

FILOZOFIJA I ASTRONOMIJA OD ANTIČKIH VREMENA DO NEWTONA

Mučić, Margareta

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Splitu, Filozofski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:172:202633>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-27**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of humanities and social sciences](#)



SVEUČILIŠTE U SPLITU

FILOZOFSKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

**FILOZOFIJA I ASTRONOMIJA OD ANTIČKIH VREMENA DO
NEWTONA**

MARGARETA MUČIĆ

Split, 2024.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FILOZOFSKI FAKULTET
ODSJEK ZA FILOZOFIJU

**FILOZOFIJA I ASTRONOMIJA OD ANTIČKIH VREMENA DO
NEWTONA**

ZAVRŠNI RAD

Studentica: Margareta Mučić

Mentor: prof. dr. sc. Dario Škarica

Komentorica: dr. sc. Gabriela Bašić Hanžek

Split, rujan 2024.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Antika.....	2
2.1. Astronomija.....	2
2.2. Filozofija: metafizika i epistemologija.....	3
2.3. Suodnos astronomije i filozofije.....	4
2.4. Aristotel.....	6
2.5. Ptolemej.....	8
3. Srednji vijek.....	10
4. Nikola Kopernik.....	13
5. Johannes Kepler.....	15
6. Galileo Galilei.....	17
7. Isaac Newton.....	18
8. Zaključak.....	20
9. Sažetak.....	21
10. Abstract.....	22
11. Literatura.....	24
12. Popis priloga.....	25

1. Uvod

U najranijim razdobljima ljudske povijesti, promatranje neba i prirodnih fenomena dovelo je do nastanka prvih mitova i religijskih vjerovanja. Astronomske pojave, poput pomrčina Sunca i Mjeseca, izazivale su strah i fascinaciju, dok su kometi, poznati kao "repatice", smatrani lošim znakovima. S druge strane, pravilne pojave poput izmjene dana i noći, mjesečevih faza i godišnjih doba, postale su temelj za razvoj kalendara i planiranja poljoprivrednih aktivnosti.

U ranim razdobljima babilonske i egipatske civilizacije, nebeske su pojave mogle biti promatrane, ali ne i predviđane na sustavan način. Nedostatak razumijevanja prirodnih zakona doveo je do toga da su nebeski fenomeni često pripisivani božanskim silama. Sunce, Mjesec i planeti smatrani su bogovima, a promatranje neba postalo je sastavni dio religijskih obreda i vjerovanja.¹

U kasnijem razvoju astronomije, matematika, osobito geometrija, bila je ključna za precizno predviđanje kretanja nebeskih tijela, dok su filozofska načela, proizišla iz metafizike i epistemologije, pružala širi okvir za tumačenje tih fenomena.

U antičkoj filozofiji, metafizika je bila zadužena za razumijevanje biti i naravi stvarnosti, dok se epistemologija bavila pitanjima kako stječemo znanje o svijetu. Matematički zakoni omogućili su točna predviđanja, ali nisu uvijek pružali kauzalna objašnjenja. Ovdje dolazi do izražaja razlika između matematičke astronomije, koja je imala instrumentalistički pristup, i fizikalne astronomije, koja je težila razumijevanju stvarne prirode svemira. Teorije su nastojale objasniti promatrane fenomene, dok je metateorija određivala kako teorije trebaju biti strukturirane i na kojim načelima se trebaju temeljiti. U kontekstu astronomije, metateorija određuje kako bi se kretanja nebeskih tijela trebala objašnjavati u skladu s određenim filozofskim postulatima. Međutim, cilj nije bio samo pratiti kretanja, već i dokučiti uzroke tih kretanja, pružajući kauzalna objašnjenja koja su bila ključna za formiranje koherentnog svjetonazora.

¹ Dadić, Žarko, *Razvoj matematike*, Zagreb, Školska knjiga, 1975.; str. 21.-26.

2. Antika

2.1. Astronomija

U antičko doba, filozofija i astronomija bile su neraskidivo povezane discipline, koje su zajednički nastojale razumjeti svemir i mjesto čovjeka u njemu. Antički učenjaci, poput Aristotela i Ptolemeja, razvili su sustave mišljenja temeljene na opažanjima nebeskih tijela golim okom. Teleskop, koji će donijeti revoluciju u promatranju svemira, nije bio dostupan sve do početka sedamnaestog stoljeća, kada ga je Galileo prvi puta koristio u astronomskim promatranjima, pa se sva astronomska istraživanja do tog doba oslanjaju na neposredna zapažanja ljudskim okom.

