

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



ANTONIJA VODOPIJA

POVIJESNI RAZVOJ MODELA SVEMIRA

Diplomski rad

Osijek, 2016.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



ANTONIJA VODOPIJA

POVIJESNI RAZVOJ MODELA SVEMIRA

Diplomski rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
radi stjecanja akademskog naziva **MAGISTRA EDUKACIJE FIZIKE I INFORMATIKE**

Osijek, 2016.

„Ovaj diplomski rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Vanje Radolića u sklopu Sveučilišnog diplomskog studija Fizike i informatike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.“

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Počeci promatranja svemira	1
2.1. Stari Egipat	2
2.2. Mezopotamija	3
2.3. Civilizacija Maja.....	4
2.4. Stari zavjet	6
3. Stara Grčka.....	7
3.1. Jonska prirodna filozofija.....	7
3.2. Pitagorejci i atomisti	10
3.3. Aristotelov model svemira	12
3.4. Aristarh i dimenzije svemira	15
3.5. Ptolomej	17
4. Srednjovjekovni modeli svemira.....	22
4.1. Rani srednji vijek.....	22
4.2. Oživljavanje aristotelizma	25
4.3. Nove perspektive	28
4.4. Nikola Kopernik	31
4.5. Tycho Brahe	35
4.6. Ideje o beskonačnosti svemira.....	37
4.7. Galileo Galilei i Johannes Kepler	39
5. Newtonovo doba.....	44
5.1. Renè Descartes	44
5.2. Isaac Newton	46
5.3. Thomas Wright i William Herschel.....	47
6. Proučavanje svemira	52
6.1. Teleskop	52
6.2. Spektrometar.....	52
6.3. Hertzsprung - Russelov dijagram	55
7. Današnji model svemira.....	57
7.1. Sunčev sustav	57
7.2. Mliječna staza	59
7.3. Veliki prasak.....	60
8. Zaključak.....	63
Literatura.....	65
Životopis	67

POVIJESNI RAZVOJ MODELA SVEMIRA

ANTONIJA VODOPIJA

Sažetak

U diplomskom radu opisani su različiti modeli svemira koji su se pojavljivali u prošlosti. Početak interesa za prirodne pojave uz opis mitoloških slika svijeta drevnih civilizacija (egipatske, babilonske i majanske) prikazan je u prvom dijelu rada. Zatim su opisani i prokomentirani modeli svemira starogrčkih kao i srednjovjekovnih mislilaca sve do klasičnih djela znanstvenika poput Isaaca Newtona i Williama Herschela. Opisane su i brojne ideje poput one o beskonačnosti svemira, razmatranja o veličini i strukturi nebeskih objekata kao i o udaljenostima među njima. Moderne metode proučavanja nebeskih pojava i današnje znanje o strukturi svemira prikazane su u završnom dijelu rada.

(67 stranica, 50 slika, 3 tablice, 26 literaturnih navoda)

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: astronomija, kozmologija, modeli svemira

Mentor: izv. prof. dr. sc. Vanja Radolić

Ocjenjivači: doc. dr. sc. Marina Poje Sovilj

mr. sc. Slavko Petrinšak

Rad prihvaćen: 02. prosinca 2016.

HISTORICAL DEVELOPMENT OF MODELS OF THE UNIVERSE

ANTONIJA VODOPIJA

Abstract

In this bachelor thesis models of the universe which appeared through the history are described. The beginning of interest in natural phenomena and mythological pictures of the world of ancient civilizations such as egyptian, babylonian and mayan are described in the first part of thesis. Furthermore, the ancient greek and medieval universe models up to classical approach of some great scientists such as Isaac Newton and William Herschel are described and commented. Many ideas and hypothesis like infinite universe, considerations about size and structure of heavenly bodies and distances between them are also shown and commented. Modern methods of studying of heavenly bodies and today's knowledge about the structure of Solar system and Universe itself are described in final part of this thesis.

(67 pages, 50 figures, 3 tables, 26 references)

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: astronomy, cosmology, models of the universe

Supervisor: Vanja Radolić, PhD, Associate Professor

Reviewers: Marina Poje Sovilj, PhD, Assistant Professor

Slavko Petrinšak, MSc, Lecturer

Thesis accepted: December 2nd, 2016

1. Uvod

Od davnina su ljudi promatrali i pokušavali shvatiti prirodne i nebeske pojave. Već su drevne civilizacije imale svoju sliku svijeta, bez obzira koliko temeljena na mitovima i božanskim utjecajima. Stari Grci su predano promatrali i intenzivno promišljali o nebeskim tijelima i njihovim gibanjima, nudeći različite slike svijeta. Srednjovjekovni učenjaci su, polazeći od starogrčkih tekstova, prilagođavali promatranja Bibliji i vlastitim vjerskim osjećajima. Tek se pojavom Kopernika, Galileija, Brahea, Keplera i Newtona postavljaju temelji modernog poimanja svemira, dok se cijela slika stoljećima gradila razvojem novih tehnologija i metoda promatranja nebeskih pojava.

2. Počeci promatranja svemira

Prije 10 000 godina, dok ljudi još nisu naučili čitati i pisati, javlja se ljudski interes za prirodni svijet koji ih okružuje kao i zanimanje za nebeske pojave. Spiljski ljudi su komunicirali pomoću crteža, a moguće je da su neki od tih crteža imali astronomsko značenje. Pretpostavlja se kako bi neki od tih spiljskih crteža mogli predstavljati Sunce, dok bi drugi mogli predstavljati mjesečeve faze.

Drugi dokazi interesa ljudi za svijet koji nas okružuje dolaze iz poretka velikog kamenja, megalita. Pronađeni su u mnogim dijelovima Europe, a najpoznatiji, koji datiraju iz oko 3500. godine pr. n. e., nalaze se u Velikoj Britaniji. Najpoznatiji među njima nedvojbeno je Stonehenge za kojeg se pretpostavlja da je izgrađen između 3000. i 2000. godine pr. n. e.



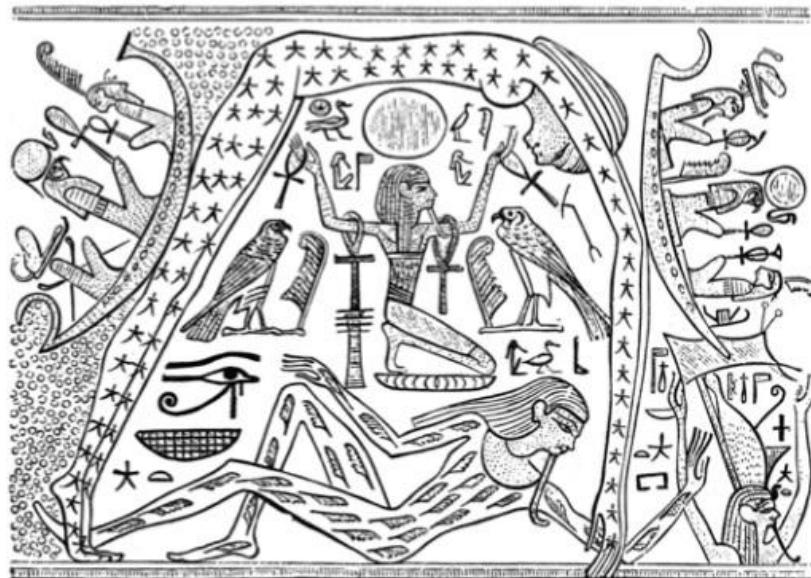
Slika 1. Stonehenge

(<http://www.english-heritage.org.uk/visit/places/stonehenge/history/>) Preuzeto: 10.07.2016.

Nitko ne može sa sigurnošću znati koja je bila svrha njegove izgradnje, ali je danas široko prihvaćena teorija da je služio u astronomske svrhe kao veliki megalitski opservatorij ili „astronomski hram“¹.

2.1. Stari Egipat

Stari Egipćani smatrali su da se svijet sastoji od tri dijela. Ravna Zemlja se nalazila u sredini, a bila je podijeljena Nilom i okružena velikim oceanom. Iznad zemljine atmosfere se nalazi nebo kojeg drže četiri potpornika, često predstavljani kao stupovi ili planine. Podzemlje, Duat, se nalazi ispod Zemlje. To tamno područje je sadržavalo sve što je bilo odsutno iz vidljivog svijeta, poput mrtvih ljudi, zvijezda koje nestaju u zoru, Sunca nakon zalaska i sl. Smatrali su da tijekom noći Sunce putuje kroz podzemlje kako bi se u zoru pojavilo na istoku. Iako je staroegipatski svemir bio statičan i bezvremenski, vjerovali su da svijet nije oduvijek postojao u obliku u kojem su ga oni poznavali. Prema njima svemir je započeo u obliku iskonskih, ili primarnih voda. To su bile tamne, bezgranične i beskonačne mase vode koje su postojale od početka vremena i koje će postojati u cijeloj budućnosti svijeta. Bogovi, zemlja i njezini stanovnici su produkti iskonskih voda, koje su i dalje prisutne tako što obavijaju svijet sa svih strana, iznad neba i ispod podzemlja.



Slika 2. Egipatski model svijeta

(Kragh, H.S., *Conceptions of Cosmos*, Oxford, University of Oxford, 2007. str.8)

¹ John Smith 1771.godine uvodi pojam astronomski hram

Vjerovalo se da svemir čine bogovi koji su personifikacije elemenata prirode. Dolje leži Geb koji predstavlja Zemlju. Iznad njega se nalazi Šu, bog zraka koji razdvaja Geba od Nut, božice neba. Tijelo božice Nut predstavlja nebo na kojem se nalaze Sunce, Mjesec i zvijezde. Ocean, Nun, je oko Geba te predstavlja sva mora, a nalazi se i na nebu. Većina drugih bogova živi na nebu. Dnevno putovanje Sunca predstavlja bog u brodu koji putuje nebom s istoka prema zapadu.

2.2. Mezopotamija

Mezopotamski model svemira je u biti mitološka priča koja ima sličnosti s egipatskom. Svemirom su vladala tri boga, svaki s različitim područjem vladanja. Nebom je vladao Anu, zemljom i vodama oko i ispod nje Ea, dok je Enlil vladao zrakom. Oni su nastali iz iskonskog, primarnog kaosa voda kojeg su činili slatka i slana voda. Slatku vodu predstavljao je Apsu, odnosno muški element, dok je slanu vodu predstavljala njegova sestranica Tiamat, odnosno ženski element.



Slika 3. Središte babilonskog spomenika iz 12. st. pr. n. e.

(Kragh, H.S., *Conceptions of Cosmos*, Oxford, University of Oxford, 2007. str.9)

Na slici vidimo Sunce (Samas), Mjesec (Sin) i Veneru (Ištar) okružene nebeskom vojskom životinja.

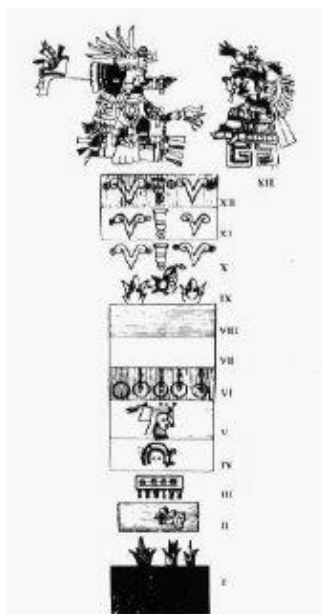
Dobro je poznato da je mezopotamska civilizacija koristila sofisticiranu znanstvenu astronomiju², pa je zato nevjerojatno da im je slika svijeta ostala isključivo mitološka, te da njihova matematička astronomija nije imala gotovo nikakav utjecaj na kozmologiju. Može se pretpostaviti da su smatrali da je Zemlja ravan disk. U mitu o postanku svijeta postoje tek naznake astronomskog znanja. Jedna od tih naznaka je vezana uz Mjesec kojeg su portretirali kao boga s krunom koja mijenja svoj oblik kroz dane mjeseca, a odgovara mjesečevim fazama.

2.3. Civilizacija Maja

Civilizacija Maja trajala je više od 2000 godina, ali je svoj vrhunac doživjela u godinama između 300. i 900. godine kada su razvili kompleksno razumijevanje astronomskih pojava. Najveće dostignuće ove civilizacije nedvojbeno je sustav mjerenja vremena, odnosno kalendari. Nisu razvili samo jedan kalendar već više njih, za svaku opažanu periodičnu pojavu su pisali novi kalendar. Bez ikakvih instrumenata su računali vrijeme zemaljske revolucije kao i revolucije pojedinih planeta, izrađivali kalendare mjesečevih mijena i eklipsi i sl. Vrlo precizan solarni kalendar, Haab, je imao 365 dana, a bio je podijeljen na 18 mjeseci od po 20 dana i jedan dodatni mjesec koji je imao samo 5 dana. Svoj boravak na Zemlji su smještali u drugi sustav brojanja koji traje 5128 godina. Drugi sustav brojanja je započeo 3114. godine pr. n. e. a završava 2012. godine.

Nebeske pojave su promatrali golim okom ili jednostavnim instrumentima, a cijelu svoju infrastrukturu građevina su podredili upravo astronomskim promatranjima. Velik utjecaj na njihovu astronomiju imala je religija, pa su tako religiju i astronomske pojave povezivali. Također, Majanski svećenici su bili astronomi.

² Astronomija je znanost o nebeskim tijelima i pojavama u svemiru te o njegovu ustroju



Slika 4. Majanska slika svijeta

(<http://www.starteachastronomy.com/mayan.html>) Preuzeto: 3.10.2016.

Smatrali su da se Zemlja nalazi u središtu svemira, te je bila prvi sloj podzemlja i gornjeg svijeta, a oko nje se nalazila božanska voda. Drugi sloj gornjeg svijeta je bio sloj gdje su obitavali Mjesec i oblaci. Zvijezde stajačice su se nalazile u trećem sloju, Sunce u četvrtom, a Venera u petom. Šesti sloj predstavlja neidentificirano zvijezde u kojem su se nalazili kometi i vatrene zmije čija je dužnost pomaknuti Sunce s istoka u zenit. Sedmi sloj predstavlja crno ili zeleno nebo gdje se nalaze vjetrovi, a osmi sloj plavo nebo gdje se nalazi prašina, dok je deveti sloj dom grmljavine. Sljedeća tri sloja (deseti, jedanaesti i dvanaesti) predstavljaju bijelu, žutu i crvenu boju, dok u posljednjem sloju, trinaestom, živi dvospolni bog koji je stvorio prostor i vrijeme. Podzemni svijet je također imao veliku ulogu u majanskoj kozmologiji jer su vjerovali da je Mliječna staza put kojim duše odlaze u podzemni svijet.

Kako su nebeske pojave imale astrološko³ značenje za Maje, bilo im je od velike važnosti što bolje ih proučiti. Tako su proučavanjem Venerina gibanja na noćnom nebu ustanovili da njezin sinodički period⁴ iznosi 584 dana, dok je danas poznato da je ta vrijednost jednaka 583,92 dana. Nadalje su uz Veneru povezivali brojeve 236 dana koji odgovara vidljivosti Venere na istočnom nebu kao jutarnje zvijezde, broj od 90 dana kada nije vidljiva sa Zemlje, treći period od 250 dana kada se pojavljuje na zapadnom nebu kao noćna zvijezda te potom period od 8 dana kada ju ponovno „skriva“ Sunce. Također su izračunali sinodički

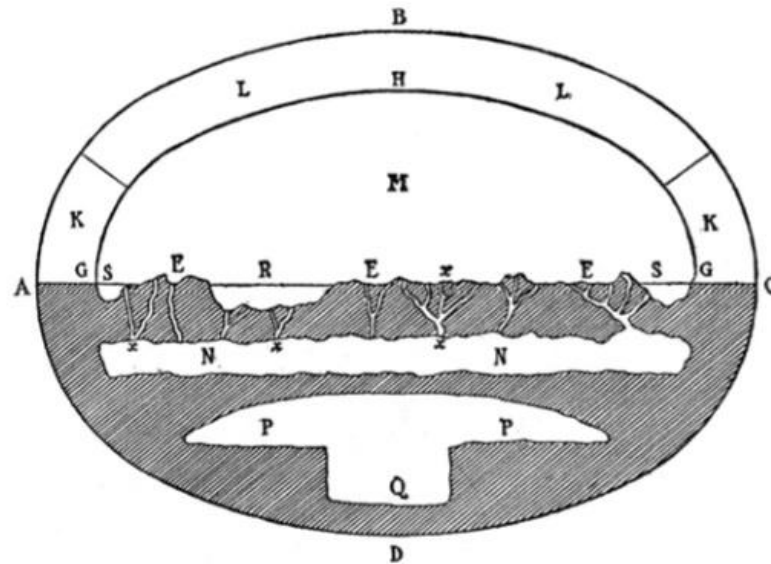
³ Astrologija se bavi proučavanjem simboličkog utjecaja položaja i kretanja nebeskih tijela na život na Zemlji.

⁴ Sinodički period je vrijeme potrebno da se tijelo nađe u istoj točki neba, promatrano sa Zemlje.

period Marsa za koji su dobili vrijednost 780 dana (današnja vrijednost je 779,936 dana) te Merkura s periodom od 117 dana (današnja vrijednost je 116 dana). Za ostale planete nisu pokazali interes. Mjesec im je bio od interesa te su tako vrlo precizno računali njegove pomrčine, kao i odredili trajanje lunarnog mjeseca. Utvrdili su da se 4400 dana može prikazati kao 149 mjesečevih ciklusa što odgovara vrijednosti od 29,5302 dana, dok se danas zna da lunarni mjesec traje 29,53059 dana.

2.4. Stari zavjet

Kako je vjera imala enorman utjecaj na život ljudi i astronomiju kroz stoljeća, važno je spomenuti i sliku svijeta koju je opisivala jedna od najvažnijih knjiga, Biblija. Na donjoj slici je upravo prikazana slika svijeta koja je opisana u starom zavjetu, a rekonstruirao ju je Schiaparelli⁵.



Slika 5. Schiaparellijeva rekonstrukcija svemira prema Starom zavjetu

(Kragh, H.S., *Conceptions of Cosmos*, Oxford, University of Oxford, 2007. str.10)

Zemlja (EEE) je okružena morem (SS). Zemljina je površina povezana pomoću struja s velikim zemljinim depozitom vode (NN). Iznad zemlje se nalazi nebeski šator (ABC) koji je poduprt čvrstim stupovima (GHG). Prostor (LL) sadrži vode u nebu koje su izvor kiše. Ispod se nalazi podzemlje (PQP), zemlja mrtvih.

⁵ Giovanni Schiaparelli (1835.-1910. godine) talijanski astronom i povjesničar

3. Stara Grčka

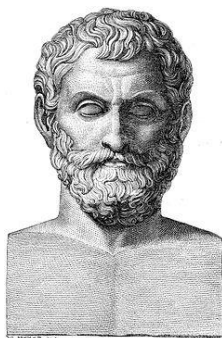
Kada govorimo o starogrčkoj znanosti, tada govorimo o znanstvenim djelima koja su pisana grčkim jezikom. Ona nije ograničena samo na područje stare Grčke kao ni isključivo na grčke filozofe, jer je grčki jezik postao jezikom učenjaka u cijelom helenističkom svijetu nakon osvajanja Aleksandra Velikog. Razvoj astronomije u doba stare Grčke mnogi povjesničari smatraju velikom fazom u povijesti astronomije. Njihova astronomija je od početka bila karakterizirana traženjem racionalnog, fizikalnog objašnjenja pojedinih pojava. Mnogi nazivi zvijezda, planeta i asteroida dolaze iz ovog razdoblja. Starogrčka astronomija je uvelike bila inspirirana astronomijom starih Egipćana kao i Babilonaca, a poslužila je kao temelj za indijsku, arapsku i zapadnoeuropsku astronomiju.

3.1. Jonska prirodna filozofija

Povjesničari ponekad govore o periodu između 600. i 450. godine pr. n. e. kao o prvoj znanstvenoj revoluciji, pritom misleći na pojavu grupe grčkih, ili jonskih, mislilaca koji su započeli paradigmatičnu promjenu u ljudskom poimanju prirodnog svijeta. Jonski mislioci promatrali su prirodu na novi način, postavljajući drugačija pitanja i nudeći drugačije odgovore na ista. Nisu bili samo filozofi, već su bili prirodni filozofi. Vjerovali su da se svijet može shvatiti racionalno i da može postati predmet ljudskog promišljanja. O svijetu su razmišljali kao o kozmosu, strukturi sačinjenoj od tvari i sila zajedno povezanih vezama, poput zakona, u skladnu cjelinu. Prirodne pojave su objašnjavali kao slučajevne općih uzoraka, a ne kao zasebne pojave.

Jedan od prvih prirodnih filozofa je bio Tales iz Mileta (624. pr. n. e. – 547. pr. n. e.). Bio je matematičar i državnik, uživao veliku reputaciju među Grcima koji kažu da je predano razmišljao kako bi objasnio nebeske fenomene, te je ubrajan među sedam mudraca.⁶

⁶ <https://sh.m.wikipedia.org/wiki/Tales>



Slika 6. Tales

(https://hr.wikipedia.org/wiki/Tales#/media/File:Illustrerad_Verldshistoria_band_I_III_107.jpg) Preuzeto: 13.09.2016.

Navodno je predvidio pomrčinu sunca 585. godine pr. n. e., a smatrao je da je Zemlja kugla koja lebdi u svemiru te vjerovao da je voda primarni element svemira.

Anaksimandar (610. – 546. godine pr. n. e.) bio je starogrčki filozof, Talesov učenik i pripadnik miletske škole. Vjeruje se da je bio uvaženi građanin Grčke koju je upoznao sa sunčanim satom te je izradio prvi zemljovid.⁷



Slika 7. Anaksimandar

(<https://hr.wikipedia.org/wiki/Anaksimandar#/media/File:Anaximander.jpg>) Preuzeto: 13.09.2016.

