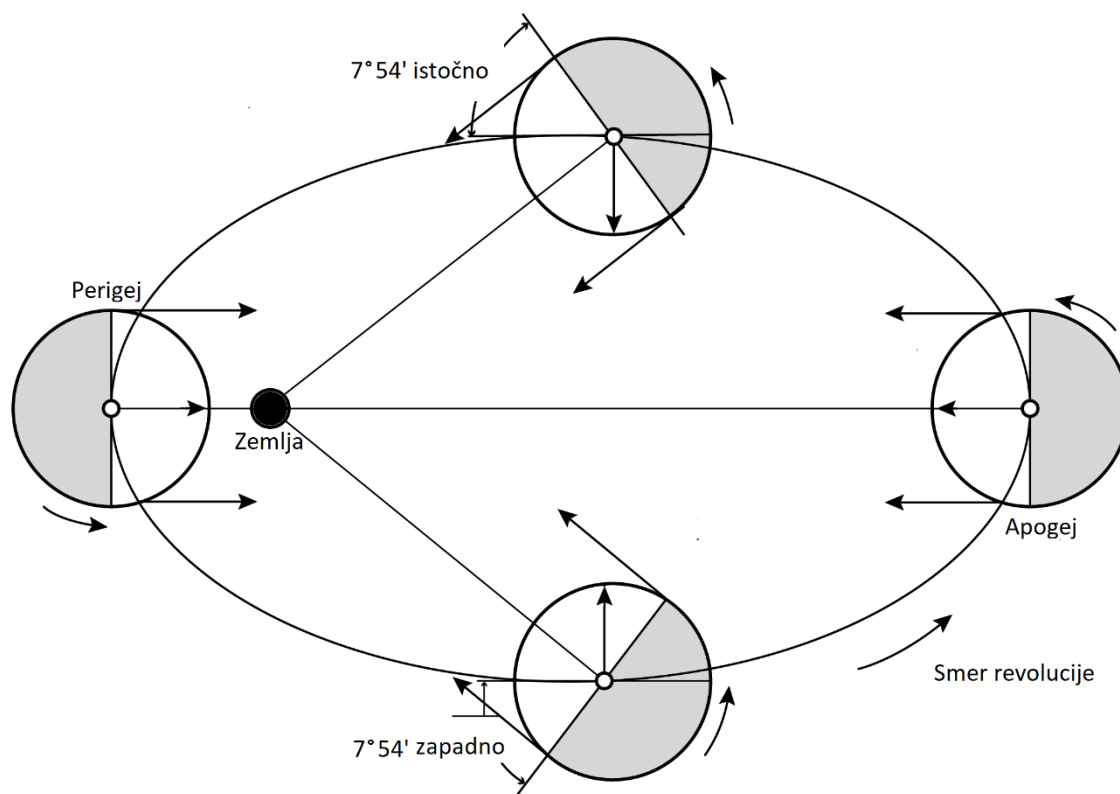
Slika 7.33. Libracija po širini

Libracija po dužini (Libracij u longitudi)

Libracija po dužini je posledica izduženosti Mesečeve putanje. Mesec za isto vreme pređe putanju oko naše Zemlje i okrene se oko svoje ose. Brzina rotacije je stalna ali brzina revolucije se razlikuje. Kako Mesec ide ka perigeju brzina mu raste a kada ide ka apogeju brzina se smanjuje tako da se rotacija i revolucija u toku samog kretanja ne podudaraju.

Kada se u svojoj revoluciji Mesec kreće od apogeja ka perigeju, odnosno, kada mu je brzina revolucije povećana, on se, zbog konstantne brzine rotacije, okrene više nego što bi trebalo da su njegova kretanja stalno sinhronizovana. Tada vidimo deo njegove dalje istočne strane i to za $7^{\circ} 54'$ više nego što obično vidimo. Slično, u drugom delu svoje putanje kada se se Mesec kreće od perigeja ka apogeju on usporava svoju brzinu i ne stigne da okrene Zemlji potpuno svoju stranu pa nam otkriva zapadniji deo svoje strane i to za $7^{\circ} 54'$.

Ovakvim kretanjem mi imamo utisak da se Mesec ljulja i to zovemo libracija po dužini. Na slici 7.34 prikazana je libracija po dužini.



Slika 7.34. Libracija po dužini

Paralaktička libracija

Paralaktička libracija za razliku od libracije po širini i dužini, nije posledica kretanja Meseca, već odnosa veličine Zemlje i Meseca i njihove udaljenosti. Zbog promene položaja posmatrača na Zemlji, tačke na Mesečevoj površini koje su blizu ruba diska postaju vidljive pod različitim uglovima. Zemlja je veća od Meseca pa kada posmatramo Mesec iz dijametralno suprotnih tačaka sa Zemlje videćemo neke dalje delove njegove površine sa strane koje nismo videli. Odnosno, ako posmatramo Mesec uveče pa ujutru onda ćemo ujutru videti deo njegove površine koji uveče nismo mogli da vidimo. Maksimum paralaktičke libracije iznosi svega oko 1° .