Promatranje svemira u antici bilo je usmjereno na identificiranje i analiziranje osnovnih nebeskih tijela kao što su Sunce, Mjesec, zvijezde i planeti. Astronomi su prepoznali pet planeta vidljivih golim okom: Merkur, Veneru, Mars, Jupiter i Saturn, koje su nazvali "lutajućim zvijezdama" zbog njihove promjenjive pozicije u odnosu na zvijezde stajačice. Uočili su i da njihova kretanja ne izgledaju ni kružna ni jednolika. Zvijezde su izgledale kao da su fiksirane na nebeskoj sferi, dok su planeti pokazivali složenija kretanja, uključujući retrogradno gibanje, gdje se činilo da se planeti povremeno kreću unatrag.² Takvo ponašanje planeta nije se moglo lako objasniti unutar jednostavnog geometrijskog okvira jednolikog kružnog kretanja oko Zemlje, što je dovelo do složenijih teorijskih modela. Promatranja su ipak pokazala da se planeti ne kreću uvijek u skladu s ovim idealima. Pitagorejci su razvili iznimno apstraktan matematički pogled na svemir, gdje su brojevi i geometrijske strukture smatrani temeljnim elementima stvarnosti. Geometrijske apstrakcije, poput točaka, linija i površina, nisu bile samo mentalni koncepti, već su ih promatrali kao stvarne elemente koji čine fizički svijet. Oni su također smatrali da su geometrijski oblici, poput kružnice i kugle, najsavršeniji oblici u svemiru. Prema njima, Zemlja i nebeska tijela moraju biti sferna, a gibanja nebeskih tijela po savršenim kružnicama nužno su jednolika, jer je jednoliko kružno gibanje smatrano najsavršenijim oblikom kretanja. U početku su pitagorejci vjerovali da se Zemlja nalazi u središtu svemira, a da se planeti i ostala nebeska tijela kreću oko nje po savršenim kružnicama. Međutim, s vremenom su prepoznali razliku između nebeskog i

² Neugebauer, Otto, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*; str. 2.-5.

zemaljskog područja, što je dovelo do njihove podjele svemira na supralunarno i sublunarno područje. Supralunarno područje, koje obuhvaća sve iznad Mjeseca, smatrali su savršenim, vječnim i nepromjenjivim. Nebeska tijela u tom dijelu svemira, kreću se jednoliko po savršenim kružnicama i ne podliježu promjenama. Sublunarno područje, koje obuhvaća Zemlju i sve ispod Mjeseca, smatrali su nesavršenim, podložnim promjenama, raspadanju i smrti. Ovo područje je obilježeno neprekidnim promjenama i nepravilnim kretanjima, što odražava nesavršenost i prolaznost zemaljskog svijeta.³

Aristotel je od pitagorejaca prihvatio diobu svemira na sublunarni i supralunarni svijet. Dodao je i da je sublunarni svijet sastavljen od četiri osnovna elementa, zemlje, vode, zraka i vatre, koji se, kad na njih ne djeluje nikakva sila, kreću prema svojim prirodnim mjestima. Nebeska tijela, u supralunarnom svijetu, bila su sastavljena od petog elementa, etera, i njihovo kretanje, kao što je već spomenuto, bilo je savršeno i vječno.

Što se tiče retroradnog gibanja planeta, da bi to objasnio, Ptolemej je uveo koncept epicikla i deferenta u svom geocentričnom modelu svemira. Ovaj je model bio matematički način da se objasne nepravilnosti u kretanju planeta, a da se pri tome zadrži osnovna ideja o savršenom, jednolikom kružnom kretanju svih nebeskih tijela.⁴

2.2. Filozofija: metafizika i epistemologija

U antičkoj filozofiji, metafizika i epistemologija su bile ključne discipline koje su nastojale odgovoriti na pitanja o stvarnosti, svemiru i biću. Teme kao što su nepromjenjivo i promjenjivo biće, priroda kretanja te odnos uma i iskustva, bila su u središtu filozofskih rasprava velikih učenjaka poput Parmenida, Platona i Aristotela.