Vjerovao je da je svijet nastao u procesu odvajanja iz vječnog i bezgraničnog sredstva kojeg je nazvao apeiron. Nagađao je i o strukturi svijeta, uključujući njegove dimenzije. Za njega je Zemlja bila cilindričnog oblika, pri čemu je visina cilindra bila jednaka trećini njegove širine. Na jednoj od ravnih ploha cilindra su obitavali ljudi i ostali stanovnici Zemlje. Nepomična Zemlja se nalazi u središtu svemira, stoga je njegov sustav bio geocentričan. Smatra da je Sunce jednake veličine kao i Zemlja, dok je krug po kojemu se giba Sunce 27 puta veći od kruga po kojem se giba Zemlja.

⁷ <https://hr.m.wikipedia.org/wiki/Anaksimandar>

Anaksagora iz Klazomene (oko 500. – oko 428. godine pr. n. e.) je bio grčki fizičar, matematičar i filozof predsokratovac⁸. Njegov je utjecaj većinom dolazio iz njegove matematičke i astronomske izvrsnosti kao i zbog asketskog⁹ načina života i ljubavi prema prirodi. Prihvata ravnu Zemlju i smatra da ju podupire zrak koji opisuje kao ocean na kojem Zemlja pluta. Tvrдио je da je Sunce samo vrući kamen, a Mjesec sličan Zemlji s planinama i dolinama. Također je smatrao da su nebeska tijela komadi kamenja koje se odvojilo od Zemlje i bilo odbačeno u nebo zbog njene brze rotacije. Bez uspjeha je pokušavao objasniti pojave pomrčine Sunca i Mjeseca, duge i meteora. Promatranja nebeskih tijela su ga potaknula da stvori nove teorije o uređenju svemira što ga je dovelo u sukob s popularnom vjerom te mu je suđeno zbog heretičkih pogleda. Upravo je to suđenje rezultiralo prognanstvom iz Atene čovjeka koji je duh filozofije i znanosti donio iz Jonije u Atenu.

Empedoklo (oko 490. – oko 430. godine pr. n. e.) je bio grčki filozof sa Sicilije, tada Grčke kolonije.



Slika 8. Empedoklo

(<https://hr.wikipedia.org/wiki/Empedoklo#/media/File:Empedokles.jpeg>) Preuzeto: 13.09.2016.

Prvi zamišlja da se sva tvar sastoji od četiri osnovna i nepromjenjiva elementa: zemlje, vode, vatre i zraka. Kasnije je sam Aristotel usvojio taj koncept, te on postaje temelj teorije tvari pa i alkemije u razdoblju od gotovo 2000 godina. Empedoklo je smatrao da su u početku sva četiri elementa bila pomiješana dok ih nekakav vrtložni mehanizam nije razdvojio, prvo odvajajući zrak, a zatim i vatru. Smatra da su ti elementi oduvijek postojali pa nije bilo potrebe za objašnjavanjem njihova nastanka. Sunce je smatrao ogromnom agregacijom vatre ili refleksijom vatre, a shvatio je da Mjesec ne svijetli vlastitom svjetlošću već reflektira

⁸ Predsokratovska filozofija je pojam kojim se označava grčka filozofska misao koja se razvijala u antičkoj filozofiji prije Sokrata

⁹ Askeza je način života koji se sastoji u odricanju od strasti i tjelesnih potreba kako bi se postiglo duhovno pročišćenje

sunčevu. Došao je do zaključka da do sunčeve pomrčine dolazi kad se Mjesec nalazi između Sunca i Zemlje. Zemlju je smatrao nepokretnom dok stabilno kružno gibanje zvijezda i planeta objašnjava kao rezultat njihove velike brzine, a upravo ta velika brzina gibanja nebesa ne dopušta Zemlji nikakvo gibanje. U njegovim razmatranjima također možemo vidjeti i religijski, ili mitološki, utjecaj jer su njegovim kozmosom upravljala dva boga, ili sile, zvane Ljubav i Razdor. Ovisno o utjecaju tih dvaju kozmičkih sila, svemir se mijenja po cikličnom uzorku. Elementi su pomiješani u homogenu smjesu za vrijeme potpune dominacije Ljubavi, dok su za vrijeme potpune dominacije Razdora u potpunosti razdvojeni jedan od drugog te raspodijeljeni u zasebne sfere. Svemir je pogodan za procese nastanka života samo između tih dvaju ekstrema. Vremena dominacije Ljubavi i Razdora se izmjenjuju vječno te odgovaraju kontinuiranom stvaranju i uništenju svijeta. Kako uvjeti za život zahtijevaju ravnotežu među tim silama, one nisu jednostavno stvaralačke ili uništavačke. Ciklusi dominacija su dugi i simetrični, pa se zato događaji iz jedne faze ponavljaju u drugoj, ali unatrag, npr. proces od rođenja do smrti prati proces od smrti do rođenja.

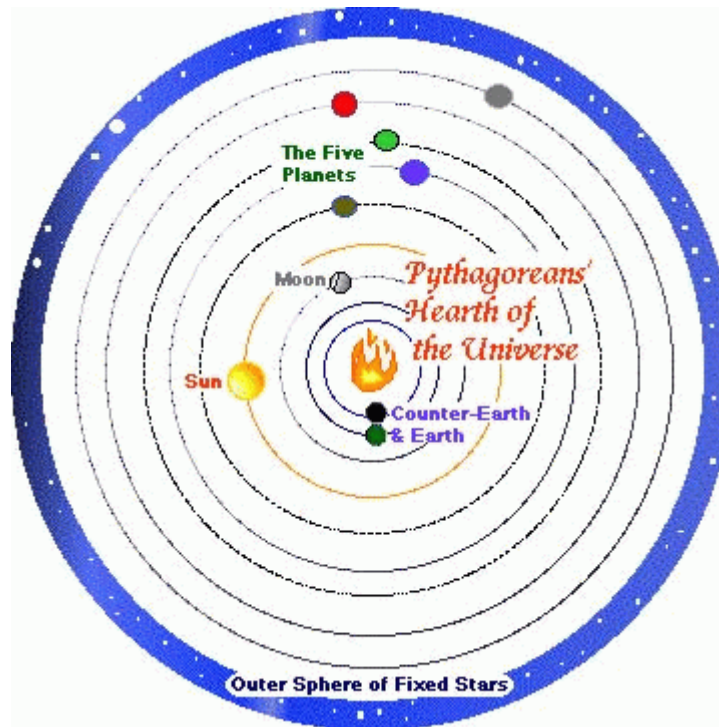
3.2. Pitagorejci i atomisti

Pitagora je osnovao školu koja je bila vrlo utjecajna u antičko doba. Rani pitagorejci su osnovali tajno religijsko bratstvo te naglašavali religijske i mitološke aspekte svoje filozofije, zanemarujući znanstvene aspekte. Često su stvarima pridavali brojeve, a neki od njih su tvrdili da stvari jesu brojevi, dok su drugi smatrali da stvari nalikuju brojevima te da se sve prirodne pojave mogu objasniti pomoću brojeva. Među prvima su prihvatili okruglu Zemlju dok su neki pitagorejski mislioci maknuli Zemlju s njezina povlaštena mjesta u središtu svemira. Njihova su promišljanja imala velik utjecaj na ranogrčku znanost.

Prema Filolaju, jednom od pitagorejaca u Italiji, središnje je mjesto zauzimala vatra, Zeusov čuvar, oko koje su se gibali planeti i zvijezde. Važno je napomenuti da Filolajev kozmos¹⁰ nije bio heliocentričan jer središnju vatru nije poistovjetio sa Suncem, nego je smatrao da se i Sunce giba oko središnje vatre. Nadalje, postulirao je tamnu protuzemlju koja se gibala u suprotnom smjeru od Zemlje, ali s istim periodom revolucije. Uvođenje protuzemlje nije imalo astronomski već numerološki značaj. Naime, pitagorejci su savršenim brojem smatrali broj deset, pa su zato vjerovali da mora postojati i deset nebeskih tijela. Međutim, računajući Zemlju, Mjesec, Sunce, planete i sferu zvijezda stajačica uspjeli su

¹⁰ Svemir, svijet ili sveukupnost svega živog i neživog

nabrojati samo njih devet, a dodavanjem protuzemlje su došli do željenog broja nebeskih tijela.

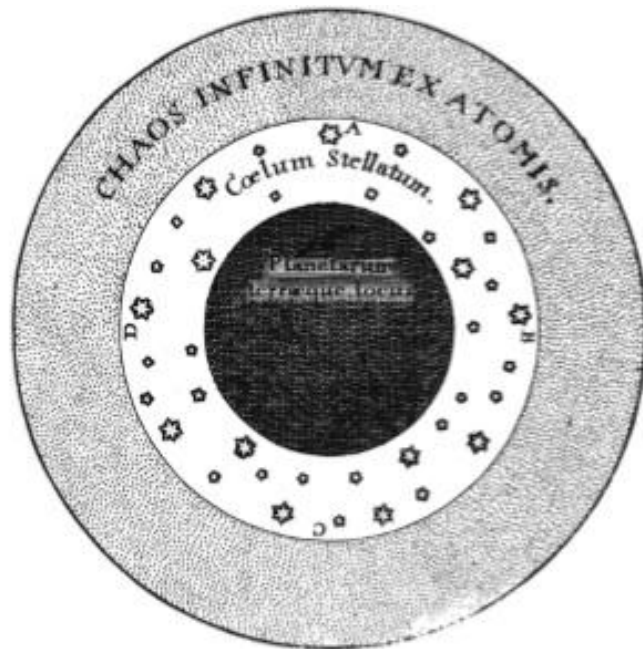


Slika 9. Pitagorejski model svemira

(http://physics.ucr.edu/~wudka/Physics7/Notes_www/node32.html) Preuzeto: 15.11.2016.

Atomističku školu je osnovao Leukip iz Mileta, no atomizam se uglavnom povezuje s nešto poznatijim Demokritom. Osnovna ideja atomista je bila da sve što uistinu postoji u svemiru jesu atomi, nedjeljive i nevidljive čestice koje se kreću kroz neograničenu prazninu, odnosno kozmički vakuum. Atomi su bili identični po sastavu, odnosno građi, a različiti po obliku i veličini. Kako postoji beskonačan broj različitih oblika, tako su smatrali da postoji i beskonačan broj različitih atoma. Atomistička filozofija uključivala je čestični kozmološki pogled u kojem se pravila razlika između beskonačnog svijeta u cijelosti i svjetskih sustava u njemu, odnosno podsvemira koji su bili ograničeni u vremenu i prostoru. Prema tome, naš je svjetski sustav bio samo jedan od beskonačnog broja sličnih sustava, od kojih su neki bili veći, neki manji, neki su imali Sunce i Mjesec, neki nisu, u nekim su Sunce i Mjesec bili veći od naših, u nekima manji... Poput ostalih svjetskih sustava naš je nastao i jednog dana će i nestati. Demokrit je Mjesec postavio najbliže Zemlji, nakon njega Sunce, a izvan svih planetarnih sfera su se nalazile zvijezde stajačice. Za planete je govorio da imaju različite visine. Prema njemu Zemlja je ovalnog oblika s visinom koja je 1,5 puta veća od njezine dužine. Leukip je vjerovao da se Sunce nalazi najdalje od Zemlje, a obojica su se složila da se

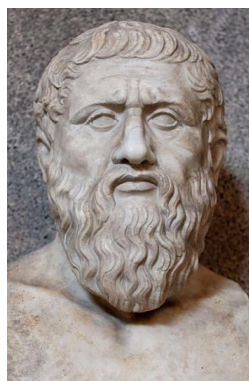
Zemlja nalazi u središtu našeg svjetskog sustava, ali da svijet u cijelosti nema određeno centralno mjesto. U atomističkom konceptu svemira nije bilo mjesta za svrhu, dizajn i božanske utjecaje. Sve što je postojalo su bili atomi koji se nasumično gibaju u beskonačnoj praznini.



Slika 10. Atomistički model svemira

(Kragh, H.S., *Conceptions of Cosmos*, Oxford, University of Oxford, 2007. str.17)

3.3. Aristotelov model svemira

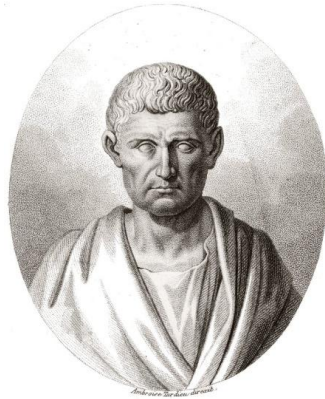


Slika 11. Platon

(https://hr.wikipedia.org/wiki/Platon#/media/File:Plato_Pio-Clemetino_Inv305.jpg) Preuzeto: 13.09.2016.

Platon je raspravljao o astronomskim problemima u nekoliko svojih djela, no njegov je stav bio idealistički u smislu da je u potpunosti odbacivao vrijednost promatranja nebeskih pojava. Smatrao je da se svemir može shvatiti matematički, samo mislima, dok bi empirijska

razmatranja¹¹ samo dovela do obeščašćenja istine i do „najvjerojatnije“ priče o stvarnome svijetu. Nadalje inzistira na tome da se astronomija treba razmatrati kao da je geometrija. Raspravljao je o pitanju nastanka svemira za koji je smatrao da je uistinu nastao, odnosno da je kreiran. Zamišljao je nebeskog kovača koji je iskovao prvo dušu svemira, a zatim i savršeno tijelo za tu dušu. Nadalje je smatrao da su zvijezde i planeti božanski i u neprekidnom gibanju, a sve što je u neprekidnom gibanju mora biti besmrtno.



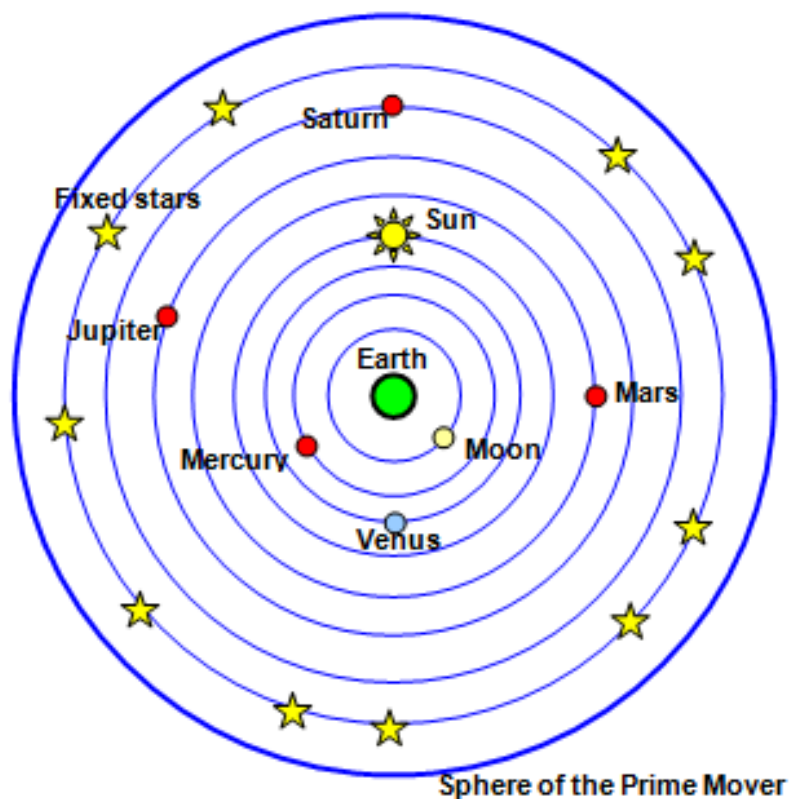
Slika 12. Aristotel

(https://hr.wikipedia.org/wiki/Aristotel#/media/File:Aristotle_1.jpg) Preuzeto: 13.09.2016.

Za razliku od svog učitelja Platona, Aristotel je predstavio fizikalnu perspektivu razmatranja astronomskih problema i pojava. Njegova fizikalna perspektiva dovodi do povećanja kompleksnosti svemira, točnije do uvođenja 55 nebeskih sfera. Aristotelove nebeske sfere nisu bile matematičke konstrukcije, već tjelesne, dok su njegovi planeti i zvijezde fizička tijela ugrađena u niz rotirajućih sferi koje međudjeluju. Upravo to ga je nagnalo da predloži mehanizam koji objašnjava zašto se nebeska tijela gibaju na način na koji se gibaju. Smatra da su sfere vanjskih planeta fizički spojene sa sferama unutarnjih planeta. Aristotelova inovacija je bila da predloži fizikalni model nebesa koji je u skladu s općim principima njegove prirodne filozofije kao i s postulatom jednolikog kružnog gibanja. Možda najvažnija inovacija u njegovu svemiru je bilo dijeljenje svemira na dva područja, sublunarno i supralunarno područje. Prvo područje, sublunarno, uključivalo je Zemlju i zrak sve do Mjeseca. Ono se sastojalo od četiri Empedoklova elementa sa svojim pripadnim gibanjima, koja su bila pravocrtna ili prema centru Zemlje (voda i zemlja) ili od centra Zemlje (vatra i zrak). U supralunarnom području, iznad Mjeseca, nebeska tijela se prirodno, vječno i jednoliko kružno gibaju, a pritom ne podliježu zemaljskim zakonima fizike. Iako se nebeske sfere prirodno gibaju, uvodi koncept nepokretnog pokretača u svojoj *Fizici*. Nepokretni

¹¹ Spoznaja na temelju iskustva, preko činjenica do kojih se došlo eksperimentom

pokretač je bio spiritualno transcendentno biće koje se nalazilo u najudaljenijem dijelu svemira, a za kojeg je smatrao da je ultimativni izvor svog nebeskog gibanja. No, nigdje nije ponudio rješenje za problem prijenosa gibanja između nebeskih sfera. Planeti, zvijezde i nebeske sfere se sastoje od, u potpunosti, drugačije vrste materijala, kako ju je Aristotel nazvao „quinta essentia“¹². Smatrao je da je Zemlja u centru svemira, ali u čisto geometrijskom obliku. Naime, za razliku od pitagorejaca nije vidio razlog za izjednačavanje geometrijskog centra svemira sa stvarnim ili prirodnim centrom svemira. Zemlju je smatrao okruglom i nepokretnom. Za razliku od Platona nije vjerovao u nastanak svemira kao ni u njegovu beskonačnost, već je inzistirao da je svemir negeneriran.



Slika 13. Aristotelov model svemira

(http://www.schoolphysics.co.uk/age14-16/Astronomy/text/Theories_of_the_solar_system/index.html) Preuzeto: 13.09.2016.

Aristotelov je svemir uživao opće poštovanje u antičkoj Grčkoj i Rimu, ali nije izbjegao kritike, dok su njegove pretpostavke o konačnom i vječnom svemiru bile neprihvaćene.

¹² Peti element

3.4. Aristarh i dimenzije svemira

Oduvijek je važan zadatak za astronome bio određivanje udaljenosti planeta i zvijezda u svemiru kao i određivanje dimenzija nebeskih tijela. Eratosten je odredio polumjer Zemlje mjereći duljinu sjene za vrijeme ljetnog solsticija u Sieni, gdje sunčeve zrake padaju gotovo okomito na površinu Zemlje, i Aleksandriji, gdje sunčeve zrake padaju pod kutom od $7,2^\circ$. Uzimajući da je Aleksandrija bila sjevernije od Siene zaključuje da udaljenost od Aleksandrije do Siene mora biti $\frac{7}{360}$ ukupnog Zemljinog opsega. Budući da mu je udaljenost između gradova bila poznata, 5000 stadija, uspostavio je konačnu vrijednost od 700 stadija po stupnju, što znači da opseg Zemlje iznosi 252000 stadija. Danas se vjeruje da Eratostenova vrijednost opsega Zemlje odgovara vrijednosti između 39690 km i 46620 km (današnja vrijednost 40075 km).

Prvo pravo mjerenje udaljenosti Zemlje do Sunca, kao i prvo određivanje udaljenosti Zemlje do Mjeseca, izveo je Aristarh sa Samosa.

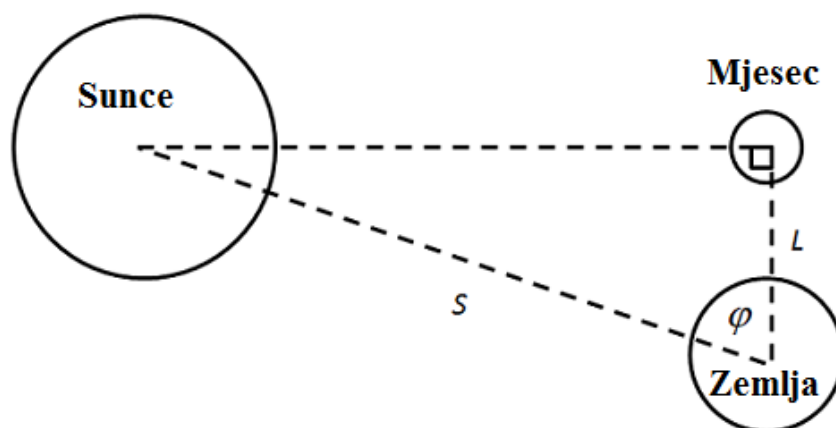


Slika 14. Aristarh

([https://hr.wikipedia.org/wiki/Aristarh_sa_Samosa#/media/File:Aristarchos_von_Samos_\(Denkmal\).jpeg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Aristarh_sa_Samosa#/media/File:Aristarchos_von_Samos_(Denkmal).jpeg))

Preuzeto: 13.09.2016.