7.3.4 Mesečeve mene

Mesečeve mene su periodične promene u osvetljenosti Meseca koje se javljaju u toku jednog Mesečevog ciklusa. Ceo ciklus Mesečevih mena traje $29^d 12^h 44^m 2,8^s$ (29,53 srednjih sunčanih dana), naziva se Sinodički Mesec i sastoji se od četiri osnovne faze: mladi Mesec (Mladina), rastući Mesec (prva četvrt), pun Mesec (Uštap) i opadajući Mesec (poslednja četvrt).

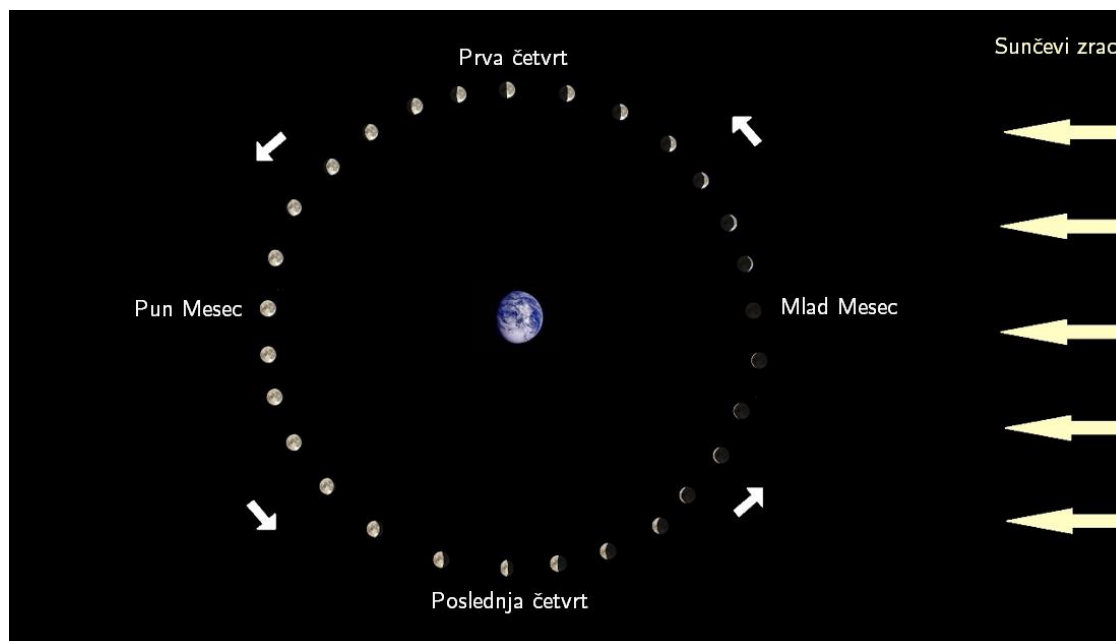
Mladi Mesec je prva faza Mesečevog ciklusa. Mesec je tada između Zemlje i Sunca i osvetljenost njegove površine koja je okrenuta ka Zemlji je veoma mala. To je faza kada se Mesec sa Zemlje ne može videti jer izlazi i zalazi sa Suncem.

Nakon faze mladog Meseca sledi faza rastućeg Meseca. U ovoj fazi, Mesec se udaljava od Sunca u svom putovanju oko Zemlje, što omogućava da se sve više njegove osvetljene površine vidi sa Zemlje. Tada on prolazi kroz fazu tanak srp kada je ispupčeni deo okrenut ka Suncu. Kako Mesec nastavlja da raste dolazi u fazu prva četvrt kada je potpuno osvetljena njegova desna polovina. To je period kada Mesec izlazi oko podne i zalazi oko ponoći. U fazi rasta Mesec izgledom podseća na slovo D (kažemo Mesec dobija).

Pun Mesec (uštap) je treća faza u Mesečevom ciklusu. U ovoj fazi, Mesec se nalazi suprotno od Sunca u odnosu na Zemlju pa je celokupna osvetljena površina vidljiva sa naše planete. Mesec izgleda kao pun krug na noćnom nebu, izlazi uveče a zalazi ujutru.

Nakon punog Meseca sledi faza opadajućeg Meseca. Osvetljenost Meseca počinje da opada i u jednom trenutku vidljiva je samo leva polovina Meseca.