Jedna od osnovnih tema unutar metafizike jest pojam bića kao nečega što može biti nepromjenjivo ili promjenjivo. Parmenid je smatrao da je pravo biće jedino ono što jest, dok nebiće ne može postojati. Biće je jedinstveno, nepromjenjivo i vječno, dok su sve promjene puke pojave, iluzije.⁵ Platon se nadovezao na Parmenida i razvio svoju teoriju ideja prema kojoj su ideje ili oblici savršeni, nepromjenjivi i vječni prototipovi svega što postoji u

³ Dadić, Ž., *Razvoj matematike*, Zagreb, Školska knjiga, 1975.; str. 40.-44.

⁴ Dadić, Ž., *Razvoj matematike*, Zagreb, Školska knjiga, 1975.; str. 53.56.

⁵ Kokić, T., *Pregled antičke filozofije*, Zagreb, Naklada Breza, 2015.; str. 66.-70.

osjetilnom svijetu. Ideje su istinska stvarnost, dok su fizički objekti samo nesavršene kopije tih ideja, a biće koje pripada idejama je savršeno.⁶

Aristotel uvodi koncept nepokrenutog pokretača kao konačne svrhe svih stvari. Za njega, pravo biće nije odvojeno od svijeta prirode, već se nalazi unutar njega, a nepokrenuti pokretač je savršeno biće koje pokreće sve druge stvari, ali pritom ostaje nepromijenjeno. Ovo biće predstavlja krajnju svrhu ili *telos* svih kretanja i promjena u svemiru.⁷ U antičkoj filozofiji, savršeno kretanje se definiralo kao jednoliko i kružno. Aristotel je posebno naglašavao jednoliko kružno kretanje kao prirodno za nebeska tijela, smatrajući ga savršenim, jer nema početka ni kraja. U njegovom svemiru, nebeska tijela se kreću po savršenim kružnicama oko Zemlje, a njihova kretanja su jednolika, bez promjena u brzini.⁸

S druge strane, epistemologija se bavi pitanjem kako ljudi mogu spoznati stvarnost i istinu. Odnos uma i iskustva bio je ključan za razumijevanje spoznaje. Parmenid je tvrdio da pravo znanje dolazi iz uma, a ne iz osjetilnog iskustva, jer su osjetila varljiva i daju nam samo pojave, a ne stvarnost. Platon je, kako je već spomenuto, dalje razradio ovu ideju, uvodeći podjelu između svijeta ideja i svijeta pojava. Za njega je istinsko znanje o idejama, koje se može dosegnuti samo umom, dok su osjetilna iskustva ograničena na svijet pojava, koji su samo sjenke pravih ideja. U njegovoj filozofiji, um se suprotstavlja iskustvu jer je samo um sposoban dosegnuti istinu. Aristotel je nastojao pomiriti um i iskustvo. Za njega, spoznaja počinje iskustvom, ali se ne završava na njemu. Um koristi osjetilna iskustva kao polazište za razvijanje univerzalnih principa i znanja. Prema Aristotelu, iskustvo je važno, ali je um taj koji organizira i razumijeva podatke iz iskustva, omogućujući nam da dosegne istinsko znanje.

2.3. Suodnos astronomije i filozofije

Astronomija i filozofija su neraskidivo povezane u pokušaju da se razumije priroda svemira i mjesto čovjeka unutar njega. Astronomi su nastojali kroz promatranje nebeskih tijela i

⁶ Cordero, N.-L., *Parmenides' Thought: A New Way of Looking at His Theory of Being*, 2011., *Phronesis*, 56(1), 1-21.

⁷ Relja, H., *Tomistička filozofija*, Zagreb, Leykam international, 2021.; str. 319.-322.

⁸ Dadić, Ž., *Razvoj matematike*, Zagreb, Školska knjiga, 1975.; str. 53.-57.

filozofske spekulacije uspostaviti koherentan sustav koji bi objasnio ne samo kretanja nebeskih tijela već i temelje same stvarnosti.

Prema Aristotelovoj filozofiji, sublunarno područje bilo je područje promjena, kretanja koja su često bila nepravilna i nesavršena. Nesavršena kretanja su uključivala pravocrtna kretanja koja su bila podložna promjenama brzine i smjera, što je naravno reflektiralo nesavršenosti materijalnog svijeta. Gibanja na Zemlji, kao što su na primjer, gibanja tekućina, vjetrova ili padanje predmeta, smatrala su se nesavršenima zato što nisu bila ni jednolika ni kružna.⁹

S druge strane, supralunarno područje se smatralo područjem savršenih kretanja. Nebeska tijela su se kretala po savršenim kružnicama, jednolikom brzinom, što je odražavalo njihovu savršenu i božansku prirodu. Kružna se putanja smatrala savršenim oblikom kretanja jer nema početka ni kraja, što je upućivalo na vječnost i nepromjenjivost nebeskih tijela.¹⁰

Epistemološki gledano, indukcija, odnosno generalizacija promatranih pojava, bila je ključna metoda kojom su antički filozofi dolazili do zaključaka o prirodi kretanja u svemiru.