Uočio je da kada Mjesec vidimo u prvoj ili posljednjoj četvrti trokut Sunce, Mjesec, Zemlja je pravokutan, s pravim kutom u onom vrhu u kojemu je Mjesec. Kut u vrhu u kojemu je smještena Zemlja je izravno mjerio te ustanovio da on iznosi 87° .

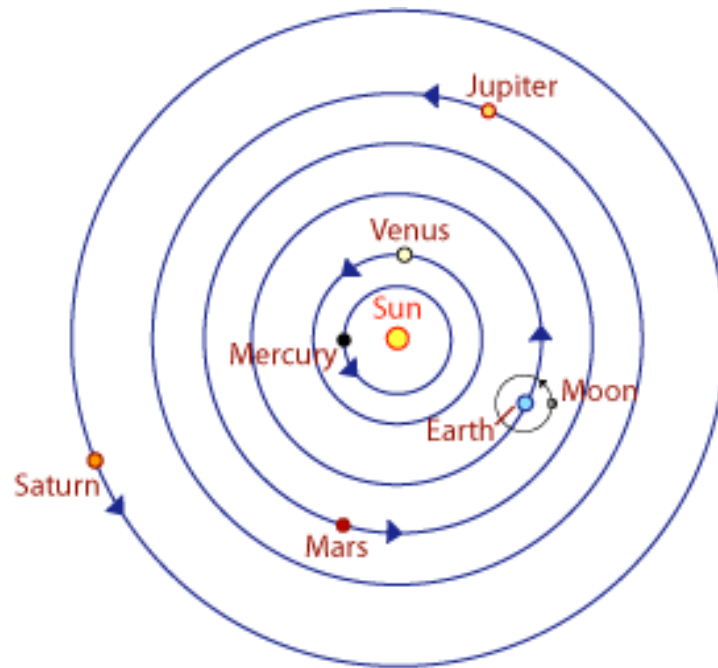


Slika 15. Aristarhova metoda određivanja udaljenosti Sunca od Zemlje

(https://hr.wikipedia.org/wiki/Aristarh_sa_Samosa#/media/File:Aristarhova_cetvrt.png) Preuzeto: 13.09.2016.

To mjerenje mu je konkretno dalo da je Sunce oko 19 puta udaljenije od Zemlje nego Mjesec. Ovaj postupak određivanja udaljenosti Sunca i Mjeseca od Zemlje je u potpunosti ispravan, ali je Aristarhov rezultat bio neispravan. Konkretno, pogriješio je u određivanju kuta u vrhu u kojem je smještena Zemlja za koji je ispravna vrijednost $89^{\circ}51'$. Zbog toga je vrijednost koju je on dobio oko 20 puta manja od stvarne. Danas znamo da je Sunce 389 puta udaljenije od Zemlje nego Mjesec.

Nadalje je pokušavao utvrditi veličine, odnosno omjere veličina Zemlje, Mjeseca i Sunca. Promatrano sa Zemlje, Sunce i Mjesec izgledaju približno jednaki. Na osnovu prethodnog zaključka, da je Sunce udaljenije od Zemlje nego Mjesec, zaključuje da bi Sunce moralo biti barem 19 puta veće od Mjeseca. Nadalje, usporedbom Zemljine sjene prilikom pomrčine Mjeseca dolazi do zaključka da je Zemlja nešto veća od Mjeseca, pa je zato Sunce mnogo veće od Zemlje. Zbog toga je sumnjao da se veliko Sunce giba oko male Zemlje pa dolazi do zaključka da se Zemlja giba oko Sunca i tako postaje pobornik heliocentričnog sustava.



Slika 16. Aristarhov model svemira

(<http://www.atnf.csiro.AJ/outreach/education/senior/cosmicengine/classicalastronomy.html>) Preuzeto:
13.09.2016.

Važno je napomenuti da su se njegovi rezultati mjerenja udaljenosti Sunca i Mjeseca od Zemlje koristili sve do 17. stoljeća.

3.5. Ptolomej

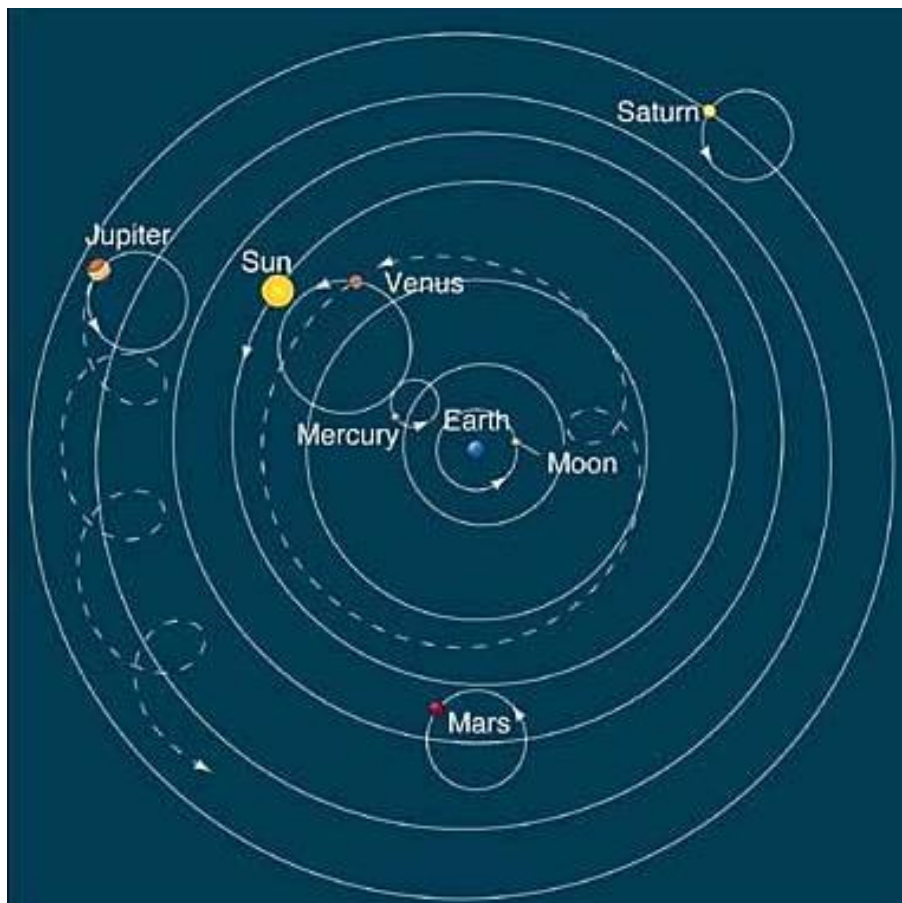
Ptolomej je bio matematičar i astronom iz Aleksandrije koji je napisao važne radove iz područja astronomije, geografije i optike.



Slika 17. Ptolomej

(https://hr.wikipedia.org/wiki/KIAJdije_Ptolomej#/media/File:PSM_V78_D326_Ptolemy.png) Preuzeto:
13.09.2016.

U svom djelu *Almagest* je hvalio matematičku astronomiju kao jedinu znanost koja može ponuditi čvrsto znanje o nebeskim pojavama. Ptolomejeva astronomija se temeljila na Aristotelovoj prirodnoj filozofiji, a uključivala je i teoriju o pet elemenata i njihovom prirodnom gibanju. Ptolomejev model svemira razlikovao se od Aristotelova, a opet je imao mnogo toga zajedničkog s njim. Ponudio je poboljšanu teoriju pet planeta koja se dobro slagala s promatranjima. Njegova planetarna teorija se temeljila na korištenju epicikala i deferentata. Smatrao je da je Zemlja u središtu kružnice, deferenta, a planeti se gibaju oko nje po epiciklima, odnosno drugim kružnicama čija se središta gibaju po deferentu. Prema njegovoj teoriji, središte epicikla se nije jednoliko gibalo s obzirom na središte deferenta, Zemlju, već se jednoliko gibao s obzirom na ekvant, točku koja se nalazi na suprotnoj strani središta deferenta i na jednakoj udaljenosti od njega. Korištenjem ekvanta je mogao točno odrediti položaj planeta, no ekvant je bio tehničko sredstvo koje se kosilo s filozofskom teorijom o jednolikom gibanju i iz tog razloga kasnije postaje kontroverzno. Smatrao je da se Zemlja ne giba, pri tom odbacujući i Zemljinu rotaciju oko svoje osi. Jedno od glavnih obrazloženja Zemljina mirovanja jest da njeno gibanje ne bi bilo u skladu s promatranjima pa bi tako, primjerice, oblaci zaostajali u smjeru zapada ako bi se Zemlja okretala oko svoje osi. Složio se s Aristotelovom tvrdnjom da u svemiru ne postoji prazan prostor, što je postalo temelj njegove planetarne teorije, a sukladno tome vjerovao je da je prostor između Zemlje i Mjeseca ispunjen zrakom i vatrom. Za eter, Aristotelov peti element, je vjerovao da se sastoji od sićušnih sfernih čestica te da je upravo njegov sastav fizikalni argument koji podupire sferičnost nebeskih tijela kao i kružno gibanje istih. Osnovna ideja Ptolomejeve teorije je bio poredak nebeskih sfera prema polumjeru planetarnog epicikla i to na način da nema praznog prostora među njima. Pokušavao je odrediti poredak planeta te je zaključio da je Mjesečeva sfera najbliža Zemlji iza koje slijede, po redu, sfere Merkura, Venere, Sunca, Marsa, Jupitera i Saturna, a sfera zvijezda stajačica je kompletirala sustav.



Slika 18. Ptolomejev model svemira

(http://www.vikdhillon.staff.shef.ac.uk/teaching/phy105/celsphere/phy105_ptolemy.html) Preuzeto: 13.09.2016.

Odredio je udaljenost Mjeseca od Zemlje koja je iznosila između 33 i 64 Zemljina polumjera, gdje je vrijednost od 33 Zemljina polumjera odgovarala najmanjoj udaljenosti od Zemlje, a vrijednost od 64 Zemljina polumjera najvećoj. Važno je napomenuti da je razlika između ovih dviju vrijednosti bila prevelika da bi se poklapala s promatranjima. Kako je najveća udaljenost Mjeseca od Zemlje iznosila 64 Zemljina polumjera dolazi do zaključka kako ta vrijednost mora ujedno biti i najmanja udaljenost Merkura od Zemlje. Prema teoriji o epiciklima i deferentima koju je razvio u djelu *Almagest* zaključuje da je omjer najmanje i najveće udaljenosti Merkura od Zemlje 34:88, što je značilo da je najveća udaljenost Merkura od Zemlje $64 \times (88/34) = 166$ Zemljinih polumjera.

Planet	Najmanja udaljenost od Zemlje (R)	Najveća udaljenost od Zemlje (R)	Srednja udaljenost od Zemlje (R)	Današnja srednja udaljenost od Zemlje ¹³ (R)
Mjesec	33	64	48	60,3
Merkur	64	166	115	14 323,5
Venera	166	1 079	622,5	6 574,7
Sunce	1 160	1 260	1 210	23 481,1
Mars	1 260	8 820	5 040	12 210,2
Jupiter	8 820	14 187	11 504	98 620,5
Saturn	14 187	19 865	17 026	200 528,3

Tablica 1. Ptolomejeve vrijednosti za udaljenosti pojedinih planeta od Zemlje, izražene u jedinicama polumjera Zemlje

Valja primijetiti da postoji „rupa“ veličine 81 Zemljinog polumjera između najveće udaljenosti Venere od Zemlje i najmanje udaljenosti Sunca od Zemlje. Ta rupa je bila trn u oku za Ptolomeja jer se po njegovoj teoriji nije mogla sastojati od praznog prostora. Rekao je da bi se ona mogla smanjiti malim povećanjem udaljenosti Mjeseca, no unatoč svemu je zadržao dobivene vrijednosti za koje je tvrdio da se ne mogu izbjeći. Nakon što je odredio udaljenosti planeta od Zemlje u jedinicama Zemljinog polumjera, možemo izračunati da je polumjer Ptolomejeva svemira bio oko 570 milijuna stadija ili otprilike 85 milijuna kilometara. Kao i mnogi drugi filozofi nije rekao ništa o debljini sfere zvijezda stajačica. Za njih se smatralo da se uvijek nalaze na istoj udaljenosti od Zemlje no brzo se shvatilo da je to samo pretpostavka za koju nema opravdanja niti u teoriji niti u promatranjima.

Nadalje je pokušao odrediti i veličine nebeskih tijela iz procjena njihovih vidljivih promjera. Došao je do zaključka da je Sunce najveće od planeta s promjerom 5,5 puta većim od promjera Zemlje (današnja vrijednost iznosi 109,2 promjera Zemlje). Nakon Sunca slijedi Jupiter sa 4,4 (danas 10,9 promjera Zemlje), a zatim i Saturn sa 4,3 promjera Zemlje (danas

¹³ Vrijednosti koje služe za usporedbu

9,1 promjera Zemlje), dok je Merkur najmanji od planeta s promjerom od samo 0,04 promjera Zemlje (danas 0,38 promjera Zemlje).

4. Srednjovjekovni modeli svemira

Visokorazvijena starogrčka znanost je bila pisana grčkim jezikom pa je bila nepoznata većini učenjaka u ranom srednjem vijeku. Nakon što je starogrčka literatura bila prevedena na arapski jezik, ona pronalazi put do srednjovjekovne Europe u kojoj se govorilo i pisalo latinskim jezikom. Dugo vremena je najpoznatije starogrčko djelo u Europi bilo Platonov Timej (*Timaeus*) za koje se pretpostavlja da je na latinski jezik prevedeno u 4. ili 5. stoljeću, dok su Aristotelova i Ptolomejeva djela prevedena tek u 12. stoljeću. Zato je Platonova filozofija imala velik utjecaj na učenjake ranog srednjeg vijeka, a nakon prijevoda Aristotelovih djela dolazi do velikog preokreta u europskoj znanosti. Gotovo četiri stoljeća je Aristotelova prirodna filozofija bila temelj stabilne i harmonične slike svijeta na koju je veliki utjecaj imala kršćanska vjera. Dobro je poznato da je upravo taj oblik kršćanskog aristotelizma postao temelj kozmologije¹⁴ koji je kasnije stekao paradigmatičan status.

Općenito se može reći da je srednjovjekovni svemir bio konačan i geocentričan sa sedam planeta i sferom zvijezda stajačica koji su se gibali oko nepomične Zemlje. Sva nebeska tijela se gibaju jednoliko po kružnicama ili sferama, a planetarne sfere su bile zbijene pa među njima nije bilo praznina ili praznog prostora. Zemaljsko je područje sačinjeno od četiri elementa, a nebesa su se smatrala nepromjenjivim svijetom izgrađenim od petog elementa nepoznatog stanovnicima Zemlje. Ovo su bile osnovne ideje i slika svemira koja se tijekom srednjeg vijeka mijenjala, a što će biti objašnjeno u daljnjem tekstu.

U 13. i 14. st. se raspravljalo o kozmološkim problemima među kojima se našla i ideja o mogućnosti postojanja drugih svemira. Pobornici te ideje su se opravdavali izjavom kako je Bog svemoguć i njegove moći stvaranja su ograničene samo onim što čovjek ne može pojmiti. Ovakvo je učenje dovelo do mnogih rasprava kao i do nekoliko iznimnih ideja, no kada je došlo do stvaranja slike svemira mašta je bila ograničena i samo se nekolicina učenjaka usudila poljuljati standardnu kozmologiju.

4.1. Rani srednji vijek

Ono malo što je bilo poznato o svemiru u ranom srednjem vijeku je uključivalo ideju da je on u potpunosti načinjen natprirodnim djelovanjem, u činu Božjeg stvaranja Zemlje, a bilo koja druga mogućnost nastanka svemira se odbacivala, kao primjerice mogućnost da je svemir bio oblikovan iz nekog prethodno postojećeg stanja tvari. Ovaj koncept stvaranja

¹⁴ Kozmologija je grana astronomije koja se bavi porijeklom, svojstvima i razvojem svemira u cjelini

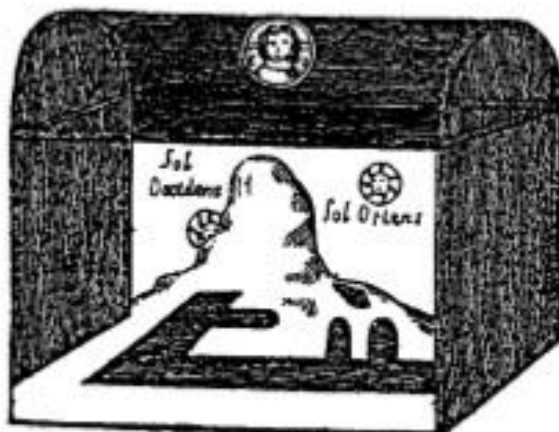
svemira iz ničega se ne može pronaći u najranijem obliku kršćanstva nego tek u drugoj polovici 2. stoljeća kao teološka¹⁵ tvrdnja. Kada je tvrdnja o nastanku svemira iz ničega bila prvotno formirana, ubrzo biva i prihvaćena kao samo objašnjavajuća. Vrhunac doživljava 1215. godine kada je dobila i službeno odobrenje 4. Lateranskog koncila te postaje široko prihvaćena kroz gotovo cijelo tisućljeće.

Rani srednji vijek, u periodu od oko 400. do oko 800. godine bilježi drastičan pad razvoja znanosti, a astronomija i kozmologija nisu bile iznimka. Katolička crkva tada nije imala jedinstveno stajalište o starogrčkoj znanosti, a izražavala je neodobravanje prema bilo kojem obliku prirodne filozofije koji nije bilo u skladu s biblijskim učenjem ili se na bilo koji način nije moglo opravdati teologijom. Znanje iz područja astronomije, čak i najučenijskih svećenika tog doba, je bilo mizerno. Sve je to dovelo do promjena koje su bile poražavajuće za razvoj astronomije, a najbolje se očituje oživljavanjem ideje nesferične Zemlje koja je zaživjela kratko vrijeme.

Jedan od pobornika ravne Zemlje je bio Lucije Cecilije Laktancije, biskup koji je živio u prvoj polovici 4. stoljeća. Smatrao je da je sferičnost Zemlje smiješno i heretičko vjerovanje, te napisao da nitko nije dovoljno glup da vjeruje u postojanje ljudi kojima su otisci stopala viši od njihovih glava, ili da stvari koje leže ravno pred nama vise naglavačke, da žitarice i drveće rastu prema dolje ili da kiša i snijeg padaju prema gore na zemlju.

Sliku svijeta s ravnom Zemljom je objavio Kozma Indikoplov, bizantski ili egipatski trgovac iz 6. stoljeća, u svom djelu Topografija kršćanstva.

¹⁵ Teologija ili bogoslovlje je proučavanje Boga ili religiozno učenje koje nastoji sistematizirati i potkrijepiti vjerske dogme i vjerovanja



Slika 19. Kozmina slika svijeta

(Kragh, H.S., *Conceptions of Cosmos*, Oxford, University of Oxford, 2007. str.34)

Na slici možemo vidjeti sliku civiliziranog svijeta koju je Kozma zamislio kao svodastu kutiju s planinom. Gore se nalazi nebeski svod, a dolje zemlja. Sunce i Mjesec svakog dana nestaju iza ogromne planine stožastog oblika, što objašnjava izmjenu dana i noći. Nebeska tijela se nisu nalazila na velikim udaljenostima od Zemlje već u prostoru između nebeskog svoda i Zemlje, a pomicali su ih anđeli. Bio je pobornik ravne Zemlje, ali se protivio vjerovanju da se Zemlja nalazi u središtu svemira. Naime, smatrao je da Zemlja mora biti iznimno velike mase te da iz tog razloga zasigurno mora biti na dnu svemira.

Nisu svi rani kršćani bili pobornici ravne Zemlje. Sveti Beda Časni (od 672. do 735. godine) je bio redovnik iz sjeverne Engleske koji se cijeli život bavio proučavanjem Svetog pisma, a uz to je bio i plodan pisac. Uz teološke radove napisao je i brojna asketska, hagiografska¹⁶, gramatička i znanstvena djela koja su ga uvrstila među najučenije ljude srednjeg vijeka. Napisao je rad o kalendarima koji je uživao veliku reputaciju u srednjem vijeku.