To je poslednja četvrt, vreme kada Mesec izlazi oko ponoći i zalazi oko podne. Mesečev osvetljeni deo nastavlja da se postepeno sužava, vrhovi srpa okrenuti su prema Zapadu i Mesec izgledom podseća na slovo G (kažemo Mesec gubi) sve dok se ne vrati u fazu mladog Meseca. Na slici 7.35 prikazane su Mesečeve mene. Zamišljena linija koja razdvaja svetli i tamni deo Meseca zove se terminator.



Slika 7.35. Mesečeve mene

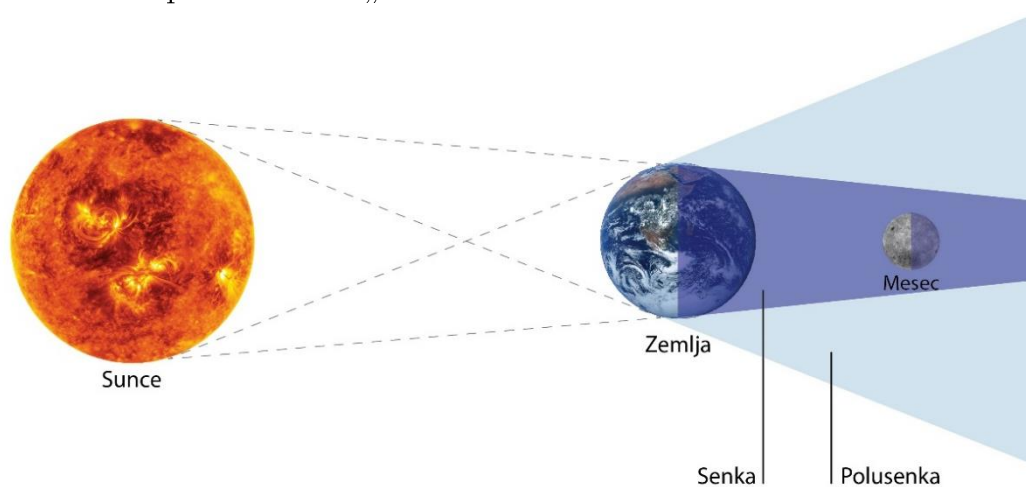
7.3.4 Pomračenje meseca

U nekom trenutku tokom svog kretanja, Zemlja će se naći između Sunca i Meseca tako da blokira Sunčevu svetlost da obasja Mesec. Mesec će se tada naći u senci Zemlje. Senka Zemlje ima konusni oblik, zbog odnosa veličina Zemlje i Sunca. Dužina senke je oko 1 367 600 km i na sredini razdaljine Meseca od Zemlje ima prečnik oko 9170 km, odnosno oko $1^{\circ} 24'$. Kako je prividni poluprečnik Meseca $15'$ a poluprečnik senke Zemlje 5,6 puta veći, Mesec može biti potpuno u senci. On ulazi u senku onog trenutka kada rastojanje centra senke i centra Meseca bude manje od $57'$. Ta pojava zove se pomračenje Meseca. Pomračenje Meseca se dešava samo tokom faze punog Meseca ali ne uvek jer putanja Meseca ne leži u

ravni ekliptike. Da bi se ova pojava dogodila neophodno je i da pun Mesec bude u svojim čvorovima²⁶ ili veoma blizu njih. Odnosno, blizu ravni ekliptike, što je manje od 11° od centra senke. U toku jedne godine može biti maksimalno tri pomračenja Meseca. Na početku godine, kada se Mesec nađe u jednom svom čvoru, nakon šest meseci u drugom čvoru i onda krajem godine ponovo u prvom čvoru. Postoje dve vrste pomračenja Meseca, delimično i totalno pomračenje Meseca.

U delimičnom pomračenju Meseca, Zemlja delimično zaklanja Sunčevu svetlost koja dospeva do Meseca. To znači da samo deo Meseca ulazi u senku Zemlje, dok ostatak ostaje osvetljen. Posmatrači mogu videti da se Mesec delimično zasenčuje, obično na jednom delu svoje površine. Ova vrsta pomračenja se javlja kada je Mesec u ili blizu faze punog meseca.

Totalno pomračenje Meseca se događa kada se ceo Mesec nalazi u Zemljinoj senki. Ovo se dešava kada je Zemljina senka dovoljno velika i Mesec se potpuno nalazi u njoj. Mesec prvo ulazi u Zemljinu polusenku koju formiraju zajedničke unutrašnje tangente Sunca i Zemlje. Potpuno pomračenje traje oko sat i po i počinje od trenutka kada ceo Mesečev disk uđe u Zemljinu senku do trenutka kada počinje iz nje da izlazi. Tokom totalnog pomračenja, Mesec može dobiti crvenkastu boju zbog prolaska Sunčeve svetlosti kroz Zemljinu atmosferu, što rezultira efektom poznatim kao „krvavi mesec“.