Promatranja kretanja nebeskih tijela omogućila su stvaranje općih principa o njihovom kretanju, dok su filozofske spekulacije dodatno učvršćivale ta načela unutar šireg metafizičkog okvira.

Jedan od najvećih izazova za astronomiju toga doba bio je fenomen retrogradnih kretanja planeta. Ova pojava, u kojoj planeti povremeno usporavaju, zaustavljaju se i kreću unatrag prije nego što ponovno nastave svoj uobičajeni put, bila je u potpunoj suprotnosti s idejom savršenog jednolikog kružnog gibanja. Kao odgovor na ovaj problem, razvijena je metoda "spašavanja fenomena", koja je podrazumijevala prilagodbu geometrijskog modela kako bi se uskladio s promatranim činjenicama. Ptolemejev sustav deferenta i epicikla bio je ključno rješenje za problem retrogradnog kretanja. U ovom modelu, planeti su se kretali po manjim kružnicama, takozvanim epiciklima, dok su istovremeno slijedili veće kružnice, odnosno deferente, oko Zemlje. Retrogradno kretanje moglo se tako objasniti kao rezultat međusobnog odnosa tih kružnih kretanja, zadržavajući pri tome ideju da su osnovni oblici gibanja u svemiru jednoliki i kružni, što je bilo u skladu s Platonovom filozofijom.¹¹

Matematika, posebno geometrija, igrala je ključnu ulogu u objašnjavanju tog fenomena. Geometrija nije bila samo alat za opisivanje kretanja, već je postala ključna za formuliranje

⁹ Dadić, Ž., *Razvoj matematike*, Zagreb, Školska knjiga, 1975.; str. 53.-57.

¹⁰ Ibid.

¹¹ Dijksterhuis, E. J., *The Mechanization of the World Picture*, Oxford University Press, 1969.; str. 17.-19.

teorija koje su mogle predvidjeti i objasniti kretanja nebeskih tijela. Matematika je stoga imala dvostruku ulogu: objašnjenje pojava i stvaranje teorijskih modela koji su mogli biti empirijski testirani. Ovo je omogućilo da astronomija ne ostane samo na razini filozofskih spekulacija, već da se razvije kao disciplina koja se temelji na preciznim promatranjima i matematičkoj rigoroznosti.

Filozofija je igrala ključnu metateorijsku ulogu u oblikovanju astronomskih ideja.

Klasifikacija tijela i kretanja temeljila se na filozofskoj distinkciji između savršenog i nesavršenog bića. Dijksterhuis naglašava kako je filozofija pružala okvir unutar kojeg su astronomi razvijali svoje teorije, istovremeno služeći kao vodič za interpretaciju promatranih pojava. Kada su promatranja otkrila nepravilnosti poput retrogradnog kretanja, filozofi su morali prilagoditi svoje teorije kako bi zadržali dosljednost s metafizičkim načelima. Ova prilagodba pokazuje kako je filozofija služila kao osnova za kontinuirani razvoj astronomije, čak i kada su empirijski izazovi zahtijevali reviziju postojećih modela.

Promatranje je bilo ključno za utvrđivanje astronomskih pojava i fenomena. Iako su antički astronomi bili ograničeni na promatranja golim okom, ta su promatranja pružila osnovu za razvoj složenih teorijskih modela. Dadić naglašava kako su promatrači poput Ptolemeja pažljivo bilježili kretanja nebeskih tijela, što je omogućilo formuliranje teorija koje su uspješno objašnjavale ta kretanja. Kombinacija promatranja, filozofije i matematike omogućila je antičkim misliocima da razviju koherentan sustav razumijevanja svemira, unatoč ograničenjima u pogledu mjernih i promatračkih instrumenata. Ovaj sustav je postavio temelje za kasniji razvoj astronomije i znanosti općenito.