¹⁶ Hagiografija je djelo u kojem se opisuje život nekog sveca



Slika 20. Sveti Beda Časni

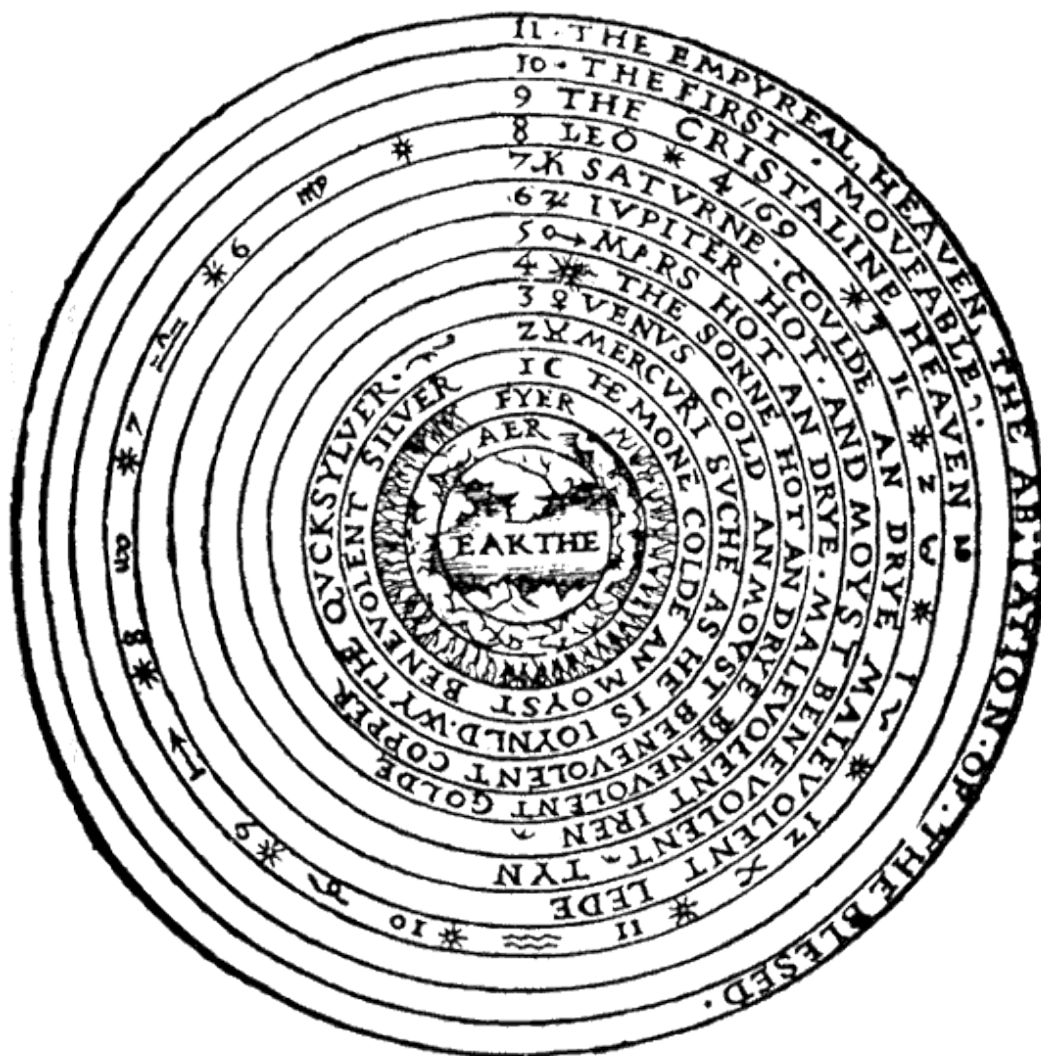
(https://hr.wikipedia.org/wiki/Beda_%C4%8Casni#/media/File:The_Venerable_Bede_translates_John_1902.jpg)

Preuzeto: 13.09.2016.

Za razliku od nekih svojih prethodnika nije imao problema s prihvaćanjem okrugle Zemlje, a uz to je tvrdio da je Sunce mnogo veće od Zemlje. Također je smatrao da se iznad nebesa nalazi voda.

4.2. Oživljavanje aristotelizma

Oživljavanje znanosti u zapadnoj Europi se uvelike oslanjalo na prijevode starogrčkih znanstvenih radova. Prije nego su rezultati prevoditeljskog pokreta bili vidljivi brojni su učenjaci napisali kozmološke radove koji su uvelike bili nadahnuti Platonovom filozofijom i, naravno, kršćanskom teologijom. Latinski prijevodi starogrčkih djela počeli su se pojavljivati oko 1150. godine, a nakon otprilike jednog stoljeća cijeli korpus starogrčke astronomije i kozmologije biva dostupan srednjovjekovnim prirodnim filozofima. Tako su srednjovjekovni učenjaci u 13. stoljeću postali svjesni snage Aristotelove prirodne filozofije što je rezultiralo prevladavanjem Aristotelove prirodne filozofije nad Platonovom. Tada nastaje nova slika svijeta koja je u svojoj biti bila aristotelovska, ali je imala elemente Ptolomejeva sustava u smislu deferenata i epicikala.



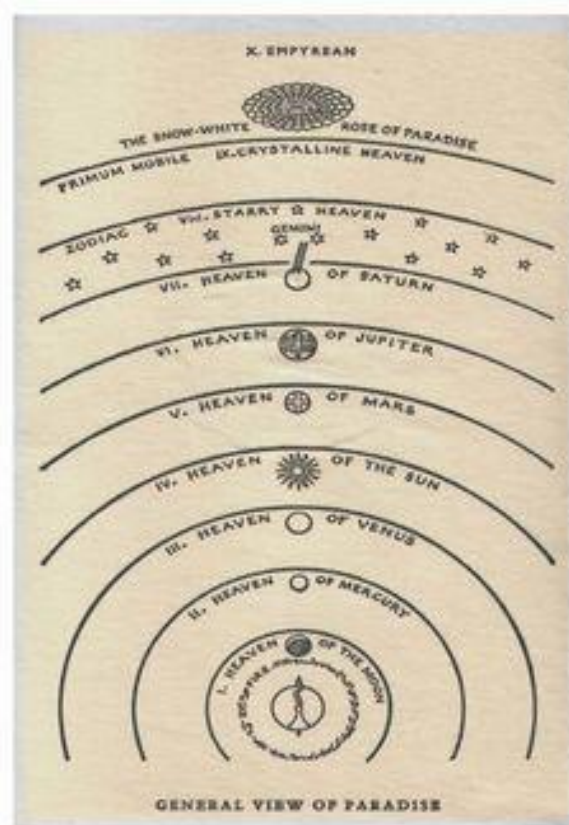
Slika 21. Srednjovjekovni model svemira

(<http://www.luminarium.org/encyclopedia/medievalcosmology.htm>) Preuzeto: 13.09.2016.

Svi su se složili da se okrugla Zemlja nalazi u središtu svemira okružena sa sedam planetarnih sfera koje savršeno među djeluju. Saturnovu sferu obavija primum mobile, odnosno sfera zvijezda stajačica. Međutim, u srednjem su se vijeku uglavnom dodavale još dvije ili tri sfere na tih postojećih osam, najčešće iz religijskih razloga. Kako je u Bibliji napisano da se iznad nebeskog svoda nalaze vode, to se naravno odrazilo i na srednjovjekovni model svemira. Interpretacija pisane riječi je dovela do uvođenja, odnosno dodavanja, jedne ili dvije sfere iznad sfere zvijezda stajačica koja se sastojala od vode u tekućem ili krutom stanju. Ta je deveta sfera, a ponekad i deseta, bila bez zvijezda i savršeno prozirna, kristalna sfera. Neki učenjaci su dodavali još jednu nepokretnu sferu u kojoj su prebivali anđeli. Za nebeske sfere i tijela koja se gibaju u njima se pretpostavljalo da su izgrađeni od nekakve savršene i nepromjenjive tvari koja se najčešće poistovjećivala s Aristotelovim eterom. Također se

vjerovalo da su zvijezde i planeti okrugli kao i Zemlja, te da su načinjeni od istog eterskog elementa kao i nebeske sfere po kojima se gibaju, ali u gušćem obliku. Većina učenjaka je vjerovala da planeti i zvijezde dobivaju svjetlost od Sunca, dok se neki nisu složili s tom tvrdnjom i inzistirali su da planeti i zvijezde sjaje vlastitom svjetlošću. Složili su se oko trodimenzionalnosti nebeskih sfera. Glavna karakteristika nebeskih sfera je bila debljina, a poredak im je bio takav da je konveksna površina jedne sfere bila jednaka konkavnoj površini druge, susjedne sfere. Na taj način se izbjegao problem rupa i praznina u nebesima. Ovakva slika svemira u srednjem je vijeku bila od većeg interesa za filozofe nego za astronome. Naime, astronomija je u to doba bila većinom matematička znanost koja se bavila računanjem položaja planeta i zvijezda, a za tu svrhu kozmološki problemi, poput prirode nebeskih tvari, nisu bili od velikog značaja.

Koliko je dobro poznat i prihvaćen bio srednjovjekovni model svemira govori činjenica da ga je opisao i Dante Alighieri u svom djelu Božanstvena komedija (*Divina Commedia*). U ovom djelu čitatelju je opisan pojednostavljeni aristotelovski kozmos koji se sastoji od sedam planetarnih sfera koje slijede ogromna sfera zvijezda stajačica i prvotni pokretač u kojem nema zvijezda. Kada Dante i Beatrice uđu u najudaljeniju sferu on primjećuje kako je ona toliko jednolika da ne može odrediti na kojem je mjestu ušao. Evidentno je da je Dante vjerovao u postojanje kristalnih sfera koje su načinjene od „kuglastog etera“ te da je njegov svemir imao deset nebeskih sfera. Deseta sfera nije bila fizička sfera niti je bila okarakterizirana dimenzijama ili rasponom. To je bilo empirijsko nebo, um samog Boga i oblik raja gdje su se mogle pronaći duše blagoslovljenih. Brzinu revolucije primarnog pokretača opisuje kao neshvatljivu, a rezultat takve velike brzine pronalazi u želji svakog dijela te sfere da se ujedini s uzvišenim Empirejem.



Slika 22. Danteov prikaz svemira

(<https://www.pinterest.com/davidbsheppard/dantes-universe/>) Preuzeto: 13.09.2016.

4.3. Nove perspektive

Mnogi srednjevjekovni teolozi su prihvatili aristotelizam u onoj mjeri u kojoj se mogao na dobar način i u duhu kršćanske vjere predstaviti, ali su isto tako bili svjesni i opasnosti njegove filozofije po crkvena uvjerenja zbog njezina nepoklapanja s određenim kršćanskim doktrinama. Oko 1270. godine fakultet umjetnosti u Parizu postaje dom grupe radikalnih mislilaca koji su bili spremni prihvatiti Aristotelov naturalizam i racionalizam koliko god je to bilo moguće, pa čak i do te mjere u kojoj je proturječila religijskom učenju. Tvrdili su da je zadatak filozofa istražiti svako pitanje koje je moguće racionalno pojmiti pri tom slijedeći sve argumente do njihova logičkog zaključka bez obzira na vjeru. Ovakav način razmišljanja je bio opasan po crkvu pa 1270. godine pariški biskup Etienne Tempier odlučuje reagirati na njih. Izdaje popis 13 tvrdnji za koje se smatra da su neistinite i heretičke, a taj se popis tijekom sljedećih sedam godina proširio na čak 219 heretičkih tvrdnji, od kojih se više od 20 odnosilo na kozmologiju. Prema tom popisu je, primjerice, bilo pogrešno tvrditi da kada se sva nebeska tijela vrate u isti položaj, što će se dogoditi za 36 000 godina, svi će se sadašnji

procesi ponoviti. Nakon izdavanja tog popisa Aristotelova prirodna filozofija je i dalje bila najprihvaćenija, ali i podvrgnuta brojnim kritikama.

Jean Buridan je oko 1350. godine započeo s raspravom o mogućnosti Zemljine dnevne rotacije.



Slika 23. Jean Buridan

(<http://alchetron.com/Jean-Buridan-1053570-W>) Preuzeto: 13.09.2016.

Smatra da je ona problem relativnog gibanja te da se i gibanje zvijezda može objasniti na isti način. Svoju je hipotezu temeljio na jednostavnosti svemira. Smatra da je razumnije pretpostaviti da se relativno mala Zemlja rotira oko svoje osi malom brzinom nego da se sve nebeske sfere gibaju oko nepokretne Zemlje iznimno velikim brzinama. Također dodaje da je stanje mirovanja plemenitije od stanja gibanja pa zato najplemenitija nebeska tijela, zvijezde, moraju mirovati, dok se prolazna i neplemenita Zemlja mora gibati. Nakon što je iznio ove pretpostavke koje idu u prilog dnevnoj rotaciji Zemlje, on ih počinje kritizirati. Na kraju dolazi do zaključka da se Zemlja ipak ne okreće oko svoje osi, a kao glavni razlog navodi snažan vjetar koji bi osjećali ljudi na Zemlji kao rezultat njezine rotacije.

Buridanove ideje je nastavio razvijati njegov mlađi suvremenik, Nicole Oresme, koji je bio francuski znanstvenik i katolički biskup.



Slika 24. Nicole Oresme

(https://hr.wikipedia.org/wiki/NicolAJs_Oresmius#/media/File:Oresme-Nicole.jpg) Preuzeto: 13.09.2016.

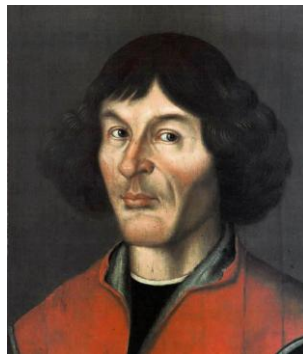
U djelu *Le livre du ciel*, jednom od klasika prirodne filozofije 14. stoljeća, iznosi hrabre pretpostavke poput one da zakoni zemaljske prirode mogu vrijediti i za nebeska područja, čime je učinio prvi korak prema odbacivanju Aristotelove razlike između fizike sublunarnih i supralunarnih sfera. Odbacuje i vjerovanje da nebesa pokreću anđeli. Smatrao je da je Bog prilikom stvaranja svijeta u nebeska tijela usadio pokretačku snagu koja im je omogućavala daljnje gibanje, a takvo gibanje nebeskih tijela je usporedio s načinom rada sata. Kao što čovjek izradi sat koji dalje radi sam i nastavlja gibati kazaljke sam od sebe, tako se gibaju i nebeska tijela. Pretpostavlja se da je bio prvi koji je upotrijebio tu metaforu, a koja je kasnije postala vrlo popularna. Osvrnuo se i na Buridanovu hipotezu o dnevnoj rotaciji Zemlje, ali s više odobravanja prema istoj. Problem jakog vjetra, koji bi na Zemlji konstantno puhao s istoka uslijed Zemljine rotacije, rješava primjedbom da bi se i zrak koji se nalazi iznad njene površine rotirao zajedno s njom. Također smatra da objašnjenje Zemljine rotacije leži u jednostavnosti svemira, a da bi se njenim uvođenjem mogle izbjeći brzine nebeskih sfera koje su izvan granice ljudskog poimanja i određivanja. Poziva se i na biblijski pasus gdje je opisano kako je Bog produljio dan zapovijedajući Suncu da se zaustavi, primjećujući da se isti učinak mogao postići na jednostavniji način, privremenim prestankom Zemljine rotacije. Kako je sam Bog uvijek djelovao na najisplativiji način pretpostavlja da je upravo tako izveo to čudo. Na kraju je i on odlučio da postoje brojni teološki razlozi za neprihvatanje rotacije Zemlje, jer je jedna stvar bila preispitivati Aristotela, a potpuno druga dovođiti u pitanje autoritet Biblije.

Nikola Kuzanski (od 1401. do 1464. godine) bio je njemački kardinal i renesansni filozof koji je napisao brojne teološke i matematičke radove kao i djela na temu prirodne filozofije. Bio je fasciniran konceptom beskonačnosti te je razvio metafizički sustav, poznatiji

pod nazivom slaganje suprotnosti, koji je prenio na kozmologiju i druga područja. Rezultat njegova nova sustava je bio niz hrabrih izjava koje su se suprotstavljale aristotelovskoj kozmologiji srednjega vijeka. Tvrdio je da svemir nema fiksni centar niti da je ograničen bilo kakvom nebeskom sferom kao i da se Zemlja giba. Njegov je svemir bio relativno beskonačan i homogen u smislu da bi bilo koji promatrač u bilo kojoj točki svemira opažao u biti isti svemir. Nadalje, tvrdi da ne postoji razlika između građevne tvari sublunarnog i supralunarnog svijeta pretpostavljajući da su sva nebeska tijela, koliko god plemenita bila, izgrađena od ista četiri elementa koja se nalaze na Zemlji. Kako na Zemlji postoji život smatra da i u cijelom svemiru postoji život, odnosno da ljudska rasa nije jedina rasa u svemiru, a čak je pretpostavljao da su neka od tih bića superiornija spram ljudi. Treba napomenuti kako njegovi argumenti nisu imali temelje na empirijskim promatranjima kao što nisu imali ni znanstvene temelje.

4.4. Nikola Kopernik

Šesnaesto je stoljeće bilo obilježeno propitivanjima tradicionalne slike svijeta od strane mnogih prirodnih filozofa, a jedna od najistaknutijih ideja je bila ona o Zemlji kao planetu. Pobornik ove ideje je bio i poljski astronom Nikola Kopernik. Iako je imao formalno obrazovanje iz kanonskog prava, zanimale su ga medicina i astronomija. Nakon obrazovanja u Italiji, 1503. godine se vraća u rodnu Poljsku gdje se posvetio izučavanju astronomije što je rezultiralo hipotezom o Suncu kao središtu svemira.



Slika 25. Nikola Kopernik

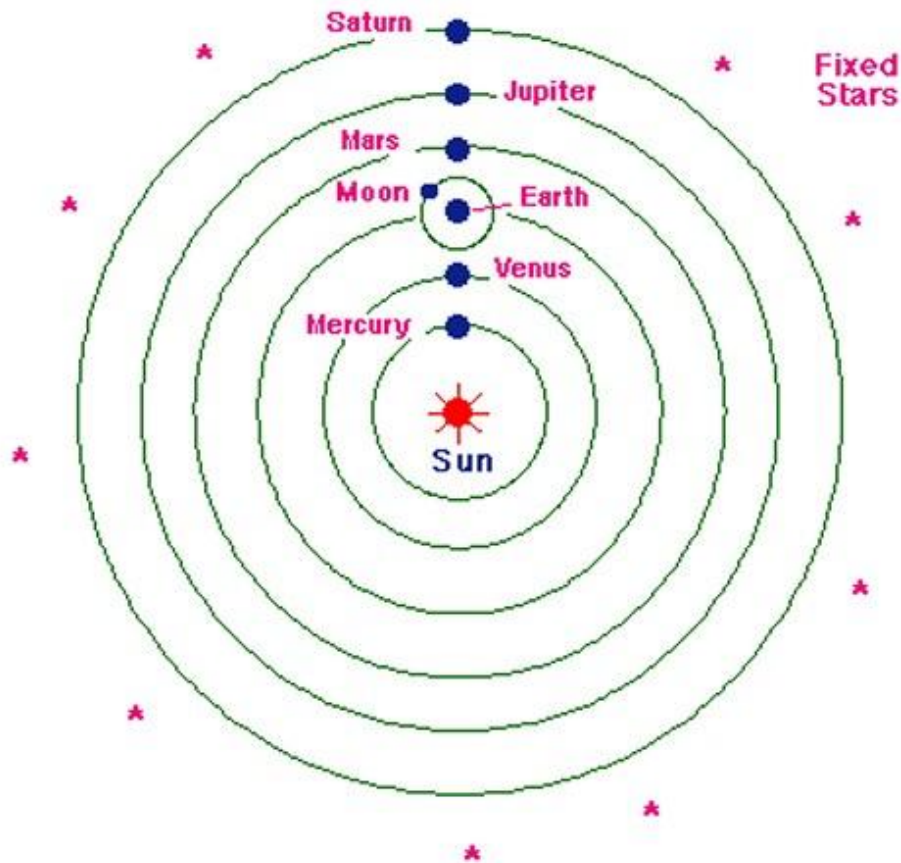
(https://hr.wikipedia.org/wiki/Nikola_Kopernik#/media/File:NikolAJs_Kopernikus.jpg) Preuzeto: 13.09.2016.

Poznato je da je napisao kratki rad o novom astronomskom sustavu 1512. godine, kada ga je i razvio, poznatije pod nazivom *Commentarioulus*. Taj rad je bio pisan rukom i kao takav dostupan samo malom broju ljudi. Nakon godina odgađanja, njegovo remek djelo O vrtnji nebeskih sfera (*De revolutionibus orbium coelestium*) napokon je 1543. godine netom

prije nego li je umro, ugledalo svijetlo dana. Razlog odgađanja objave ovog djela nije poznat, ali zasigurno nije bio strah od reakcije katoličke crkve jer ga je na objavljivanje nagnao kardinal Nicolaus von Schönberg. Napisano je u šest knjiga i bilo je vrlo teško razumljivo i tehnički zahtjevno ciljajući na uži krug čitatelja koji su bili astronomi i matematičari. Čak je i sam Kopernik naglašavao da *mathemata mathematicis scribuntur*¹⁷. U svojim je radovima iznio sedam postulata glavnih obilježja svoje alternative tradicionalnoj kozmologiji.

Tvrdio je da središte Zemlje nije središte svemira već da to mjesto zauzima Sunce. Svo gibanje koje se opažalo na nebeskom svodu je bilo rezultat gibanja Zemlje, što je vrijedilo i za prividno gibanje Sunca. Osim što se Zemlja okreće oko svoje osi, kao i drugi planeti, ona također i revoluirala oko Sunca. Kopernik je imao dosta zamjerki na Ptolomejev sustav kao što su bili velik broj epicikala i činjenica da se taj sustav ne poklapa s opažanjima, a ono što ga je najviše smetalo jest da se središta epicikala nisu gibala jednoliko s obzirom na deferent već s obzirom na fiktivni ekvant. Smatrao je to izdajom fundamentalne doktrine o jednolikom kružnom gibanju kao jedinom dopuštenom obliku gibanja na nebesima i dao naslutiti da mu je bila velika želja ispraviti ovu grešku što ga je u konačnici dovelo do nove teorije. Međutim, Kopernikov je sustav bio vrlo sličan Ptolomejevu sa zamijenjenim mjestima Sunca i Zemlje, dok su nebeske sfere i dalje bile koncentrične, a Kopernik je čak bio prisiljen uvesti epicikle u svoj sustav kako bi slika svemira bila u skladu s promatranjima.

¹⁷ lat. Matematika je pisana za matematičare



Slika 26. Kopernikov model svemira

(<http://www.physicsoftheuniverse.com/dates.html>) Preuzeto: 13.09.2016.