Slika 7.36. Delimično i potpuno pomračenje Mesec

²⁶ Mesečevi čvorovi su krajevi linija na kojima se seku ravan ekliptike i ravan Mesečeve putanje.

Glavna razlika između delimičnog i totalnog pomračenja Meseca je stepen zasenčenosti Meseca. U delimičnom pomračenju, samo deo Meseca ulazi u senku, dok u totalnom pomračenju ceo Mesec ulazi u senku. Na slici 7.36 prikazano je delimično i potpuno pomračenje Meseca.

Totalna pomračenja su manje učestala od delimičnih pomračenja.

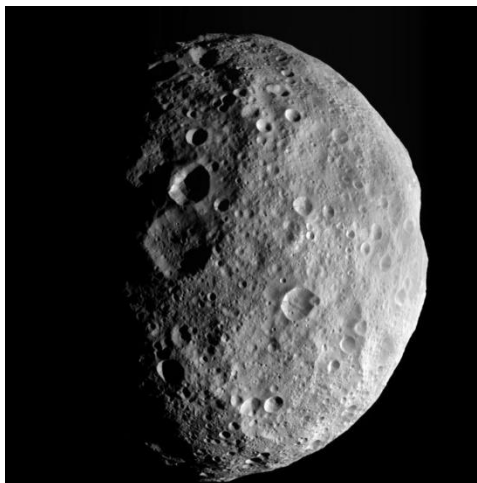
Simulacija pomračenja Meseca u 2D može se videti na sledećem linku: <https://www.geogebra.org/m/tykczk3f>.

7.4 Planetoidi, komete i meteoroidi

7.4.1 Planetoidi

Planetoidi, ili asteroidi (male planete), su kameniti ostaci bogati vodom, nastali još u vreme formiranja našeg Sunčevog sistema pre oko 4,6 milijardi godina. Ova mala tela sadrže tragove o tome kako je naš Sunčev sistem nekada izgledao. Većina asteroida nalazi se u asteroidnom pojasu između Marsa i Jupiter na rastojanju od 2,2 do 3,3 AJ od Sunca. Deo asteroidnog pojasa bez asteroida, otkrio je 1857. godine Daniel Kirkvud. Promenom velike poluose orbita asteroida usled uticaja Jupiterove gravitacije formiraju se praznine u asteroidnom pojasu. Te praznine zovemo Kirkvudove praznine. Asteroidi, dimenzija od nekoliko metara do preko 500 km, različitog, obično, nepravilnog oblika i nepravilne rotacije, kreću se po eliptičnim orbitama oko Sunca. Neki asteroidi putuju sami, neki uz sebe imaju prateći satelit (jedan ili dva) a neki su u takozvanom dvojnog ili trojnog sistemu (dva ili tri asteroid približne veličine i sastava orbitiraju jedan oko drugog). Prvi takvu malu planet posmatrao je Pjaci 1801. godine a Gaus je ustanovio da se planeta kreće oko Sunca na udaljenosti od 2,77 AJ. Planeta je nazvana Ceres i bila je najveća mala planeta, prečnika 933 km. Ceres je 2006. godine dobio status planete patuljka. Mala planeta Palas, otkrivena je 1802. godine, druga po veličini, prečnika 550 km. Pet godina kasnije, 1807. godine otkriven je asteroid Vesta, prečnika 525 km, drugi najmasivniji i treći po veličini asteroid. Obe male planete otkrio je Hajnrh Olbers. Na slici 7.37 prikazan je asteroid Vesta. Danas je poznato oko milion ovakvih malih planeta. Ukupna masa svih asteroida zajedno je manja od mase Zemljinog Meseca. Dakle, u odnosu na

planete, njihova veličina i masa je zanemarljiva, međutim oni mogu biti veoma opasni za život na Zemlji.



Slika 7.37. Vesta

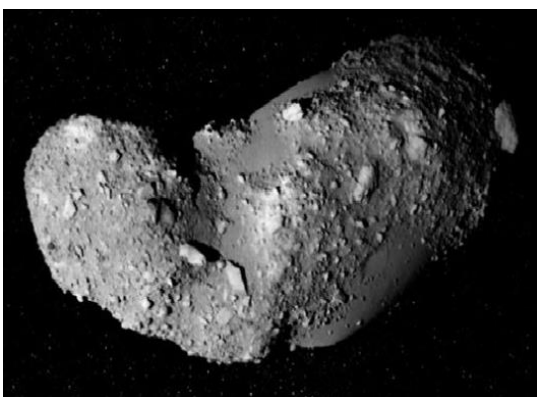
Gravitacija Jupitera menja orbite asteroida, razbacuje ih u svemir u svim pravcima preko orbita ostalih planeta. Iz tog razloga, veoma je važno ispratiti asteroide čiji putevi presecaju Zemljinu orbitu.