2.4. Aristotel

Aristotel je preuzeo ideju dualističkog svemira od pitagorejaca i Platona, koja dijeli svemir na dva različita područja: supralunarno i sublunarno. Sublunarni svijet, sastoji se od četiri osnovna elementa: zemlje, vode, zraka i vatre. Prema Aristotelu, ti elementi nisu samo fizička tijela, već aspekti jedne temeljne "prve tvari". Svaki od njih ima svoja specifična svojstva, kao što su toplina, hladnoća, suhoća i vlaga, što je prvi razradio Empedoklo. U supralunarnom području, nebeska tijela kreću se jednolikim kretanjem po savršenim kružnicama. To kretanje prenosi se s viših sfera na niže, sve do Mjeseca, čije kretanje potom utječe na događaje u

sublunarnom svijetu. Kod Aristotela još pronalazimo i peti element, eter, koji ispunjava nebesko područje.¹²

Učenje o prirodnom mjestu dodatno objašnjava Aristotelovu hijerarhiju svemira, u kojoj svaki element ima specifično mjesto: zemlja u središtu, voda iznad zemlje, zrak iznad vode, a vatra na vrhu sublunarnog područja. Kada se tijelo nalazi izvan svog prirodnog mjesta, ono će prirodno težiti da se vrati na svoju poziciju.¹³

Što se tiče kretanja, Aristotel razlikuje između dvije vrste kretanja: prisilno i prirodno kretanje. Prirodno kretanje je kretanje koje omogućava tijelima da dosegnu svoje prirodno mjesto. Na primjer, kamen će padati prema središtu svemira (u kojem se nalazi Zemlja), jer je to središte prirodno mjesto zemlje, elementa od kojeg kamen jest, dok će vatra težiti prema gore (prema periferiji sublunarnog područja), tj. prema svojoj prirodnoj poziciji. S druge strane, prisilno kretanje nastaje kada vanjska sila prisili tijelo da se kreće suprotno svom prirodnom kretanju. Tu bi primjer bio bacanje kamena prema gore. Takvo kretanje je privremeno i traje dok djeluje vanjska sila i čim ta sila prestane, tijelo se vraća svom prirodnom kretanju.¹⁴ Prema Aristotelu, prirodno kretanje nebeskih tijela je jednoliko kružno, nebeska se tijela kreću jednoliko po savršenim kružnim putanjama oko Zemlje. Ta su kružna kretanja nepromjenjiva i vječna. Ipak, u sublunarnom području prirodna kretanja ovise o elementu od kojeg je tijelo sastavljeno. Kretanja zemlje i vode teže prema dolje (prema središtu svemira), dok zrak i vatra teže prema nebeskoj sferi (prema rubu sublunarnog područja).¹⁵ Ova Aristotelova teorija postavila je temelje za razmišljanje o prirodnim zakonima i kretanju, koje je dominiralo stoljećima u znanstvenoj zajednici.

Kod Aristotela, kao što je već objašnjeno, pronalazimo i nešto što se zove Prvi pokretač, on se nalazi izvan materijalnog svijeta i nema prostornu dimenziju, pokreće sferu zvijezda stajačica, čime pokreće cijeli svemir i on predstavlja uzrok svih gibanja u svemiru.¹⁶

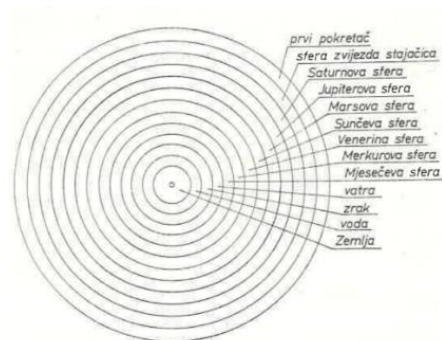
¹² Dadić, Ž., *Razvoj matematike*, Zagreb, Školska knjiga, 1975.; str. 55.-56.

¹³ Bodnar, I., *Aristotle's Natural Philosophy*, The Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2023.

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Ibid.

¹⁶ Dadić, Ž., *Razvoj matematike*, Zagreb, Školska knjiga, 1975.; str. 55.