Pogledamo li strukturu i dimenzije njegova svemira, tek tada možemo vidjeti koliko se zapravo razlikovao od tradicionalnog svemira. Kopernik nije morao nagađati poredak planeta jer je bio u mogućnosti izračunati njihove udaljenosti u jedinicama srednje Zemljine udaljenosti od Sunca, odnosno astronomskim jedinicama. Za ovu udaljenost je dobio vrijednost od 1142 Zemljina polumjera, stvarna je vrijednost 23600 Zemljina polumjera, koja je bila premala. No, mudro je odlučio koristiti relativne planetarne udaljenosti prikazane u donjoj tablici.

Planet	Najmanja udaljenost (AJ)	Najveća udaljenost (AJ)	Srednja udaljenost (AJ)	Današnja srednja udaljenost (AJ)
Merkur	0,26	0,45	0,38	0,39
Venera	0,70	0,74	0,72	0,72
Zemlja	0,97	1,03	1,00	1,00
Mars	1,37	1,67	1,52	1,60
Jupiter	4,98	5,46	5,22	5,20
Saturn	8,65	9,70	9,17	9,54

Tablica 2. Kopernikove relativne planetarne udaljenosti planeta od Sunca i današnje srednje udaljenosti planeta od Sunca

Spram Ptolomejeva sustava Kopernikove su nebeske sfere mnogo uže i nije sav prostor između sfera ispunjen. Primjerice, najveća udaljenost Merkurove sfere je 0,45 AJ¹⁸ dok najmanja udaljenost Venerine sfere ima vrijednost 0,70 AJ, što znači da postoji prazan prostor između tih dviju sfera od 0,25 AJ. Kako bi objasnio nepostojanje paralakse¹⁹ zvijezda pretpostavlja da udaljenost od Saturna do sfere zvijezda stajačica mora biti iznimno velika te dolazi do zaključka da iznad Saturna mora postojati prazan prostor koji je puno veći od njegove udaljenosti od Sunca. U smislu volumena Kopernikov je svemir bio oko 400 000 puta veći od tradicionalnog. Za sferu zvijezda stajačica nije rekao mnogo već se čini da je sve zvijezde, bez obzira na njihovu magnitudu²⁰, smjestio na istu sfernu površinu koja je jako udaljena od Sunca.

Kopernikova teorija nije odmah zadobila veliku pažnju. Tek nakon nekoliko desetljeća je prepoznat njezin značaj i tada se počinje kritizirati ovaj model svemira. Samo su neki znanstvenici odlučili prihvatiti heliocentričnost dok je većina prepoznala i koristila Kopernikovu matematiku kako bi opisali svoje viđenje svijeta te matematičkim računom

¹⁸ Astronomska jedinica je mjerna jedinica koja odgovara srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca, odnosno 149 597 870,7km

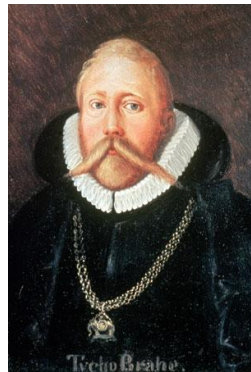
¹⁹ Paralaksa je prividan pomak nebeskog tijela opažan iz dvaju različitih smjerova

²⁰ Magnituda zvijezde, planeta ili drugog nebeskog tijela je mjera njegova sjaja; razlikujemo prividnu i apsolutnu magnitudu

podržali svoja promatranja i stavove. Naravno, crkva nije odobravalala Kopernikove stavove iznesene u njegovoj novoj teoriji, ali isto tako nije bilo niti previše negodovanja. Razlog tome bi mogao biti što je u uvodu naglasio da je smisao astronomije kreiranje modela koji opisuju nebeske fenomene te da je heliocentrična teorija samo matematički model što ne znači da je ona uistinu točna i u fizikalnom smislu. Kasnije se ispostavilo da to nije napisao sam Kopernik već Andreas Osiander koji je bio zadužen za nadzor tiskanja knjige. Međutim, heliocentričnost čak i nije bila najveći problem njegove nove teorije, s obzirom da se u srednjem vijeku smatralo da središnje mjesto svemira nije bilo toliko povlašteno jer je bilo najudaljenije od sfere u kojoj su se nalazili anđeli. Najveći problem je bio što je Zemlja bila reducirana na planet jer je to moglo značiti da i na ostalim planetima mogu postojati živa bića.

4.5. Tycho Brahe

Danski plemić Tycho Brahe (14.12.1546. – 24.10.1601.) predlaže alternativni kozmološki model.



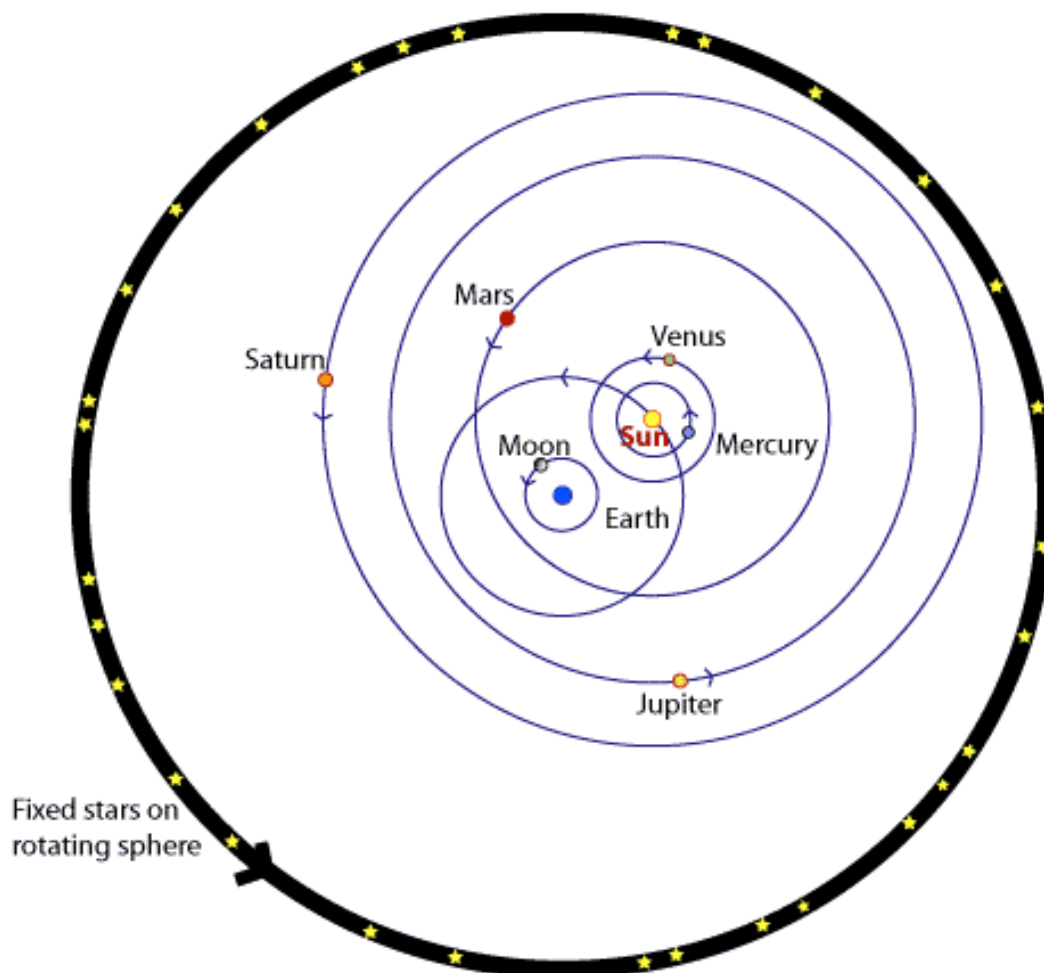
Slika 27. Tycho Brahe

(https://hr.wikipedia.org/wiki/Tycho_Brahe#/media/File:Tycho_Brahe.JPG) Preuzeto: 13.09.2016.

U djelu *De nova stella* (objavljenom 1573. godine) opisao je opažanje nove zvijezde u zviježđu Kasiopeje (11. studenog 1572. godine) za koju je tvrdio da je to u potpuno nova, netom nastala, zvijezda. To je otkriće bilo od velike važnosti jer je bilo u suprotnosti s dotadašnjim vjerovanjem o savršenosti nebeskog svoda koji se nikada ne mijenja. Ubrzo, 1574. godine je održao niz predavanja na Sveučilištu u Kopenhagenu gdje je, među ostalim, govorio o Kopernikovu novom sustavu. Cijenio je Kopernika i koristio njegove izračune koje je prenio na sustav u kojem Zemlja miruje. Nakon promatranja velikog kometa iz 1577. godine počinje razmišljati o alternativnom modelu svemira koji bi sadržavao najbolje ideje Kopernikove i Ptolomejeve teorije. Na osnovu podataka koje je dobio promatranjem velikog

kometa dolazi do zaključka da je prošao kroz Merkurovu i Venerinu sferu te da u tom slučaju njihove sfere ne mogu biti kruta tijela pa tako ne postoji ništa što bi sprječavalo presijecanje planetarnih orbita.

Tycho objavljuje svoj model svemira 1588. godine u osmom poglavlju traktata²¹ o velikom kometu, *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis*. Njegov je svemir bio geocentričan, a oko nepomične Zemlje kruže Mjesec i Sunce po kružnim putanjama dok se ostali planeti gibaju oko Sunca, također po kružnim putanjama. Zato je bolje reći da je njegov sustav bio geo-heliocentričan. Ovaj sustav predstavljao je kompromis između Kopernikova i Ptolomejeva modela svemira, fizikalno bliži Ptolomejevu, a matematički i geometrijski Kopernikovu.



Slika 28. Tychov model svemira

(<http://www.atnf.csiro.AJ/outreach/education/senior/cosmicengine/renaissanceastro.html>) Preuzeto: 13.09.2016.

²¹ Traktat je opširna i detaljna rasprava o nekom određenom pitanju ili predmetu

Tychove dimenzije svemira, završno sa Saturnovom sferom, se nisu mnogo razlikovale od Kopernikovih. Za udaljenost Sunca od Zemlje je uzeo vrijednost koja je 20 puta veća od udaljenosti Mjeseca od Zemlje, koja je imala vrijednost od 60 polumjera Zemlje. Izračunao je i udaljenost Saturna od Zemlje te dobio vrijednost od 11000 polumjera Zemlje. Sferu zvijezda stajačica je smjestio odmah nakon Saturnove sfere na srednjoj udaljenosti od 14000 polumjera Zemlje.

Kako je posjedovao odlične instrumente za promatranje nebeskih tijela i pojava, pokušao je uočiti paralaksu zvijezda, no bez uspjeha. Smatra da postoje dva objašnjenja za ovaj nedostatak, ili je ona iznimno mala, ispod vrijednosti od 1', pa ju nije moguće opaziti ili se zvijezde uistinu nalaze na udaljenosti od 7 milijuna polumjera Zemlje kako je izračunao Kopernik. Ukoliko bi prihvatio tu Kopernikovu udaljenost zvijezda od Zemlje morao bi se pomiriti s činjenicom da postoji prazan prostor između Saturnove i sfere zvijezda stajačica, no smatrao je da je nemoguće postojanje takvog praznog prostora, što je bilo uobičajeno za to vrijeme. Kako bi odbacio mogućnost velike udaljenosti zvijezda od Zemlje, pretpostavlja da zvijezde imaju vidljive promjere, za koje je odredio da su između 1' i 3'. To je značilo da ukoliko bi zvijezde bile na velikoj udaljenosti od Zemlje imale bi velike promjere, i to do nekoliko stotina puta veće od promjera Sunca što je smatrao apsurdnim.

Zanimala ga je i fizika nebesa. Prihvatio je Aristotelovu razliku između sublunarnog i supralunarnog područja, ali nije vjerovao da je ona apsolutna. Smatra kako zrak postupno postaje rjeđi prema Mjesecu i na kraju se spaja s eterom. Nebesa su sačinjena od etera koji je bivao sve gušći s povećanjem udaljenosti od Zemlje. Tako je i objasnio nastanak nove zvijezde iz 1572. godine kao privremenu nakupinu etera.

U periodu između 1620. i 1660. godine Tychova je hibridna kozmologija uživala veliku pažnju te je u određenoj mjeri bila i prihvaćena, posebice među mladim teolozima koji zbog vjerskih razloga nisu mogli prihvatiti Kopernikov sustav.

4.6. Ideje o beskonačnosti svemira

17. je stoljeće obilježeno oživljavanjem antičke teorije o beskonačnosti svemira. Talijanski renesansni filozof i pjesnik Giordano Bruno (od 1548. do 1600.) je bio pripadnik dominikanskog reda koji je svoj život posvetio studiranju teologije i Aristotelove filozofije. Bio je pobornik Kopernikovih ideja iako je njegovo shvaćanje Kopernikova sustava bilo mizerno jer nije imao znanje potrebno za shvaćanje njegove matematike. Bez sumnje je u

svojim idejama i tvrdnjama otišao daleko iznad Kopernika, ali je potrebno naglasiti kako je Bruno bio filozof koji je o kozmološkim temama promišljao zanemarujući promatranja.



Slika 29. Giordano Bruno

(https://hr.wikipedia.org/wiki/Giordano_Bruno#/media/File:Giordano_Bruno.jpg) Preuzeto: 13.09.2016.

Planetarni sustav koji je 1584. godine predložio u djelima *La Cena de le Ceneri* i *De l'infinito universo et mundi* je bio heliocentričan, a Zemlja je predstavljala samo još jedan planet koji se zajedno s ostalim planetima giba oko Sunca. U njemu su se Merkur i Venera gibali po istom epiciklu, a na njemu se nalazio i epicikl po kojemu se gibao Mjesec. Komete je također smatrao planetima što je značilo da točan broj planeta ne može biti određen. Ono što je od posebnog značaja jest činjenica da nije vjerovao da su planetarne orbite nužno kružnice ili da se njihovo gibanje može svesti na kružno. Smatrao je da se nebeska tijela sastoje od istih elemenata kao i tvari na Zemlji, dakle nije prihvaćao Aristotelovu teoriju o postojanju petog elementa. Sferu zvijezda stajačica opisuje kao fantaziju, a bio je jedan od pristalica beskonačnosti svemira tvrdeći da je svemir uistinu beskonačan i u kontinuiranom stanju promjena. Kao centar svijeta navodi da niti Sunce niti Zemlja nisu u središtu svijeta jer fiksni centar ne postoji već samo beskonačan broj lokanih centara. Sukladno tome smatrao je da postoji beskonačan broj Sunca i Zemalja koje su također naseljene kao i naša. Zbog tvrdnji o heliocentrizmu, beskonačnosti svemira i strukturi atoma mu je suđeno i kao heretik biva spaljen 1600. godine na trgu Campo de'Fiori.

Drugi istaknuti pristalica teorije beskonačnosti svemira je bio i engleski fizičar William Gilbert.

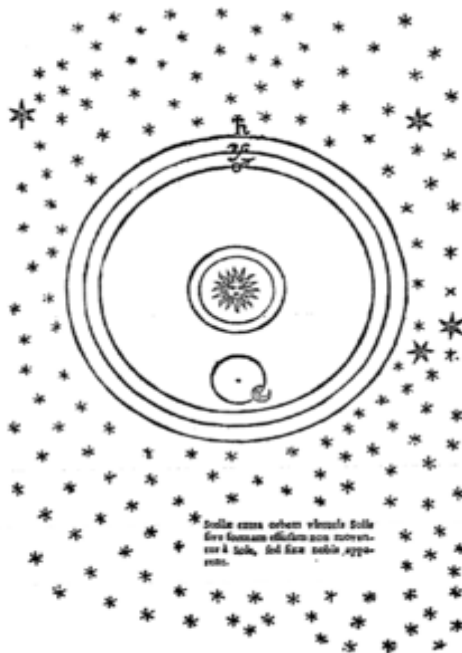


Slika 30. William Gilbert

([https://en.wikipedia.org/wiki/William_Gilbert_\(astronomer\)#/media/File:William_Gilbert_45626i.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/William_Gilbert_(astronomer)#/media/File:William_Gilbert_45626i.jpg))

Preuzeto: 13.09.2016.

Najpoznatiji je po svom inovativnom radu iz područja magnetizma objavljenom 1600. godine *De magnete*, a vrlo kratko se osvrnuo i na neke kozmološke probleme. Prihvatio je dnevnu rotaciju Zemlje, ali ne i revoluciju, te je vjerovao da je svemir beskonačan dok su se zvijezde nalazile na različitim udaljenostima od Zemlje.



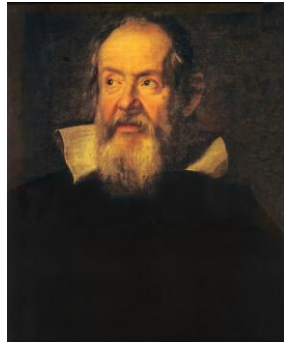
Slika 31. Gilbertov prikaz beskonačnog svemira

([https://en.wikipedia.org/wiki/William_Gilbert_\(astronomer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/William_Gilbert_(astronomer))) Preuzeto: 13.09.2016.

4.7. Galileo Galilei i Johannes Kepler

Galileo Galilei (od 1564. do 1642.) bio je talijanski fizičar, matematičar, astronom i filozof. Završio je studij medicine nakon čega se posvetio proučavanju geometrije i

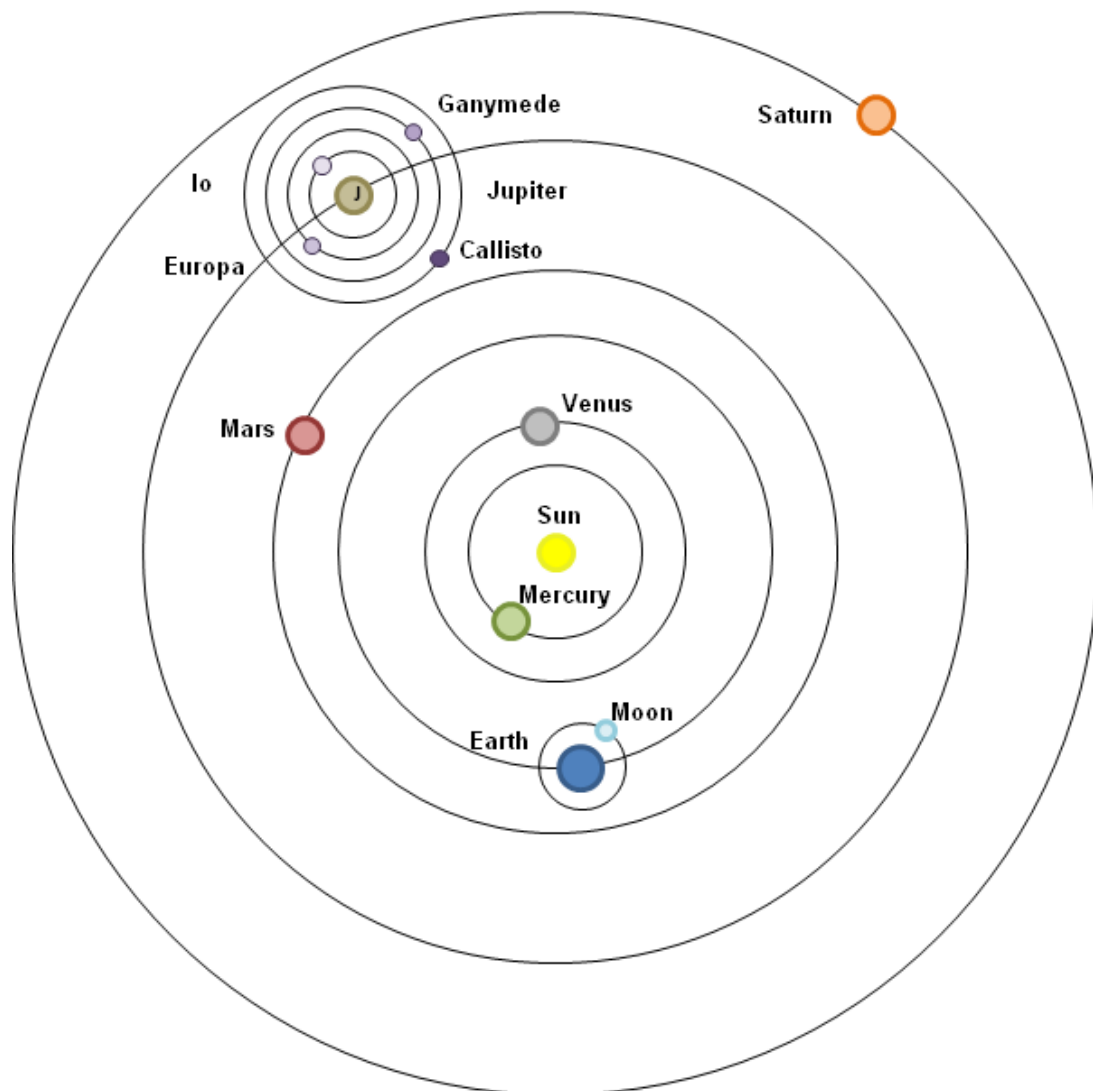
Arhimedovih djela. Jedan od njegovih važnijih pothvata je definitivno bilo poboljšanje teleskopa, no od većeg je značenja što je taj teleskop odlučio usmjeriti prema nebu.



Slika 32. Galileo Galilei

(https://hr.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei#/media/File:Galileo-sustermans2.jpg) Preuzeto: 13.09.2016.