Postoji nekoliko grupa asteroida koje možemo podeliti u zavisnosti od udaljenosti od Sunca. [\[15\]](#) To su: presretači (asteroidi najbliži Suncu, koji mogu doći u blizini Zemlje), glavni asteroidni pojas (oko 95% asteroida su u ovom pojasu), trojanci²⁷ (grupe asteroida L4 i L5 koje se nalaze na stabilnim Lagranžovim tačkama²⁸) i kentauri (nalaze se u spoljašnjem delu Sunčevog sistema). U zavisnosti od sastava asteroide možemo podeliti u tri klase: C, karbonatni (glina i silikatni material), S, silikatni (silikatnih materijala i niki-gvožđa) i M, metalni (metal, niki-gvožđa). Različiti sastav potiče od toga kojim su temeperaturama bili izloženi, odnosno na kojoj udaljenosti od Sunca su nastali. Asterodi: Srbija, Beograd, Tesla, Milanković

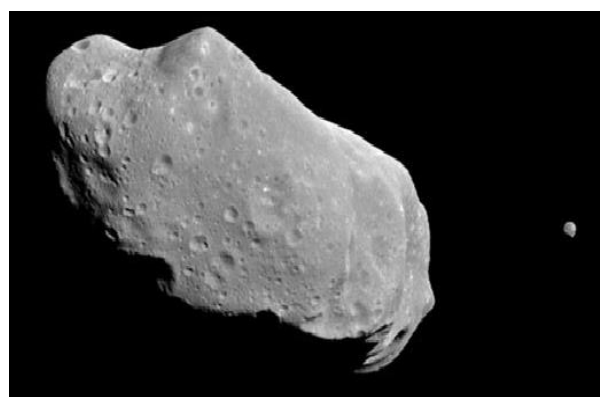
²⁷ Trojanci su dve grupe asteroida koje leže na Jupiterovoj orbiti, 60° stepeni ispred i iza Jupitera. Otkrio ih je francuski matematičar Jozef Lagranž 1772. godine na osnovu stabilnih tačaka jednakostraničnog trougla u čijim temenima su Sunce, Jupiter i asteroid.

²⁸ Lagranžove tačke su pozicije u kojima je gravitaciona sila dva dominantna tela tačno jednaka centripetalnoj sili potrebnjoj da se mali objekat kreće sa njima.

i nekoliko desetina drugih otkriveni su na Astronomskoj opservatoriji u Beogradu. Itokawa je prvi asteroid sa kojeg su uzorci uzeti i doneti na Zemlju. Japanska letelica Hajabusa uzorak je dostavila na Zemlju 2010. godine. Na slici 7.38 prikazan je meteoroid Itokawa. Ida je prvi otkriveni asteroid koji ima svoj mesec Dactyl. Nasina letelica Galileo, 1993. godine uslikala je ovaj asteroid a tek pet meseci kasnije na fotografijama je otkriven i njegov mesec. Na slici 7.39 prikazan je meteoroid Ida i njegov mesec.



Slika 7.38. Itokawa 25413



Slika 7.39. Ida 243 i njegov mesec

7.4.2 Komete

Tela male mase i male gustine sastavljena uglavnom od leda, prašine i stena. U sastavu kometa možemo izdvojiti i metan, amonijak i primese drugih gasova. Svaka kometa sastoji se od jezgra, prosečne veličine od 1 do 10 km. Kada se kometa približava Suncu, ona se zagreva i tako razvija atmosferu ili komu. Led komete se topi i postaje gas i koma postaje sve veća, čak i nekoliko stotina hiljada kilometara. Kada rastojanje između Sunca i komete bude manje od 2 AJ, pritisak Sunčeve svetlosti i solarnih čestica velike brzine (solarni vetar) mogu da oduvaju kominu prašinu i gasove od Sunca, formirajući tako dva svetla repa. Prašnjasti rep je žućkaste boje i sastavljen je od finih čestica prašine koje reflektuju Sunčevu svetlost. Rep je uvek okrenut suprotno od Sunca i može biti dugačak i do 100 miliona kilometara. Drugi manje svetao, plavičasti rep nazivamo plazmeni rep. On je često nevidljiv golim okom jer se sastoji od jonizovanog gasa koji emituje

GLAVA 7. SUNCE I SUNČEV SISTEM

svetlost u ultraljubičastom ili infracrvenom spektru. Pri svakom prolazu pored Sunca, kometa gubi deo svoje materije. Većina kometa prolaze pored Sunca na sigurnoj granici, međutim, postoje i komete koje se toliko približe Suncu da sasvim ispare, ili se sruše direktno u Sunce.