Slika 1 – Aristotelova slika svemira

2.5. Ptolemej

Što se tiče Ptolemeja, jedna od njegovih najbitnijih ideja, uz naravno već spomenuti sustav deferentata i epicikla, je sveza između kretanja planeta i kretanja Sunca, opisana u njegovom *Almagestu*. Tvrdi da Merkur i Venera uvijek osciliraju oko Sunca unutar određenih granica, dok Mars, Jupiter i Saturn prate putanje koje su usklađene sa Sunčevim kretanjem.¹⁷

U njegovom dobu, postojala je razlika između matematičke i fizikalne astronomije. U matematičkoj je pristup proučavanju nebeskih tijela dolazio kroz apstraktne matematičke modele, dok su u fizikalnoj astronomiji pitanja o prirodi nebeskih tijela i kretanja bila podložna filozofskim spekulacijama. Matematička astronomija bila je vrlo razvijena, oslanjala se na ideju da se gibanja nebeskih tijela mogu razložiti na jednolika kružna gibanja. Ova je metoda omogućila izgradnju složenih modela koji su se pokazali točnima u predviđanju astronomskih fenomena.

Međutim, fizikalna astronomija, koja je pokušala razumjeti prirodu nebeskih tijela i uzroke njihovih kretanja, bila je ograničena geocentričkom kozmologijom. Ovaj pogled spriječio je prihvaćanje teorija koje su pretpostavljale da se Zemlja kreće, jer se takva kretanja nisu mogla uskladiti s tadašnjom fizikom.

Načelo jednolikog kružnog kretanja ključno je za Ptolemejevu astronomiju, jer odražava duboko ukorijenjenu metafizičku ideju o savršenstvu nebeskih tijela. Iako je ono jednim bitnim svojim dijelom metafizičko, Ptolemej je koristio empirijska promatranja kako bi

¹⁷ Dijksterhuis, E. J., *The Mechanization of the World Picture*, Oxford University Press, 1969.; str. 60.-67.

podržao ovu ideju. Međutim, opažena kretanja planeta, posebno retrogradna kretanja, nisu se uvijek uklapala u ovaj model. Unatoč tome, Ptolemej je nastojao uskladiti svoja promatranja s načelom jednolikog kružnog kretanja, koristeći složene geometrijske konstrukcije. Načelo jednolikog kružnog kretanja može se smatrati i epistemološkim, u tom smislu da je ono rezultat generalizacije i indukcije iz empirijskih podataka prema filozofskim (metafizičkim) načelima.¹⁸

Ptolemejeva astronomija bila je, u mnogim aspektima, usmjerena na matematičko modeliranje s ciljem preciznog predviđanja kretanja planeta. Iako su njegovi modeli omogućavali točna predviđanja, njihova primarna svrha nije bila prikazati stvarnu strukturu svemira, već pružiti alat za dosljedno i uspješno predviđanje opaženih astronomskih fenomena.



Slika 2 - Geocentrični sustav iz Ptolemejeva Almagesta

¹⁸ Ibid.

3. Srednji vijek

Očuvanje i prijenos grčke znanstveno-filozofske baštine tijekom srednjeg vijeka velikim dijelom možemo zahvaliti arapskim učenjacima. Dok su neki astronomi, slijedeći Ptolemejeve metode, ostali usredotočeni na praktične aspekte, poput izrade astronomskih tablica, drugi su se posvetili dubljim filozofskim istraživanjima, nastojeći objasniti fizičku stvarnost kretanja planeta. Ibn al-Haytham, poznat i kao Alhazen, izradio je detaljan mehanički model planetarnih gibanja, što je kasnije imalo velik utjecaj na znanost u Europi.

Tijekom dvanaestog i trinaestog stoljeća došlo je do rasprave među znanstvenicima između Ptolemejeve i Aristotelove metode. Ovaj intelektualni sukob doveo je do sumnji u Ptolemejevu teoriju među zapadnim učenjacima. Neki mislioci, poput Alpetragiusa, pokušali su razviti alternativne kozmološke sustave temeljene na Aristotelovim učenjima, ali njihovi modeli, unatoč filozofskom značaju, nisu našli širu primjenu zbog svoje složenosti i nemogućnosti izrade praktičnih astronomskih tablica.¹⁹

Astronomija je u srednjem vijeku zauzimala posebno mjesto među znanostima, zahvaljujući svojoj ključnoj ulozi u prirodnoj filozofiji, teologiji, te u praktičnim primjenama poput kronologije i astrologije. Ona je već bila visoko razvijena disciplina, a srednjovjekovni učenjaci nastavili su je razvijati, integrirajući je u obrazovni sustav kroz *quadrivium*, koji je obuhvaćao aritmetiku, geometriju, glazbu i astronomiju. Ona se razvijala unutar konteksta matematičkog instrumentalizma i fizikalnog realizma, gdje se ipak instrumentalizam češće koristio. Instrumentalizam je bio pristup koji je ciljao na predviđanje i objašnjavanje kretanja nebeskih tijela pomoću matematičkih modela, dok je fizikalni realizam zahtijevao da ti modeli odražavaju stvarnu strukturu svemira.²⁰