Kao mladić je podržavao tradicionalnu kozmologiju, no ubrzo postaje pristalica Kopernikove slike svijeta. Njegov pristup rješavanju astronomskih pojava je bio fizikalan. Shvatio je da Mliječna Staza nije ništa drugo nego gomila velikog broja zvijezda koje su se grupirale u klastere. Također je uočio pjege na Suncu za koje se dotad vjerovalo da je savršeno i sveto tijelo, a nadalje je još i izveo da se Sunce rotira periodom od oko 28 dana. Isto tako promatranjem otkriva kako mjesečeva površina nije ravna već izbrazdana dolinama i bregovima, baš kao i Zemlja. Promatrajući Jupiter uočio je da oko njega kruže četiri satelita koje je nazvao medicijskim zvijezdama u čast patrona Kozima II. Medicija i njegova tri brata, a koji su kasnije dobili nazive: Io, Europa, Ganimed i Kalisto. Bez obzira u kojem je smjeru uperio svoj teleskop primjećivao je gomile zvijezda koje nisu bile vidljive golim okom, a uz to je još i otkrio kako njegov instrument može povećati planete ali ne i zvijezde. Temeljem toga dolazi do zaključka da zvijezde moraju biti na ogromnoj udaljenosti od Zemlje, baš kao što je i sam Kopernik tvrdio. Uočio je da i Venera pokazuje mijene, odnosno faze baš kao i Mjesec. Jedino objašnjenje Venerinih faza je bilo da se okreće u orbiti oko Sunca, što se nije poklapalo s Ptolomejevim sustavom. Što se tiče broja zvijezda i njihova rasporeda u prostoru, nije se u potpunosti izjasnio. Smatrao je kako zvijezde nisu smještene u sferu, ali nije ni tvrdio da se nalaze na različitim udaljenostima u prostoru koji nema granica. Naprotiv, u poznatom djelu Dijalog o dva poznata svjetska sustava, iznosi mišljenje da svemir nije beskonačan, dok je u nekim drugim djelima tvrdio kako nikada neće biti poznato je li svemir konačan ili nije.



(Orbits and planets not to scale)

Slika 33. Galilejev model svemira

(<https://greatexperiments.wordpress.com/2012/04/02/what-is-a-planet-part-2/>) Preuzeto: 13.09.2016.

Kao poborniku kopernikanske teorije o heliocentričnom sustavu, suđeno mu je zbog heretičkih vjerovanja kojih se nakon suđenja morao javno odreći te je bio osuđen na život u izolaciji svog doma. Njegova su otkrića i ideje bila uzrokom velikog oduševljenja, a vijesti o njima su se brzo proširile Europom.

Johannes Kepler (1571. – 1630. godine) je bio njemački matematičar, astronom i astrolog. Nakon teškog djetinjstva se odlučio na crkvenu karijeru te je pristupio u sjemenište u Adelsbergu. Studirao je na sveučilištu u Tübingenu gdje ga je njegov profesor Maestlin upoznao s Kopernikovom teorijom. Njegov je rad pratio i Tycho Brahe koji ga je pozvao u Prag kao svog asistenta. Kasnije je radio kao predavač matematike i filozofije u Grazu, te kao

predavač matematike u Linzu. Kada je napustio predavačko mjesto u Linzu živio je u velikoj bijedi i od slučajnih zarada, sastavljajući kalendare i izrađujući horoskope.



Slika 34. Johannes Kepler

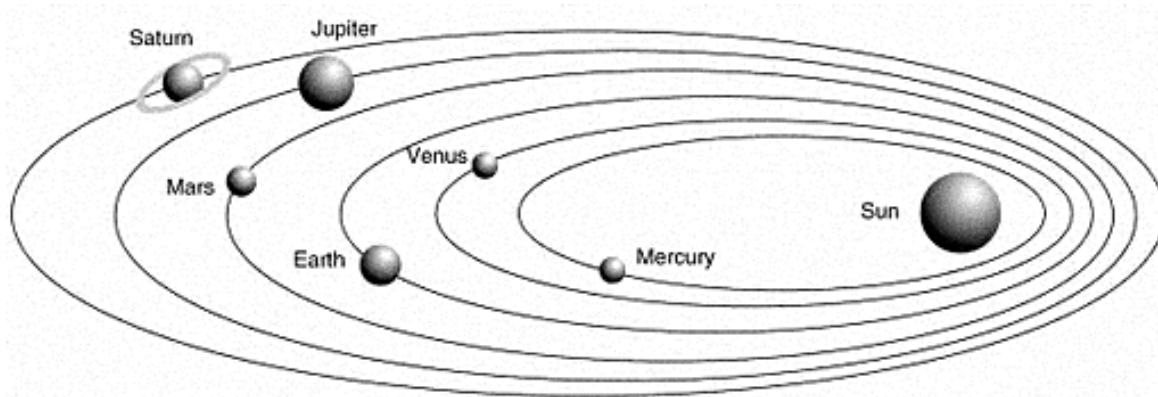
(https://hr.wikipedia.org/wiki/Johannes_Kepler#/media/File:Johannes_Kepler_1610.jpg) Preuzeto: 13.09.2016.

Dok je radio kod Brahea promatrao je gibanje planeta Marsa, a nakon njegove smrti proučavao je i Braheove podatke o Marsu te dolazi do nevjerojatnog zaključka. Mars se giba oko Sunca i to ne po kružnoj putanji, kako se dotad vjerovalo, već po elipsi. Također dolazi do zaključka da se Sunce ne nalazi u središtu Marsove eliptične putanje već u jednom od žarišta elipse, te da njegovo gibanje po elipsi nije jednoliko nego se brzina ophoda povećava na manjoj udaljenosti Marsa od Sunca. Kasnije je utvrdio da ove zakonitosti vrijede i za ostale planete u Sunčevom sustavu. No, poslije je primijetio još jednu zakonitost između vremena potrebnih planetima da obiđu oko Sunca i njihovih udaljenosti od Sunca. Te zakonitosti vrijede i danas i poznate su pod nazivom Keplerovi zakoni, a u modernoj astronomiji glase:

1. Svi se planeti gibaju oko Sunca po elipsama i Sunce je u jednom od žarišta tih elipsa.
2. Radij vektor planeta opisuje u jednakim vremenima jednake površine, tj. planet se giba brže kad je bliže Suncu, a sporije kad je od njega udaljeniji.
3. Omjer kuba velike poluosi eliptične putanje planeta i kvadrata ophodnog vremena T jednak je za sve planete, odnosno

$$\frac{a^3}{T^2} = konst.$$

Prva dva zakona Kepler je izložio u knjizi Nova astronomija 1609. godine, a u djelu Kozmografska tajna iz 1596. godine prvu publiciranu obranu Kopernikova heliocentrična sustava.



Slika 35. Keplerov model svemira

(<http://www.universetoday.com/55423/keplers-law/>) Preuzeto: 13.09.2016.

Na osnovi biblijskih i astronomskih dokaza dolazi do zaključka da je Bog stvorio svemir 3992. godine pr. n. e. te da je Isus Krist rođen 4. godine pr. n. e. U djelu *De stella nova* iz 1606. godine, koja raspravlja o novoj zvijezdi koja se pojavila na nebu dvije godine ranije, uhvatio se pitanja o proširenju sfere zvijezda stajačica. Pojam beskonačnosti svemira ga je plašio i bio je spreman opovrgnuti ga. Smatrao je da je za to dovoljno samo logički razmisliti jer broj stvari je uvijek konačan iz razloga što je to broj. Kako je Galileo pokazao da postoji mnoštvo zvijezda koje nisu vidljive golim okom smatra da bi razlog tomu mogao biti ili prevelika udaljenost zvijezda od Zemlje ili što su premale da bi ih se vidjelo. U djelu *Epitome astronomiae Copernicanae* potvrđuje konačnost svemira i određuje mu veličinu. Za udaljenost sfere zvijezda stajačica dobio je vrijednost od 64 milijuna polumjera Zemlje ili 4 milijuna polumjera Sunca. Iz toga je slijedilo da je volumen svemira, do sfere zvijezda stajačica, jednak 64×10^{18} volumena Sunca. Smatrao je da volumen cijele sfere zvijezda stajačica iznosi samo 8×10^9 polumjera Sunca, što je značilo da je područje zvijezda praktički zanemarivo. Debljina te sfere je bila čak 6000 puta manja od polumjera Sunca. Iz toga možemo zaključiti da je zvijezde smatrao iznimno malim nebeskim tijelima i to je za njega bilo prihvatljivo iz razloga što je vjerovao da je Sunce različito i daleko impresivnije od zvijezda stajačica.

5. Newtonovo doba

Tijekom 17. stoljeća Kopernikove ideje su postale vrlo popularne. Tada na znanstvenu scenu stupa francuski matematičar, fizičar i filozof Renè Descartes koji je razvio ambicioznu teoriju temeljenu na tvari i gibanju, a pomoću koje je objašnjavao prirodne pojave uključujući i one nebeske. Njegova je teorija postala iznimno popularna, no krajem 17. stoljeća ju je izazvala nova Newtonova prirodna filozofija. Čak se i u Newtonovoj teoriji opaža utjecaj vjere na njegova razmišljanja.

5.1. Renè Descartes

Renè Descartes (31.03.1596. – 11.02.1650.) je bio francuski matematičar, fizičar i filozof. U ranijoj fazi života otac ga je upoznao s osnovnim pojmovima iz raznih područja znanosti i života, a poslije ga šalje u jezuitsku školu u La Flecheu, gdje je sve bilo podređeno naklonostima mladog Renèa. Dok se školovao u poznatoj jezuitskoj školi naučio je klasične jezike kao što su grčki i latinski te sve ostalo što se nalazilo u programu. Međutim, od svega toga najbolji je bio u geometriji koja mu se činila najznačajnijim područjem djelatnosti.

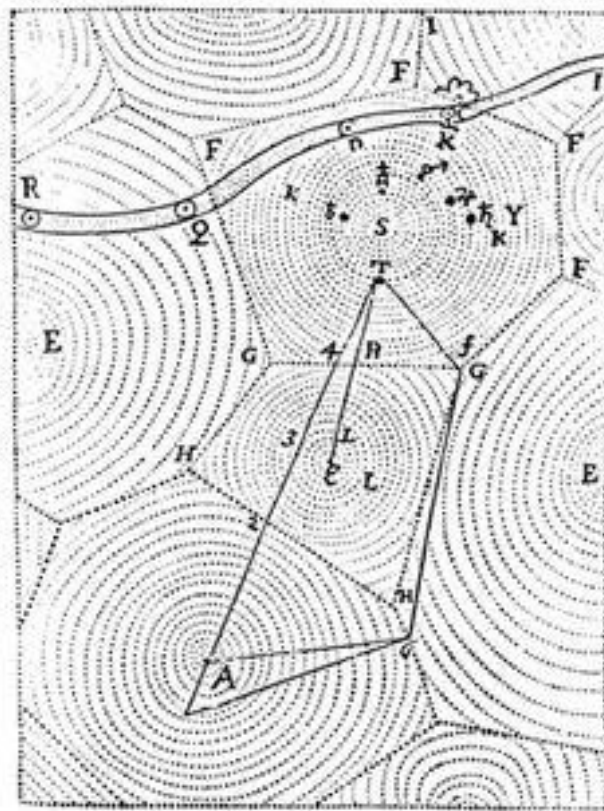


Slika 36. Renè Descartes

(https://hr.wikipedia.org/wiki/Ren%C3%A9_Descartes#/media/File:Frans_Hals_-_Portret_van_Ren%C3%A9_Descartes.jpg) Preuzeto: 13.09.2016.

Descartesova fizika je u biti bila geometrija i gibanje, kao i njegova kozmologija. U djelu *Principia philosophiae* je ambiciozno pokušavao shvatiti prirodu u čisto mehaničkim smislu. Smatrao je da su prostor i tvari identični, što je imalo i neke posljedice. Prvo, ako prostor sam po sebi nema smisla bez materije onda ne može postojati ni vakuum. Drugo, kako svemir mora biti homogen, onda i tvari moraju biti homogene. Ipak ne vidimo u potpunosti homogen svijet već svijet prepun različitosti. Te razlike, koje se pojavljuju kao strukture i objekti, se mogu objasniti različitim stanjima gibanja, a upravo su ta stanja gibanja ono što razlikuje

planet ili zvijezdu od njegove okoline. Treće, ako je prostor beskonačan onda to isto mora vrijediti za materijalni svemir. Descartes je vjerovao da je svijet beskonačan u smislu da je nemoguće odrediti granice tvari od koje se sastoji sam svemir. Kako je jedino Bog uistinu beskonačan, preferirao je govoriti o svijetu nedefiniranih granica, a ne o beskonačnom svijetu. Kozmička mašinerija kartezijanskog svijeta je bila pokretana mehaničkim akcijama čestica tvari na druge čestice. Iako se tvar, prema Descartesu, sastojala od čestica, važno je napomenuti da on nije bio atomist, jer je smatrao da su čestice beskonačno djeljive. Razlikovao je tri elementa, luminozni, prozirni i neprozirni element. Zemlja i planeti su bili neprozirni, dakle izgrađeni od trećeg elementa, Sunce i zvijezde od luminoznog, dok je drugi element, eterski ili nebeski element, zajedno s česticama prvog elementa ispunjavao prostor između nebeskih tijela. Veliki nebeski vrtlozi koji su, u biti, vrtlozi fine tvari, nosili su planete, a isto tako su bili mehanizam drugih nebeskih pojava, kao npr. kometa.



Slika 37. Descartesov model svemira

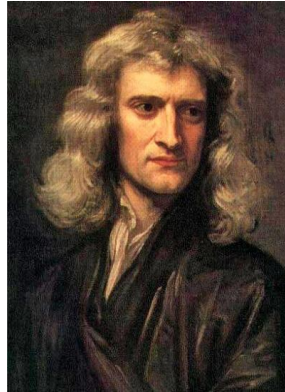
(<https://www.pinterest.com/pin/345299496407273923/>) Preuzeto: 13.09.2016.

Kao jedan od otaca same ideje prirodnih zakona vjerovao je da mehanički procesi, koji su opisani pomoću zakona, moraju zamijeniti teologiju. Za njega je kozmologija bila produkt

materije koja se giba i ništa drugo. Naravno, Bog je postavio zakone kada je kreirao materijalni svijet, no sve što je uslijedilo je bila posljedica zakona gibanja i početnih uvjeta.

5.2. Isaac Newton

Isaac Newton (04.01.1643. – 31.03.1727.) rođen je u Woolsthorpeu u grofoviji Lincoln. Bio je engleski fizičar i astronom, a danas je jedan od najznačajnijih znanstvenika u povijesti.



Slika 38. Isaac Newton

(https://hr.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton#/media/File:GodfreyKneller-IsaacNewton-1689.jpg) Preuzeto: 13.09.2016.

Proučavao je Descartesovu teoriju i došao do zaključka da nije zadovoljavajuća jer se na nju nisu mogli primijeniti Keplerovi zakoni. Upravo ga je Keplerov treći zakon i analiza kružnog gibanja, u pogledu centrifugalne sile, nagnala na drugi put koji je rezultirao univerzalnim zakonom gravitacijskog privlačenja. Proučavajući Keplerov rad dolazi do ideje da Sunce djeluje silom na planete koja opada s kvadratom udaljenosti. Nekoliko godina kasnije je počeo pripremati svoje najveće djelo *Philosophiae naturalis principia mathematica*, koje dovršava za manje od tri godine intenzivnog rada, a koje je objavljeno 1687. godine.

Opći zakon gravitacije, kako ga mi danas poznajemo, govori da je sila privlačenja, F_g , između bilo koja dva tijela, gdje je masa prvog tijela m_1 a drugog m_2 , proporcionalna umnošku masa tih tijela, a obrnuto proporcionalna kvadratu njihove međusobne udaljenosti, r , odnosno:

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

gdje je G univerzalna gravitacijska konstanta koja iznosi $6,67 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$ ²².

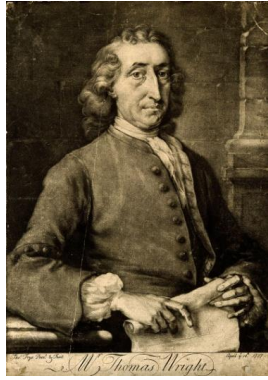
S kozmološkog stajališta, ovo je djelo od iznimne važnosti jer je ponudilo prvo matematički oblikovano objašnjenje svih nebeskih fenomena s temeljem na nekoliko fizikalnih zakona. Jezgra Newtonova sustava svijeta je bio univerzalni zakon gravitacije. I prije se predlagalo da neki zakoni upravljaju zemaljskim i nebeskim fenomenima, no Newtonova tvrdnja je bila superiornija iz razloga što je uključivala zakon koji se matematički može primijeniti i imala je široko polje objašnjenja. Značenje i priroda gravitacijske sile uskoro postaje kontroverzna. Također je tvrdio da materija i prostor nisu povezani. Prostor je bio beskonačan, odnosno zamišljao je da je svemir konačan sustav okružen beskonačnim prostorom. Za taj je prostor smatrao da nije isto kao praznina, a za prostor u konačnom svemiru je vjerovao da je ispunjen eterskom tvari koja nije bila uzrokom gibanja planeta. Smatrao je da se svemir ne može u potpunosti shvatiti samo zakonima mehanike te da je homogenost nebeskih sustava moguća iz razloga što je njima upravljao inteligentan agent. Newton je također primijetio da svjetlost zvijezda stajačica ima istu prirodu kao Sunčeva svjetlost. Ovo je bilo važno otkriće no za Newtona je to bio argument za potporu monoteizma, jer je tako pokazao da se svi prirodni objekti pokoravaju volji Jednoga.

Newtonova prirodna filozofija je postepeno bila prihvaćena, prvo u Engleskoj, kasnije i u ostatku Europe, a njegov koncept beskonačnog zvjezdanog svemira kojim upravljaju gravitacijske sile je također zadobio iznenađujuće odobravanje.

5.3. Thomas Wright i William Herschel

Englez Thomas Wright, pisac i učitelj, nagađao je o sastavu svemira i njegovom odnosu s Bogom.

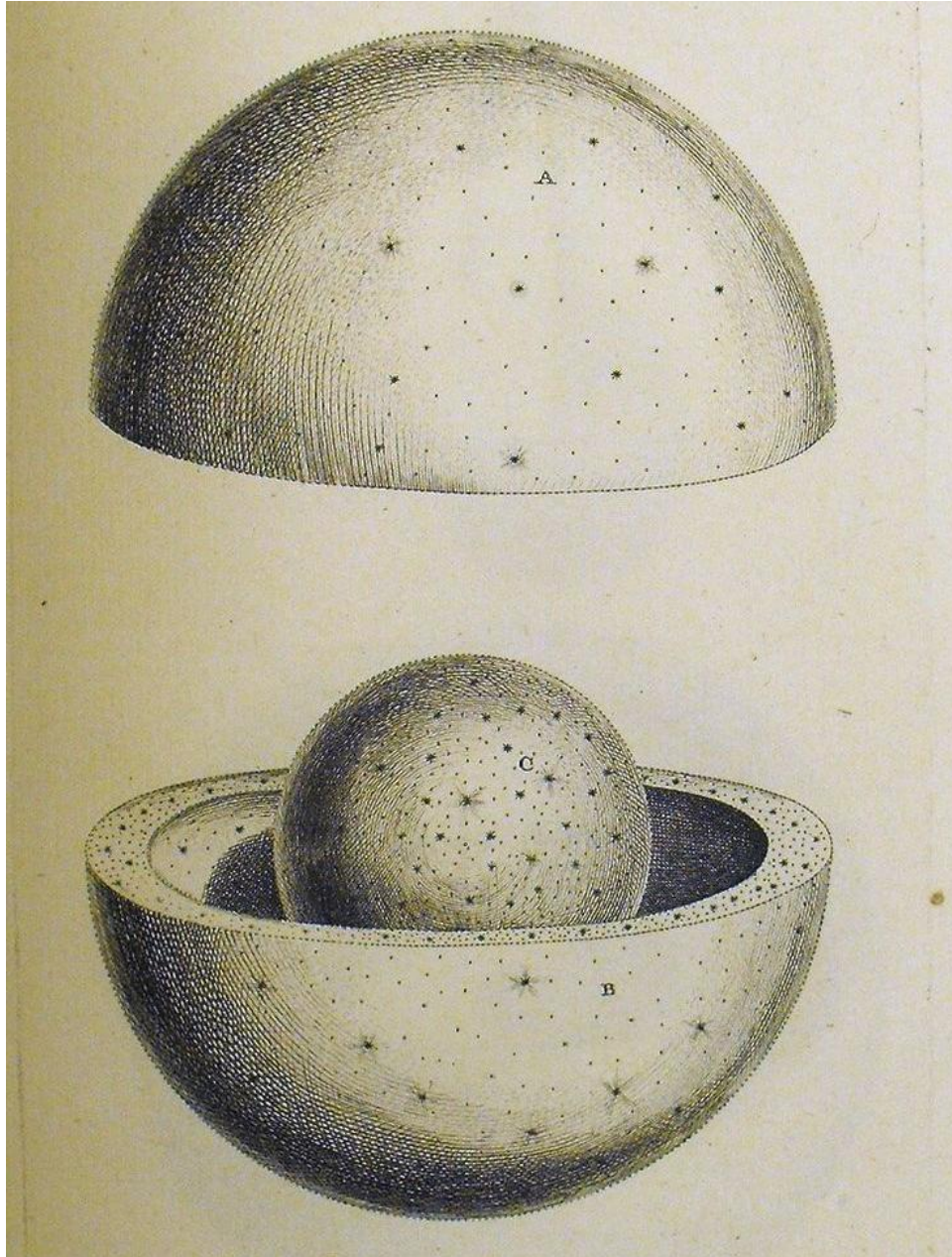
²² Prvi ju je odredio Henry Cavendish 1798. godine te dobio vrijednost od $6,754 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$



Slika 39. Thomas Wright

([https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Wright_\(astronomer\)#/media/File:Thomas_Wright_\(astronomer\)_1737.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Wright_(astronomer)#/media/File:Thomas_Wright_(astronomer)_1737.jpg)) Preuzeto: 13.09.2016.