Po teoriji astronoma Gerard Kuiper iz 1951. godine, postoji pojas (Kajperov pojas) ledenih tela sličan disku izvan Neptuna, na 30 do 50 AJ udaljeno od Sunca. Ta ledena tela gravitacija povremeno gura u orbite drugih planeta približavajući ih Suncu, tako nastaju kratkotperiodične komete.

Ove komete je uglavnom lako predvideti, jer su već prošle pored Sunca, i prolaze ponovo za manje od 200 godina. Dugoperiodičnim kometama potrebno je od 200 pa do nekoliko stotina hiljada godina da naprave jedan prolaz pored Sunca. Postoje dugoperiodične komete koje imaju periode i do nekoliko desetina miliona godina. Ove komete stižu iz Ortovog oblaka (daleko iza Plutona) i teško, gotovo nemoguće ih je predvideti. Za sada je otkriveno oko 3900 kometa. Komete nose imena po ljudima ili svemirskim letelicama koje su ih otkrile.



Slika 7.40. Halejeva kometa

Na slici 7.40 prikazana je Halejeva kometa. Halejeva kometa, nosi naziv po Edmundu Haleju koji je prvi predvideo ponovnu pojavu komete koja je prvi put viđena 1682. godine. Po njegovom predviđanju kometu će biti vidljiva 1758., 1835., 1910., 1986., 2062. godine, odnosno na svakih 76 godina. Halejeva kometa pripada grupi kratko periodičnih kometa čiji je afel u blizini Jupitera. Svemirska sonda *Đoto* bila je jedna od prvih letelica koje su fotografisale njeno jezgro.

7.4.3 Meteoroidi

Meteoroidi, najmanja tela Sunčevog sistema, veličine od zrna prašine do malih asteroida. To su uglavnom delovi većih tela, kometa, asteroida, satelita ili čak drugih planeta. Neki meteoroidi su stenoviti, dok su drugi metalni ili kombinacije kamena i metala. Kada meteoroid velikom brzinom uđe u Zemljinu atmosferu, on se zapali i na nebu ostavlja kratkotrajan svetleći trag. Tada ih nazivamo meteorima (zvezde padalice). Najsjajniji meteori su Bolidi (vatrene kugle), težine do 10 kg koji pri prolazu kroz Zemljinu atmosferu, stvaraju veliku buku, i sijaju skoro kao Mesec. Meteorski roj čini veliki broj meteora koji se kreću po paralelnim orbitama, približno iste brzine pa sa Zemlje izgleda kao da svi izlaze iz jedne tačke na nebeskoj sferi. Tu tačku zovemo radijant. Meteorski roj nastaje kada Zemlja preseče putanju komete po kojoj su se rasuli ostaci od raspadanja. Pojavljuju se jednom godišnje i nose naziva sazvežđa na koje se projektuje njihov radijant. Najpoznatiji meteorski rojevi ili meteorske kiše su Perseide, vidljive sredinom avgusta. Perseide su ostaci komete Swift Tuttle. Poznate su i Leonide, vidljive sredinom novembra, ostaci komete Tempel Tuttle. Kada meteor preživi put kroz Zemljinu atmosferu i padne na tlo Zemlje tada se naziva meteorit. Pri padu meteorit velike dimenzije i velike brzine napravi krater na Zemlji. Procenjuje se da oko 45 tona meteoritskog materijala pada na Zemlju svakog dana. Do sada je pronađeno preko 50 000 meteorita i skoro svi od njih pripadali su asteroidima. Najbolje očuvan krater je Barindžerov krater u Arizoni. Formirao ga je gvozdeni asteroid pre 50 000 godina. Krater prečnika oko 1,2 km napravio je meteorit prečnika 50 m. Na slici 7.41 prikazan je Barindžerov krater a slici 7.42 prikazan je najveći pronađen gvozdeni meteorit, Hoba u Nambiji, težine 60 tona.



Slika 7.41. Barindžerov krater



Slika 7.42. Hoba

Glava VIII

Zaključak

Prve elektronske lekcije o planeti Zemlji i Sunčevom sistemu među materijalima Radne grupe za obrazovni softver Matematičkog fakultete, predstavljaju značajan korak ka interaktivnom i multidisciplinarnom pristupu obrazovanju iz oblasti astronomije. Kreirani nastavni materijali otvaraju vrata novim oblicima učenja, i ukazuju na izazove koji se mogu pojaviti pri kreiranju kompleksnih lekcija.