Astronomi su u to vrijeme nastavili koristiti i prilagođavati većinom Ptolemejeve modele, koji su pružali izuzetno precizne metode za izračunavanje položaja nebeskih tijela što je bilo ključno za određivanje datuma crkvenih praznika, izradu kalendara, pa čak i za navigaciju. Dakle, matematička astronomija srednjeg vijeka bila je orijentirana na predviđanje i objašnjavanje fenomena kroz apstraktne matematičke modele, bez nužne tvrdnje da ti modeli prikazuju kako svemir zaista funkcionira, dok je, s druge strane, za fizikalnu astronomiju ipak bilo potrebno imati precizan model funkcioniranja svemira.

¹⁹ Dijksterhuis, E. J., *The Mechanization of the World Picture*, Oxford University Press, 1969.; str. 210.

²⁰ *Ibid.*, str. 210.-215.

Matematički instrumentalizam se odražava u radovima arapskih znanstvenika poput Al-Battanija i Al-Faraghanija. Njihovi radovi bili su ključni u očuvanju znanja o matematičkim modelima koji su mogli predviđati događaje poput pomrčina Sunca i Mjeseca, te kretanja planeta. Modeli koje su razvili preneseni su u srednjovjekovnu Europu, gdje su bili prihvaćeni i prilagođeni od većine raznih učenjaka koji su nastavili koristiti ove modele za predviđanje kretanja nebeskih tijela.²¹

Fizikalni realizam, s druge strane, zahtijeva da astronomija ne samo predviđa i objašnjava fenomene nego da i odražava stvarnu fizičku strukturu svemira i, iako razvijen, manje se koristio tijekom srednjeg vijeka. Jedan od razloga za slabije korištenje fizikalnog realizma bila je duboka povezanost astronomije s teologijom. Kršćanska teologija imala je snažan utjecaj na intelektualni život tog razdoblja, a astronomija nije bila izuzeta iz tog utjecaja. Postojala je snažna težnja za usklađivanjem astronomskih modela s teološkim doktrinama.

Pojedini učenjaci, osobito u kasnijem srednjem vijeku, počeli su preispitivati Aristotelovu fiziku i kozmologiju, što je otvorilo put za razvoj novih teorijskih pristupa. Toma Akvinski, u svom komentaru na Aristotelovo djelo *De Caelo*, raspravlja o razlici između fizikalne i matematičke koncepcije svemira. Dok fizikalna teorija teži izvesti strukturu neba iz čvrstih znanstvenih principa, matematička teorija kreira kinetičke modele koji se slažu s promatranjima, ali često bez stvarne fizičke osnove. Akvinski je smatrao da matematička metoda, iako je učinkovita u predviđanjima, ne garantira istinitost same teorije, s obzirom na njenu složenost i fizikalnu održivost.²² Ova razlika među pristupima nije samo relevantna za astronomiju već se proteže na sve znanstvene discipline koje su podložne matematičkoj analizi. Kopernikova heliocentrična teorija, na primjer, nije bila samo nova matematička konstrukcija već je mogla biti interpretirana i kao radikalni pomak prema fizikalnom realizmu. Keplerovi zakoni kretanja planeta, koji su slijedili Kopernikovo djelo, dodatno su učvrstili tendenciju prema nearistotelovskoj fizici u astronomiji. Ti zakoni nisu bili samo matematički precizni nego su također predstavljali korak prema drukčijem fizikalnom objašnjenju opaženih kretanja planeta. Ovaj pomak prema nearistotelovskoj fizici bio je duboko ukorijenjen u želji da se matematika ne koristi samo kao alat za predviđanje već kao sredstvo za razumijevanje stvarne prirode nebeskih tijela i njihovih kretanja. Galilejeva

²¹ Dijksterhuis, E. J., *The Mechanization of the World Picture*, Oxford University Press, 1969.; str. 210.-219.