1750. godine je objavio djelo *An Original Theory of the Universe* u kojemu je postulirao da se sve zvijezde Mliječne Staze, uključujući Sunce, kružno gibaju oko božanstvenog središta koje je bilo mjesto gdje je prebivala Božja beskonačna snaga. Wright je nadalje tvrdio da postoje i drugi svemiri, slični našoj Mliječnoj stazi, i da oni također okružuju svoje božanske centre. U suprotnosti s najčešćim tvrdnjama nije smatrao da je Mliječna Staza nakupina zvijezda u obliku diska sa Suncem u blizini njezina središta, jer ta slika nije bila u skladu s njegovom kozmologijom temeljenom na teologiji. Smatrao je da je svemir u stanju evolucije, dakle da se mijenja. Poslije je tvrdio da se Sunce nalazi u centru svemira. No, bez obzira na sve, potrebno je znati da je njegova kozmologija bila moralno – teološka i da joj primarna svrha nije bila znanstveno opisati promatrani svemir. Njegova teorija nije bila općeprihvaćena, no imala je utjecaj na razvoj kozmologije kao i na Immanuela Kanta, slavnog filozofa.



Slika 40. Wrightov model svemira

(<https://www.pinterest.com/emoh/star-charts-and-maps/>) Preuzeto: 13.09.2016.

William Herschel, jedan od najvećih astronoma ikad, nikada se nije formalno obrazovao iz područja astronomije ili bilo kojeg drugog znanstvenog područja. Rodio se u Hannoveru kao Friedrich Wilhelm Herschel 1738. godine, a kada je došao u Englesku kao mladić zarađivao je za život radeći ono što je znao, a to je bila glazba. U engleskoj je razvio interes za astronomiju, područje iz kojeg se samoobrazovao, djelom čitajući, a dijelom izrađujući vlastite teleskope, te je bio prvi koji je konstruirao veliki reflektorski teleskop. U

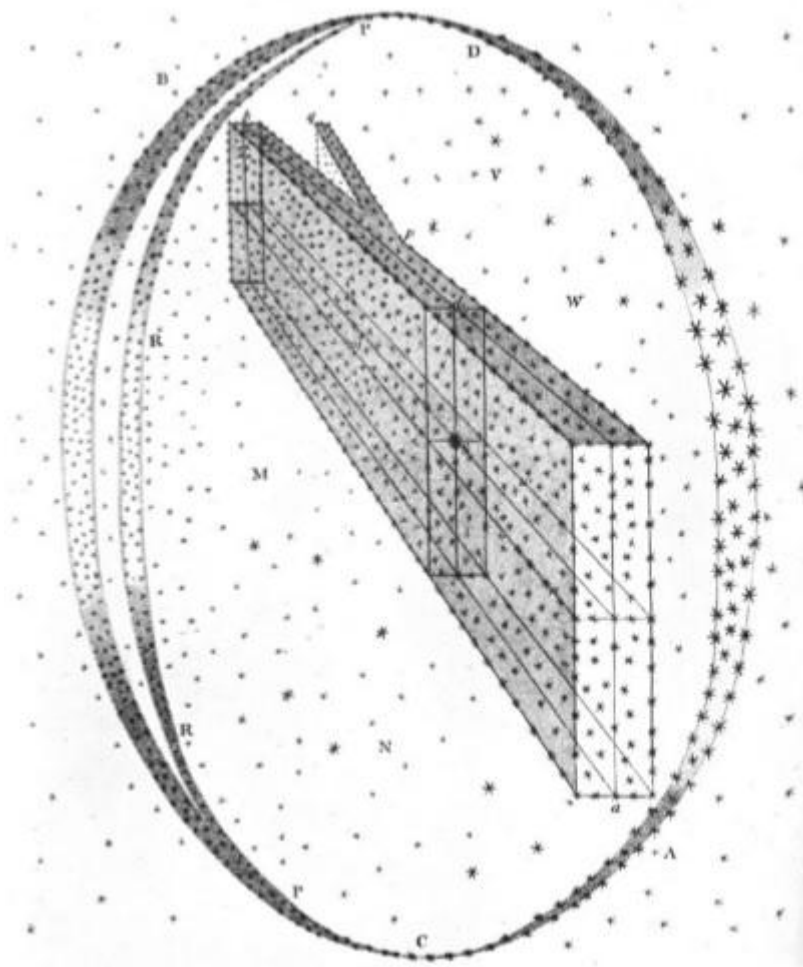
znanstvenom radu mu je pomogla njegova sestra Caroline Herschel, i sama talentirana amaterka iz područja astronomije.



Slika 41. William Herschel

(https://hr.wikipedia.org/wiki/William_Herschel#/media/File:William_Herschel01.jpg) Preuzeto: 13.09.2016.

1781. godine je otkrio novi nebeski objekt za koji je prvo mislio da je komet, ali je uskoro shvatio da se radi o planetu, točnije Uranu. U jeku ovog otkrića se seli u Windsorski dvorac gdje je postao osobni astronom kralja Georgea III. 1783. godine u radu *On the Proper Motion of the Sun and Solar System*, odredio je smjer Sunčeva gibanja kroz svemir. Kasnije je odlučio odrediti brzinu Sunca, no bez uspjeha. Kako bi odredio strukturu Mliječne staze postavlja dvije pretpostavke, da su zvijezde jednoliko raspoređene kroz prostor koji zauzima Mliječna staza te da njegov teleskop može doseći granice zvjezdanog sustava u svim smjerovima. Iz toga su slijedile metode za procjenu relativnih udaljenosti dobivene iz trećeg korijena broja zvijezda koje se mogu vidjeti u polju teleskopa. Dolazi do zaključka da je naša Mliječna staza samo jedna galaksija među mnogima. Nije bio prvi koji je to tvrdio ali je bio prvi koji je imao dokaze. Njegova analiza je rezultirala slikom Mliječne Staze kao ogromne, granate nakupine puno milijuna zvijezda, a Sunčev sustav se nalazi u blizini središta divovske strukture. Kao što je spomenuto, ta slika je počivala na nekoliko pretpostavki od kojih je jedna od najproblematičnijih bila da njegov teleskop može doseći do najudaljenijeg objekta u Mliječnoj Stazi. To je i sam shvatio kada je konstruirao novi veći teleskop i primijetio da sada vidi i druge zvijezde, nakon čega se zapitao da li jačina teleskopa ima veze s brojem zvijezda i njihovim udaljenostima.



Slika 42. Herschelov model svemira

(Kragh, H.S., Conceptions of Cosmos, Oxford, University of Oxford, 2007. str.88)

6. Proučavanje svemira

Svjetlost je glasnik koji nam donosi informacije o svemiru. Kako te informacije dolaze u takoreći kodiranom obliku zadatak astronoma je dešifrirati te informacije prije nego može shvatiti njihov značaj. Oruđa astronomije su uređaji koji sakupljaju svjetlost i sortiraju ju u njezine valne duljine koje predstavljaju elemente koda.

6.1. Teleskop

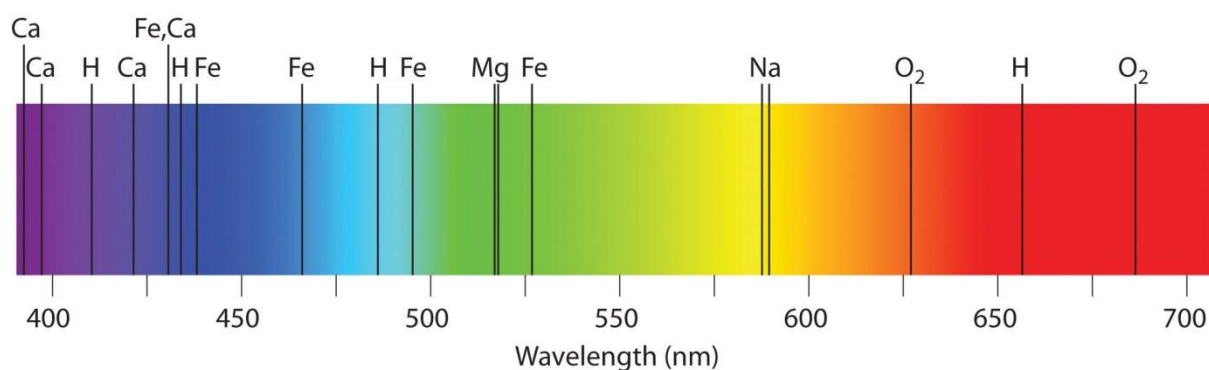
Teleskop je oduvijek bio osnovni astronomski instrument, koji se vremenom mijenjao postajući sve bolji u svojoj misiji promatranja zvijezda. Dok su se prije koristili refraktorski teleskopi, danas se koriste reflektorski. Reflektorski teleskop je instrument u kojemu je svjetlost reflektirana s konkavnog zrcala umjesto da se refraktira kroz leću. Velike leće se uglavnom objese zbog velike mase što uzrokuje izobličivanje slike dok se zrcalo u reflektorskim teleskopima može vrlo dobro poduprijeti. K tomu se ne javlja disperzija svjetlosti različitih valnih duljina korištenjem zrcala. Svi moderni astronomski teleskopi su reflektorski. Najupečatljiviji teleskop s jednim zrcalom promjera 5,1 m nalazi se u Palomar opservatoriji u Kaliforniji, a uvećava horizonte astronomije još od 1948. godine. Zadnja generacija astronomskih teleskopa se ne oslanja na samo jedno veliko zrcalo, koje je ograničeno veličinom u praktičnoj uporabi, već se velik broj pojedinačnih zrcala povezuje kako bi se dobila jedna slika. U astronomiji svrha velikih teleskopa nije povećati sliku zvijezde, jer su one na prevelikoj udaljenosti da bi ih se povećalo. Njihova prednost je u mogućnosti raspoznavanja malih detalja. Kod prvih teleskopa je svjetlost promatranog objekta padala direktno na oko promatrača. Daljnjim razvojem teleskopa razvijala se i tehnologija zapisa podataka koji se promatranjem prikupljaju. Tako su se kasnije koristile fotografske ploče, a danas se najčešće koriste elektronički senzori. Prednost korištenja teleskopa na koji je spojena kamera ili senzor jest mogućnost duljeg vremena promatranja neke pojave kao i mogućnost pohrane prikupljenih podataka za njihovo daljnje proučavanje.

6.2. Spektrometar

Teleskop je sam po sebi ograničen u korištenju za proučavanje zvijezda. Ono što je potrebno jest kombinacija teleskopa i spektrometra. Spektrometar je naprava koja se koristi za mjerenje intenziteta komponente elektromagnetskog zračenja određene valne duljine. Rezultantni niz boja, sa svakom od valnih duljina razdvojenom od drugih, je spektar koji se bilježi na fotografsku ploču ili elektronički medij. Spektar zvijezda se ne čini impresivan, ako

se fotografira u prirodnim bojama općenito se sastoji od niza duginih boja ispresijecanih crnim linijama. Zato se obično ne koristi film u boji kako bi spektar pokazivao crne linije na svijetlosivoj podlozi. Na prvi pogled se ne čini da bi nekoliko crnih linija na fotografskoj ploči moglo utjecati na bolje razumijevanje zvijezda, no svaka od tih linija nosi priču o svom nastanku, a stručnjak može povezati podatke iz različitih nizova kako bi dobio informacije i sliku određene zvijezde. Najveći problem u astronomskoj spektroskopiji je apsorpcija svjetlosti u zemljinoj atmosferi.

Spektar tamnih linija na obojenoj pozadini je apsorpcijski spektar. Nastaje kada svjetlost objekta veće temperature prolazi kroz plin manje temperature. Atomi i molekule pritom apsorbiraju svjetlost određenih valnih duljina i tako ostavljaju uske praznine na nizu boja. Tako zvijezda koja ima ovakav spektar, a gotovo sve zvijezde ga imaju, odmah otkrivaju nešto o svojoj strukturi, da ima vruću unutrašnjost koju okružuje relativno hladnija plinovita atmosfera.



Slika 43. Apsorpcijski spektar pojedinih kemijskih elemenata

(<http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0/s10-03-atomic-spectra-and-models-of-t.html>) Preuzeto: 13.09.2016.

Iz kontinuirane podloge zvjezdanog spektra astronomi mogu odrediti temperaturu njene unutrašnjosti. Sve što trebaju znati je na kojem je mjestu spektra zvjezdani sjaj najveći. Kako se valna duljina maksimalnog intenziteta smanjuje povećanjem temperature, točka maksimalnog intenziteta spektra je mjera temperature. Zato su zvijezde najveće temperature plavo – bijele, maksimum intenziteta imaju na onom kraju spektra gdje su male valne duljine (slika 42. lijevo), zvijezde srednje temperature su narančasto žute, a zvijezde najmanje temperature su crvene.

Svaki element ima spektar linija s karakterističnim valnim duljinama. Elementi koji se nalaze u zvjezdanoj atmosferi se tako mogu identificirati iz tamnih linija njezina spektra. Sve

što se treba napraviti jest izmjeriti valne duljine svake linije spektra i usporediti ih s onima različitih elemenata u laboratoriju.

U praksi identifikacija linija zvjezdanog spektra nije lak posao. Valne duljine i intenziteti linija koje su karakteristične za određeni element također ovise i o temperaturi, tlaku i stupnju ionizacije. Ali kada se uspješno odrede linije ne samo da nam govore koji se elementi nalaze u atmosferi neke zvijezde već nam govore nešto i o fizikalnim uvjetima u kojima postoje ti elementi.

Prisutnost magnetskog polja uzrokuje dijeljenje zasebnih energetske nivoa atoma u nekoliko podnivoa. Kada su takvi atomi u uzbuđenom stanju i emitiraju svjetlost, njihove spektralne linije se također razdvajaju, svaka u određen broj linija koje su bliske originalnoj. Ovaj fenomen se naziva Zeemanov efekt po svom pronalazaču, nizozemskom fizičaru Pieteru Zeemanu.



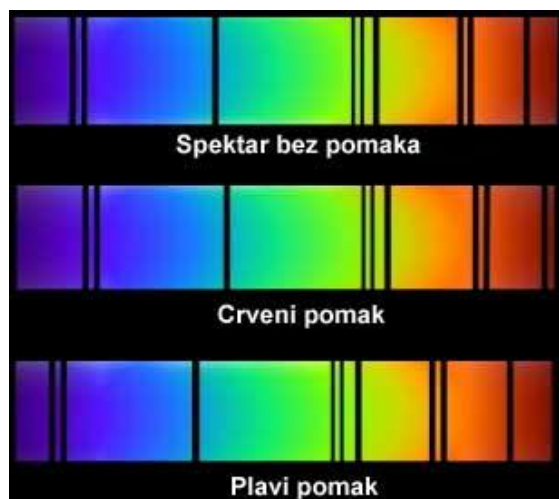
Slika 44. Zeemanov efekt

(<http://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=Zeemanov+efekt>) Preuzeto: 13.09.2016.

Pomoću tog efekta je utvrđena magnetska priroda sunčevih pjega, kao što je otkriveno da je velik broj zvijezda magnetiziran.

Slično Dopplerovu efektu²³, zvijezda koja se kreće prema Zemlji ima spektar čije su linije pomaknute ka plavom (visoke frekvencije), ta se pojava naziva plavi pomak, a zvijezde koje se gibaju od Zemlje spektar s linijama pomaknutim ka crvenom kraju (niže frekvencije), ta se pojava naziva crveni pomak. Iz količine pomaka možemo izračunati brzinu kojom se zvijezda približava Zemlji ili se udaljava od nje.

²³ Dopplerov efekt je pojava promjene frekvencije valova pri relativnom gibanju njihova izvora ili promatrača

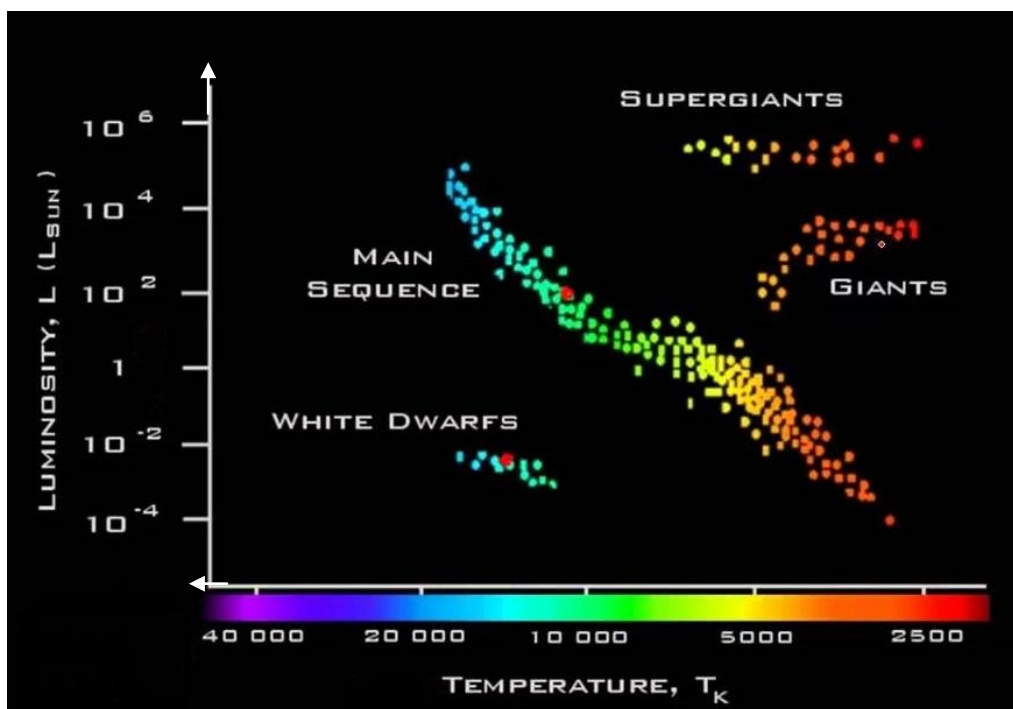


Slika 45. Crveni i plavi pomak

(https://hr.wikipedia.org/wiki/Crveni_pomak) Preuzeto: 13.09.2016.

6.3. Hertzsprung - Russelov dijagram

Ranih godina 20. stoljeća dva su astronoma, Danac Ejnar Hertzsprung i Amerikanac Henry Norris Russell, nezavisno jedan od drugog otkrili da je apsolutna magnituda većine zvijezda povezana s njihovim temperaturama. Ova veza je prikazana u grafu koji se naziva Hertzsprung – Russellov dijagram.



Slika 46. H-R dijagram

(<http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit1/hrdiag.html>) Preuzeto: 13.09.2016.

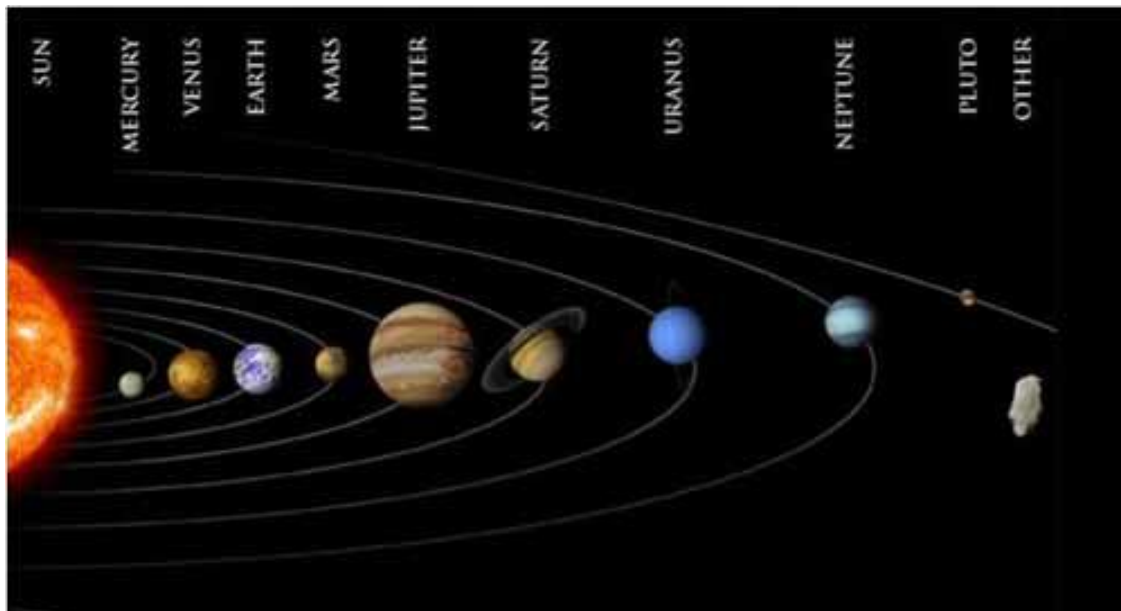
Oko 90% svih zvijezda pripada srednjem nizu, dok su ostale u gornjem desnom kutu crveni divovi, a u donjem lijevom kutu bijeli patuljci. Položaj zvijezda u H-R dijagramu je povezana s njihovim fizikalnim karakteristikama. Zvijezde u gornjem dijelu srednjeg niza su velike, visokih temperatura, dok su one na donjem dijelu niza male, velikih gustoća, crvenkaste i niskih temperatura. Klasi crvenih divova pripadaju velike difuzne zvijezde malih gustoća i promjera većih od Zemljine orbite. Većina ovih zvijezda ima nisku temperaturu površine, na što ukazuje njihova crvena boja, ali njihova ogromna površina ih čini jako žarkima. Pozicija bijelih patuljaka u lijevom donjem kutu H-R dijagrama ukazuje da su to male zvijezde, koje se mogu veličinom usporediti sa Zemljom, visokih površinskih temperatura. Međutim njihove su mase približne masi Sunca, tako da možemo zaključiti da im je gustoća jako velika (oko 10^6g/cm^3). Jako ih je teško otkriti čak i velikim teleskopima. Zasad ih je uočeno nekoliko tisuća, a vjeruje se da je oko 10% svih zvijezda u Mliječnoj stazi iz klase bijelih patuljaka.