Elektronske lekcije o planeti Zemlji i Sunčevom sistemu trebalo bi da osnaže učenika za znanjem koje je ključno za razumevanje naše planete i njenog položaja u kosmosu. Koristeći matematičke koncepte koji su osnova moderne tehnologije praćenja kretanja, međusobnih položaja, mapiranja i lociranja objekata u kosmosu. Da se suoče sa neuporedivom veličinom i raznolikošću tela koja kruže oko našeg Sunca i otkriju planete sa svojim jedinstvenim karakteristikama, mesece koji kruže oko njih, asteroide i komete koji lutaju svemirom. Dakle, da steknu pojam o prostoru, veličinama, položaju i kretanju u stvarnom životu.

Učenje o Sunčevom sistemu podstiče razvoj tehnologije u oblastima telekomunikacije, medicine, robotike, inženjstva i mnoga druga. Telekomunikacioni sistemi razvijaju se kroz svemirska istraživanja. Medicina koristi saznanja o uticaju Sunčevog zračenja na zdravlje ljudi. Razvoj robotike inspirisan je svemirskim misijama. Proučavanje Sunčevog sistema je ključno za napredak solarne tehnologije.

Sadržaj koji je ovde prezentovan obuhvata skup tematskih jedinica koje pokrivaju veliki opseg o planeti Zemlji i Sunčevom sistemu. Kako ova raznolikost pruža bogatstvo gradiva, nije bilo mogućnosti da se detaljno razraditi svaka lekciju u okviru ovog rada.

GLAVA 8. ZAKLJUČAK

Elektronske lekcije o planeti Zemlji i Sunčevom sistemu trebalo bi da pomognu korisnicima, daju osnovu budućim istraživačima i usmeravaju ih ka dubljem razvoju pojedinačnih lekcija koje su započete u ovom radu.

Literatura

Kratka istorija razvoja astronomije

[1] Dr Olga Atanacković, *Astronomija, dodatno nastavno sredstvo za četvrti razred gimnazije prirodno matematičkog smera*, Klett, Beograd, 2021.

[2] Astronomija. Magazin za astronomiju i srodne nauke

<https://static.astronomija.org.rs/nauke/istorija/astronomija/2.htm>.

[3] European Space Agency,

<https://sci.esa.int/web/gaia/-/53196-the-oldest-sky-maps>.

Planeta Zemlja

[4] Nature communications,

<https://www.nature.com/articles/s41467-023-36074-2>.

[5] International Earth Rotation and reference System Service,

<https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/EarthOrientationData/eop.html>.

[6] BBC, <https://www.sciencefocus.com/planet-earth/earth-rotation-speed>.

[7] Udruženje Milutin Milanković, <https://milutinmilankovic.rs/>.

Nebeska sfera

[8] Dr Dušan Onić, Prividni položaji nebeskih tela,

http://poincare.matf.bg.ac.rs/~dilic/OAF/Koordinatni_sistemi.pdf.

[9] Dr Branislav M. Ševarlić, Dr Mirjana Vukićević Karabin, Dr Sofija N. Sadžakov, *Astronomija za četvrti razred gimnazije prirodno matematičkog smera*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1984.

Sazvežđa

[10] Constellation guide,

<https://www.constellation-guide.com/constellation-list/>.

[11] Global Positioning System,

<https://www.gps.gov/systems/gnss/>.

LITERATURA

Sunce i Sunčev sistem

[12] OAE (Office of Astronomy for Education),

<https://www.astro4edu.org/resources/>.

[13] Space weather prediction centre,

<https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/coronal-mass-ejections>

[14] NASA (National Aeronautics and Space Administration),

<https://solarsystem.nasa.gov/planets/overview/>

[15] Go astronomy,

<https://www.go-astronomy.com/solar-system/asteroids.htm>

Dodatna literatura:

Časopis za astronomiju. *Vasiona*.

Robin M Grin, *Astronomija u klasičnom ruhu*, Vesta, Beograd, 1998.

Dr Branislav Glavatović, *Osnovi geonauka*, 2005.

Dr Stevo Šegan, Dr Nadežda Pejović, *Osnovi astronomije*, Vesta, Beograd, 2006.

Dr Dragan Dolinaj, *Osnovi astronomije za geografe*,

Prirodno matematički fakultet, Novi Sad, 2014.

Slike preuzete sa:

[Slika 3.1] NASA. Link sajta:

https://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/multimedia/black-hole-SagittariusA.html

[Slika 4.2] Astronomy. Link sajta: <https://www.astronomy.com/science/earth-has-been-hiding-a-fifth-layer-in-its-inner-core/>.