7. Današnji model svemira

Do 17. stoljeća se vjerovalo da se Sunčev sustav sastoji od samo pet planeta, bez Sunca i Mjeseca. Galileo, nakon što je kreirao vlastiti teleskop, otkrio je četiri dodatna člana sunčeva sustava, odnosno Jupiterove mjesece. No, od Galilejevog je vremena otkriveno još nekoliko članova Sunčeva sustava, pa se tako danas raspoznaje osam planeta, a donedavno njih devet. Svi oni, osim Merkura i Venere imaju svoje satelite. Tisuće malih objekata koje nazivamo asteroidima, svi promjera manjeg od 1000km, se gibaju po orbitama oko Sunca u području između Marsa i Jupitera. Kometi i meteori, u Galilejevo vrijeme smatrani za atmosferske pojave, se sada prepoznaju kao dijelovi Sunčeva sustava.

7.1. Sunčev sustav

Današnji Sunčev sustav je heliocentričan, dakle sa Suncem u središtu, oko kojeg se giba, po eliptičnim putanjama, osam planeta i Pluton²⁴. Poredani prema srednjoj udaljenosti od Sunca: Merkur, Venera, Zemlja, Mars, Jupiter, Saturn, Uran i Neptun. Ne samo da je Sunčev sustav izoliran u prostoru, već se i svi njegovi članovi nalaze na velikim udaljenostima jedan od drugog.



Slika 47. Suvremeni model Sunčeva sustava

(<http://www.antimaterija.com/svemir/suncev-sustav/>) Preuzeto: 13.09.2016.

²⁴ Pluton je do 24. kolovoza 2006. smatran devetim planetom Sunčevog sustava, kada je na konferenciji IAJ u Pragu usvojena definicija planeta koja isključuje Pluton, te ga se sada smatra patuljastim planetom.

Planeti se gibaju oko Sunca (što se naziva i revolucija), i isto tako se okreću oko vlastite osi (rotacijsko gibanje). Dva su svojstva gibanja planeta:

1. Gotovo su sve revolucije i rotacije u istom smjeru, osim rotacije Venere i revolucije nekoliko satelita oko planeta roditelja.
2. Sve orbite, osim Plutonove, leže u gotovo istoj ravnini.

Tablica 3. Opći podaci o pojedinim planetima

Planet	Srednja udaljenost od Sunca (AJ)	Promjer (km)	Masa ($5,98 \times 10^{24}$ kg)	Period rotacije oko osi (h)	Period revolucije oko Sunca (god)	Broj satelita
Merkur	0,39	4880	0,055	1416	0,24	0
Venera	0,72	12104	0,82	5832	0,6	0
Zemlja	1,00	12742	1	24	1	1
Mars	1,52	6780	0,11	24,5	1,9	2
Jupiter	5,20	139822	318	10	11,9	61
Saturn	9,54	116464	95	10	29,5	39
Uran	19,2	50724	15	16	84	24
Neptun	30,1	49244	17	16	165	8

Unutarnji planeti, Merkur, Venera, Zemlja i Mars su relativno mali, imaju slične gustoće i većinom se sastoje od kamenitih materijala. Također imaju jezgre koje se većinom sastoje od željeza. Relativno sporo rotiraju oko svoje osi. Vanjski planeti, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun, su veliki i manje gustoće spram Zemlje. Sastoje se većinom od stlačenih plinova u tekućoj fazi bez željeznih jezgara. Relativno brzo rotiraju oko svojih osi. Među njima postoji preko 130 satelita, nekoliko velikih, a većina ih je vrlo mala.

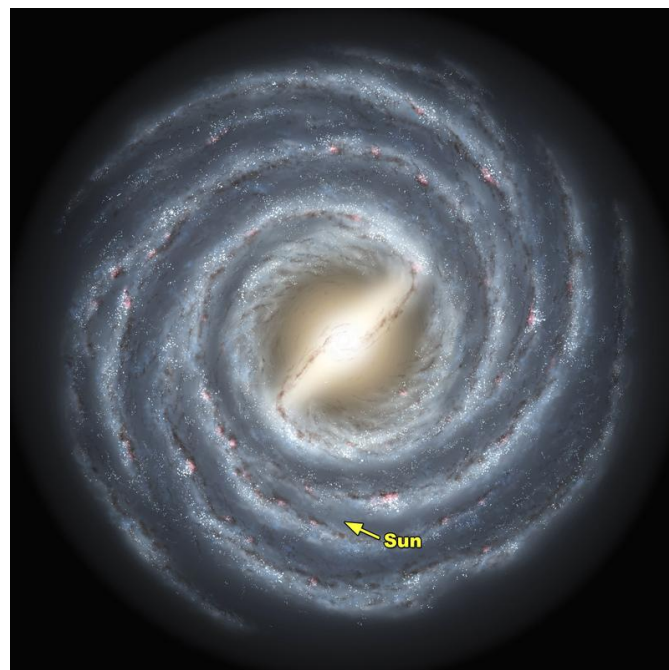


Slika 48. Usporedba veličina pojedinih planeta

(<http://pics-about-space.com/real-planets-size-scale?p=2>) Preuzeto: 13.09.2016.

7.2. Mliječna staza

Mliječna staza je galaksija u kojoj se nalazi Sunčev sustav. Osim našeg Sunca u njoj se nalazi još barem 100 milijardi zvijezda. Spiralnog je oblika, a u središnjem je disku gusto napučena zvijezdama. Iz središnjeg diska izlaze spiralni krakovi u kojima su zvijezde raspoređene mnogo rjeđe. Sunčev sustav se nalazi u jednom od tih krakova, a on se zajedno s ostalim zvijezdama i planetima okreće oko središta galaksije. Vrijeme revolucije Sunca oko središta galaksije traje oko 250 milijuna godina, brzinom od oko 220 km/s.



Slika 49. Mliječna staza

(<http://www.universetoday.com/18256/where-is-the-sun/>) Preuzeto: 13.09.2016.

Promjer joj je oko 130 000 gs²⁵. Kada bismo Mliječnu stazu gledali izvana, vidjeli bismo da je ona jako spljoštena, debljine oko 10 000 gs. To znači da se gotovo sve zvijezde, koje se u njoj nalaze, gibaju u približno istoj ravnini. Naše je Sunce udaljeno od središta galaksije oko 28 000 gs. Osim Sunčeva sustava, smatra se, postoje i druge zvijezde koje bi mogle predstavljati svoj sustav, odnosno oko njih se gibaju planeti baš kao što se Zemlja s drugim planetima giba oko Sunca. Naša galaksija nije jedina u svemiru, a pretpostavlja se da postoji oko 100 milijardi galaksija u svemiru, a svaka od njih sadrži desetke ili stotine milijardi zvijezda. Rasprostiru se svim smjerovima nezamislivo velikog prostora svemira. Udaljenosti među njima su ogromne, a međugalaktički prostor je velika praznina koji je gotovo vakuum. Galaksija koja je najbliža Mlijećnoj stazi je galaksija Andromeda, te je ona najbliži veliki susjed našoj galaksiji. Nalazi se na udaljenosti od 2,5 milijuna gs od Zemlje.

7.3. Veliki prasak

Danas se gotovo svi astronomi slažu da je svemir nastao "Velikim praskom" (engl. Big bang), nevjerojatno moćnom kreacijom prostor – vremena koja je omogućila postojanje energije i materije. Po teoriji Velikog praska, svemir se počeo širiti iz točke neizmjerne gustoće prije 13,77 milijardi godina i to se širenje nastavlja sve do danas. Širenjem svemira materija se razrjeđivala i temperatura je opadala, a sukladno tome se mijenjao i sastav svemira: od homogene vruće plazme do današnjeg nehomogenog hladnog svemira nastanjenog galaksijama i živim bićima.

Dokazi koji potkrepljuju teoriju Velikog praska su kozmičko pozadinsko mikrovalno zračenje, Hubbleov zakon, količina i lokacija lakih elemenata, radio-galaksije i kvazari.

Kozmičko mikrovalno pozadinsko zračenje (Cosmic Microwave Background Radiation, CMBR) je difuzno izotropno zračenje čiji spektar odgovara spektru zračenja crnog tijela pri temperaturi od 2,73 K. Spektar zračenja se nalazi u mikrovalnom dijelu spektra, van optičkog prozora, pa ga je moguće detektirati samo radio-teleskopima. Smatra se da ovo zračenje predstavlja ohlađeno zračenje zaostalo iz vremena ranog svemira. Otkriće kozmičkog mikrovalnog pozadinskog zračenja uklapa se u teoriju Georgea Gamowa, koji je tvrdio da su kemijski elementi stvoreni u prvih 5 minuta Velikog praska te da bi prvobitno zračenje iz tog vremena trebalo još uvijek ispunjavati svemir i uslijed širenja svemira trebalo biti ohlađeno na temperaturu od oko 5 K.

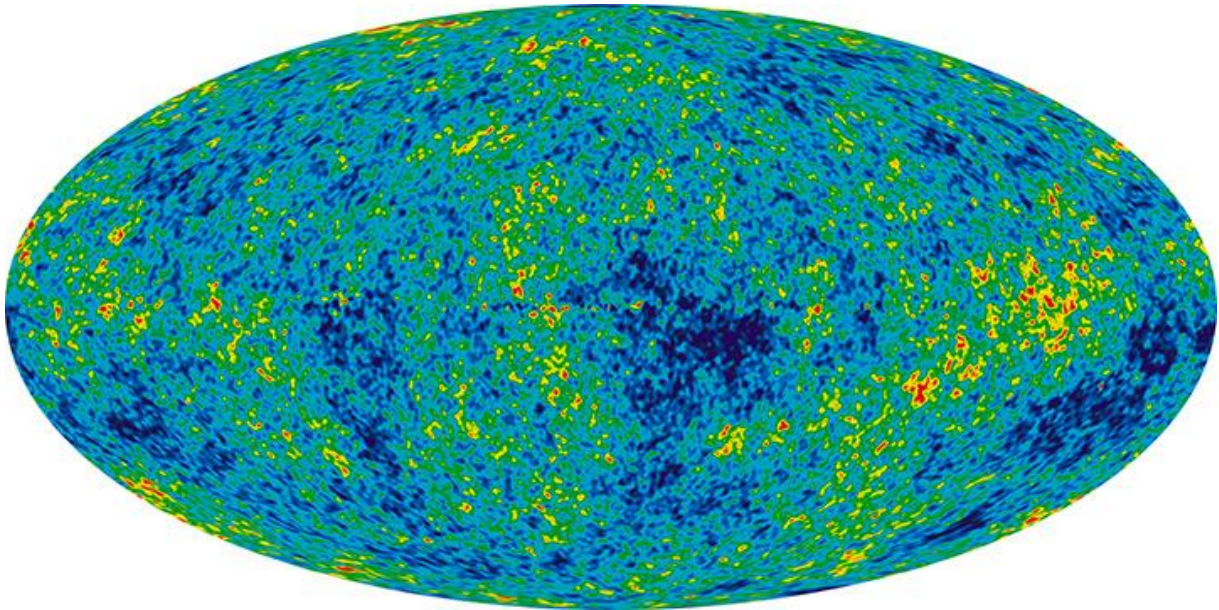
²⁵ Godina svjetlosti (gs) je mjerna jedinica duljine u astronomiji, označava onu udaljenost koju prijeđe svjetlost za godinu dana u vakuumu, a iznosi $9,4605 \times 10^{12}$ km

Edwin Hubble je 1929. otkrio proporcionalnost između udaljenosti pojedine galaksije i brzine kojom se ona udaljava od nas (Hubbleov zakon). Na osnovu ovog zakona dolazi do zaključka da je svim galaksijama trebalo podjednako vremena za pomak od početnog položaja do današnjeg položaja. Svemir je u početku bio sažet u jednu točku i od tada se širi.

Radio-galaksije su galaksije koje su iznimno svijetle u radio dijelu spektra. Kod većine otkrivenih radio-galaksija utvrđena je jaka emisija radio-valova iz područja u blizini središta galaksije. Otkriveni radio-valovi su vrlo često jako polarizirani, što su astronomi protumačili kao radio-emisiju elektrona vrlo velikih energija, koji se gibaju brzinama bliskim brzini svjetlosti. Smatra se da je uzrok tome neka vrlo dramatična pojava pri čemu se oslobađa energija ekvivalentna onoj koja se oslobađa uništenjem desetaka milijuna zvijezda. Jači izvori se nalaze na većim udaljenostima od slabijih. Što dublje gledamo u svemir ujedno gledamo sve dalje u prošlost. To ukazuje na evoluciju radio-galaksija od jačih prema slabijim izvorima.

Kvazari su izvangalaktički objekti koji su iznimno svijetli s obzirom na njihovu veličinu i udaljenost. Otkrio ih je Martin Schmidt, 1963. godine. Emisija elektromagnetskog zračenja kvazara je od stotinu do tisuću puta veća nego kod prosječne galaksije. Danas se smatra da su kvazari najsvjetliji tip aktivnih galaktičkih jezgri iz ranih faza evolucije galaksija te da se zaista nalaze na njihovim kozmološkim udaljenostima. Oni su najudaljeniji objekti koje možemo vidjeti.

WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) je NASA-ina svemirska sonda, lansirana 2001. godine, koja je precizno mjerila temperaturu i polarizaciju kozmičkog mikrovalnog pozadinskog zračenja.



Slika 50. WMAP-ova mikrovalna karta neba

(<http://map.gsfc.nasa.gov/media/121238/index.html>) Preuzeto: 14.09.2016.

Analizom gornje slike znanstvenici, koji su radili na WMAP projektu, došli su do slijedećih podataka o našem svemiru:

- Starost svemira je oko 13,77 milijardi godina.
- Svemir se sastoji od: 4,6% obične materije (protoni i neutroni, materija koja gradi zvijezde, planete i živa bića), 24% tamne tvari (tvar koja nije sačinjena od atoma te ne odašilje vidljivu svjetlost) i 71,4% tamne energije (kozmoška konstanta koja ubrzava širenje svemira).
- Neposredno nakon Velikog praska uslijedilo je kratko razdoblje izvanredno brze ekspanzije svemira (inflacija). U tom periodu su nastale početne fluktuacije gustoće tvari koje su bile zametci buduće strukture svemira.
- Prve zvijezde su zasjale oko 200 milijuna godina nakon Velikog praska.
- Svemir se širi ubrzano, a trenutna brzina širenja svemira iznosi oko 71 km/s/Mpc.²⁶

²⁶ Parsek (pc) je osnovna mjerna jedinica za mjerenje udaljenosti u svemiru. 1pc = 3,26 svjetlosnih godina

8. Zaključak

Oduvijek je ljudski pogled bio uprt u večernje nebo promatrajući prekrasan prizor gomile zvijezda i drugih nebeskih tijela koji su se na njemu nalazili. Možemo reći da ljudski interes za nebeske pojave postoji onoliko koliko postoje i ljudi. Modeli svemira drevnih civilizacija su se većinom temeljili na mitovima o raznim božanstvima dok postojeći tekstovi, iz davnina vrlo malo govore o samoj geometriji svemira, koja očito nije bila od velikog značaja za drevne kulture. Predsokratsko doba je obilježeno objašnjavanjem onoga što je poznato, a jako je malo interesa bilo za proširenje empirijskih osnova u vidu novih opservacija. No, uspoređujući antičko doba sa Srednjim vijekom, možemo vidjeti razliku u slobodi govora. Iako niti antički stanovnici nisu imali potpunu slobodu govora, posebice ako se govorilo nešto protiv božanstava, ipak je to bilo doba velikog razvoja znanosti, pa tako i astronomije. Slike svijeta su bile različite, od heliocentričnih do geocentričnih sustava, od konačnog do beskonačnog svemira, od božanskog poimanja Zemlje do degradiranja Zemlje na običan planet. Bilo je to uistinu doba velikih i raznolikih ideja koje su utjecale na razvoj astronomije kao znanosti, a koje su našle svoj put kroz mnoga nadolazeća stoljeća, pritom dajući najdugotrajniju sliku svijeta, onu Ptolomejevu. Rastom i jačanjem katoličke crkve i kršćanske vjere dolazi do mračnog doba u ljudskoj povijesti, pa tako i do golemih gubitaka znanja o svijetu koji nas okružuje. Naime, prvo što se dogodilo je bilo unazađivanje znanosti i nametanje crkveno prihvatljive slike svijeta, one u kojoj je Zemlja ravna ploča. Ubrzo nakon prevođenja djela starogrčkih učenjaka na latinski jezik, dolazi do velikog preokreta barem što se slike svijeta tiče. Prihvata se Aristotelova filozofija s elementima Ptolomejevog modela svemira, te tako postaje najprihvaćenija i jedina „dobra“ slika svijeta koju je odobrila sama Crkva. Takva slika svijeta je bila opovrgavana od strane mnogih učenjaka, ali bezuspješno jer je Crkva imala čvrst stav o svijetu koji nas okružuje, a za nepoštivanje i javno preispitivanje svojih teorija nerijetko se plaćalo životom. Zato ni ne čudi da su se mnogi učenjaci, koji su dugotrajnim promatranjima neba i beskonačnim promišljanjima o nebeskim pojavama, nakon svog truda i rada odricali svojih životnih djela strahujući od kazne za svoje heretičke tvrdnje. Oni koji su odlučili braniti svoj rad, poput Keplera, bijahu odbačeni čak i od svoje okoline. Iz tog razloga se vjeruje da je srednji vijek uistinu bio najmračnije doba znanosti. U kasnijim godinama i dalje se osjećao utjecaj vjere, ali je vjersko neodobravanje i strahovlada popustila. Tako možemo vidjeti da je Isaac Newton, nedvojbeno jedan od najvećih znanstvenika svih vremena, osim revolucionarnih ideja i teorija, poput one o univerzalnom zakonu gravitacije, u svoj rad udahnuo i tračak vjere pokazujući svojim radom da se svi nebeski objekti pokoravaju

Božjoj volji. Puno veću slobodu za rad i izražavanje svog mišljenja imali su znanstvenici ovog i prošlog stoljeća. Rezultat te slobode se najbolje očituje današnjom slikom modela svemira. Poznato je da se Sunce nalazi u središtu Sunčeva sustava, ali ne i u središtu naše galaksije, a kamoli u središtu cijelog svemira kako se prije vjerovalo te postoje zvijezde koje su mnogo veće i sjajnije od našeg Sunca. Zemlja je samo jedan od planeta malih dimenzija spram drugih nebeskih tijela. Udaljenosti između planeta Sunčeva sustava su ogromne, a udaljenosti između galaksija su još i veće. Razvoj instrumenata koji služe za promatranje i proučavanje svemira, kao i raznih metoda određivanja prirode različitih pojava, nedvojbeno su potpomogle kreiranju današnje slike svemira i boljem razumijevanju građe i svojstava raznih nebeskih tijela.

Literatura

1. Kragh, H.S., Conceptions of Cosmos, Oxford, University of Oxford, 2007.
2. Krauskopf K.B., Beiser A., The Physical Universe, New York, McGraw Hill, 2006.
3. Šikić, Z., Knjiga o kalendarima, Zagreb, Profil, 2001.
4. https://hr.wikipedia.org/wiki/Predsokratovska_filozofija
5. <https://sh.wikipedia.org/wiki/Tales>
6. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17853>
7. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=4201>
8. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hagiografija>
9. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=61999>
10. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=22473>
11. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=4320>
12. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kozmologija>
13. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Bogoslovlje>
14. https://sh.wikipedia.org/wiki/Kozma_Indikoplevst
15. https://hr.wikipedia.org/wiki/Beda_%C4%8Casni
16. http://eskola.hfd.hr/fizika_svemira/udaljenosti/u-paralaksa.html
17. [https://en.wikipedia.org/wiki/Magnitude_\(astronomy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Magnitude_(astronomy))
18. https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei
19. https://sh.wikipedia.org/wiki/William_Herschel
20. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Teleskop>
21. <https://en.wikipedia.org/wiki/Pluto>
22. <http://www.svemir.ba/suncev-sistem/merkur/>
23. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=64246>

24. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Zemlja>
25. <http://www.croastro.com/htmlplanet/hrmars.htm>
26. <https://en.wikipedia.org/wiki/Jupiter>
27. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=54704>
28. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=63293>
29. <https://en.wikipedia.org/wiki/Neptun>
30. http://eskola.hfd.hr/fizika_svemira/povijest/prasak.html
31. https://en.wikipedia.org/wiki/Veliki_prasak
32. <http://map.gsfc.nasa.gov/media/121238/index.html>
33. <http://www.starteachastronomy.com/mayan.html>
34. https://hr.wikipedia.org/wiki/Hubbleov_zakon
35. <http://map.gsfc.nasa.gov/news/>
36. <http://www.alternativnahistorija.com/CM.htm>
37. https://hr.wikipedia.org/wiki/Ophodno_vrijeme
38. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=4316>

Životopis

Rođena sam 15. prosinca 1989. godine u Osijeku. Osnovnu školu Miroslava Krležu pohađala sam u Čepinu. Nakon završetka osnovne škole upisala sam 2. gimnaziju u Osijeku. Po završetku srednje škole, 2009. godine, upisujem se kao redoviti student na Preddiplomski studij fizike na Odjelu za fiziku, koji je u sastavu Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. 2013. godine, nakon završetka preddiplomskog studija, upisala sam Sveučilišni diplomski studij fizike i informatike.