[Slika 4.3] Wikipedia. Link sajta: <https://sh.wikipedia.org/wiki/Magnetosfera>.

[Slika 6.1] Astronomy/Stellar evolution. Link sajta:

https://scioly.org/wiki/index.php/Astronomy/Stellar_Evolution.

[Slika 6.27] Astronomski magazin. Časopis za astronomiju i srodne nauke. Link sajta:

<https://www.astronomija.org.rs/nauka/fizika/15615-koje-su-razlike-izmedu-5-gnss-konstelacija>

LITERATURA

[Slika 7.1] Astronomy/ The Solar interior: Theory. Link sajta:

<https://courses.lumenlearning.com/suny-astronomy/chapter/the-solar-interior-theory/>.

[Slika 7.2] Sistema solar | Misterios del universo | Astronomia. Link sajta:

<http://www.astronomy.es/2014/07/sistema-solar-el-sol-aprende-peques.html>.

[Slika 7.3] Center for science education. Link sajta:

<https://scied.ucar.edu/image/sunspots>.

[Slika 7.4] Sunspots at Solar Maximum and Minimum. Link sajta:

<https://earthobservatory.nasa.gov/images/37575/sunspots-at-solar-maximum-and-minimum>.

[Slika 7.5] David H Hathaway. The solar cycle. Living reviews in solar physics, 12(1):1–87, 2015. Link sajta: <https://www.alamy.com/sunspot-cycles-1874-2016-graphical-plots-tracking-the-results-of-observations-of-sunspots-on-the-sun-from-1870-to-2016-the-upper-graph-is-a-butter>

[image335258742.html?irclickid=xtzzqjz7DxyPWLHwy6x9x2N5UkF3FywPeVffUI0&utm_source=77643&utm_campaign=Shop%20Royalty%20Free%20at%20Alamy&utm_medium=impact&irgwc=1](https://www.alamy.com/sunspot-cycles-1874-2016-graphical-plots-tracking-the-results-of-observations-of-sunspots-on-the-sun-from-1870-to-2016-the-upper-graph-is-a-butter-image335258742.html?irclickid=xtzzqjz7DxyPWLHwy6x9x2N5UkF3FywPeVffUI0&utm_source=77643&utm_campaign=Shop%20Royalty%20Free%20at%20Alamy&utm_medium=impact&irgwc=1).

[Slika 7.6] NASA. Link sajta: <https://www.nasa.gov/content/goddard/what-is-a-solar-prominence>.

[Slika 7.7] En fotos, el increíble espectáculo de las auroras boreales. Link sajta:

<https://tn.com.ar/internacional/2021/01/28/en-fotos-el-increible-espectaculo-de-las-auroras-boreales/>.

[Slika 7.8] South Island aurora australis display one of brightes. Link sajta:

<https://www.nzherald.co.nz/nz/south-island-aurora-australis-display-one-of-brightest/4IIYCO53YFCYPF33JGHLG535BA/>

[Slika 7.10] Universe today. Space and astronomy news. Link sajta:

<https://www.universetoday.com/34577/inner-and-outer-planets/>.

[Slika 7.11] NASA. Link sajta: https://solarsystem.nasa.gov/resources/933/true-colors-of-pluto/?category=planets/dwarf-planets_pluto.

[Slika 7.12] NASA. Link sajta: <https://www.nasa.gov/image-feature/the-icy-mountains-of-pluto>.

[Slika 7.13] – [7.30] NASA Link sajta: <https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/our-solar-system/overview/>.

[Slika 7.34] NASA. Link sajta: <https://moon.nasa.gov/resources/78/four-sides-of-the-moon/>.

LITERATURA

[Slika 7.35] NASA. Link sajta: <https://moon.nasa.gov/news/155/theres-water-on-the-moon/>.

[Slika 7.37] NASA. Link sajta: <https://solarsystem.nasa.gov/asteroids-comets-and-meteors/asteroids/4-vesta/in-depth/>.

[Slika 7.38] NASA. Link sajta: <https://solarsystem.nasa.gov/asteroids-comets-and-meteors/asteroids/25143-itokawa/in-depth/>.

[Slika 7.39] NASA. Link sajta: <https://solarsystem.nasa.gov/asteroids-comets-and-meteors/asteroids/243-ida/in-depth/>.

[Slika 7.40] NASA. Link sajta: <https://solarsystem.nasa.gov/asteroids-comets-and-meteors/comets/1p-halley/in-depth/>.

[Slika 7.41] NASA. Link sajta: https://starchild.gsfc.nasa.gov/docs/StarChild/solar_system_level2/arizona_crater.html.

[Slika 7.42] Wikimedia. Link sajta: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hoba_meteorite,_Namibia_%282014%29.jpg.