²² Ibid.

otkrića, poput Venerinih faza, brda i dolina na Mjesecu te četiri najveća Jupitrova satelita, pružila su empirijske dokaze koji su bili u suprotnosti s tradicionalnom slikom svemira.²³

Tako se srednji vijek može promatrati kao razdoblje u kojem je matematički instrumentalizam jednim dijelom bio više uključen u astronomiju, dok je fizikalni realizam bio u dosta manjem opticaju, ograničen filozofskim i teološkim okvirima vremena. No kasnije okretanje prema nearistotelovskoj fizici predstavlja ključnu fazu u povijesti znanosti, koja je kulminirala u razumijevanju svemira kao fizikalno uređenog sustava, gdje matematika ne samo da predviđa i objašnjava, već i odražava stvarnu prirodu svemirskih pojava.

²³ Ibid.

4. Nikola Kopernik

Kopernikov doprinos astronomiji i filozofiji značajno je obilježio prijelaz iz srednjovjekovnog pogleda na svemir prema modernom razumijevanju svemira. Njegovo najpoznatije djelo, *De revolutionibus orbium coelestium* donosi detaljan prikaz heliocentričnog modela svemira. U njemu je Zemlja postavljena kao jedan od mnogih planeta koji se kreću oko Sunca, što je predstavljalo drastičan odmak od Ptolemejevog geocentričnog sustava. Kopernikova tvrdnja da se Zemlja okreće oko svoje osi u 24 sata, što uzrokuje izmjenu dana i noći, te njezino godišnje kretanje oko Sunca, što uzrokuje promjenu godišnjih doba, predstavljala je revolucionarnu ideju koja je uvelike unaprijedila razumijevanje prirodnih fenomena.²⁴

Matematički instrumentalizam u njegovom radu ogleda se u činjenici da su njegovi modeli još uvijek uključivali složene geometrijske konstrukcije koje su omogućavale precizno predviđanje položaja planeta na nebu. Njegov pristup, iako revolucionaran, u mnogim je aspektima bio nastavak tradicije koja seže do Ptolemeja, gdje su matematički modeli služili kao praktični alati za predviđanje astronomskih događaja, ali nisu nužno predstavljali stvarnu fizikalnu strukturu svemira. No njegov heliocentrični sustav se može tumačiti ne samo kao matematička inovacija već i kao stvarna slika svemira. Po njegovim zapisima moglo bi se zaključiti da Sunce zaista zauzima središnje mjesto u svemiru i da su planeti, uključujući Zemlju, u stvarnosti fizički postavljeni u orbite oko Sunca.

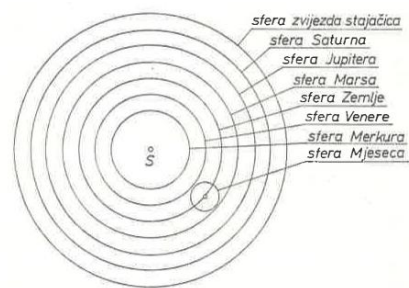
Ovaj heliocentrični sustav je označio početak transformacije u načinu na koji su astronomi pristupali istraživanju svemira. Kopernikova tvrdnja da Zemlja nije središte svemira, već jedan od planeta koji se kreću oko Sunca, bila je duboko izazovna za tadašnju znanost i filozofiju. Njegove ideje bile su ključne za kasniji rad astronoma poput Johannesa Keplera i Isaaca Newtona, koji su proširili Kopernikove ideje i razvili teorije koje su bile i matematički precizne i fizikalno utemeljene.

Jedan od najvažnijih uspjeha Kopernikovog modela bilo je i njegovo jednostavno i precizno objašnjenje kretanja planeta. Taj je model prirodno objasnio varijacije u kretanju planeta bez potrebe za dodatnim složenim konstrukcijama. Kopernik je također uspješno izračunao omjere udaljenosti planeta u odnosu na Sunce, što je predstavljalo značajan napredak u razumijevanju strukture Sunčevog sustava. Ali njegov rad je imao i duboke filozofske implikacije, jer je uklanjanjem Zemlje iz središta svemira otvorio pitanje o prirodi čovjekovog

²⁴ Dadić, Ž., *Razvoj matematike*, Zagreb, Školska knjiga, 1975.; str. 123.-127.

mjesta u kozmičkom poretku. Kopernikov je model svemira nagovijestio radikalni prekid s dotadašnjim antropocentričnim pogledom na svijet. Ta je ideja sugerirala da Zemlja i čovječanstvo nisu u središtu svemira, već su samo jedan od mnogih dijelova golemog i potencijalno beskonačnog svemira. Također je dovela i do spekulacija o postojanju drugih svjetova.²⁵

Dakle, Kopernikovo djelo nije samo omogućilo preciznija predviđanja kretanja planeta već je također pridonijelo radikalnoj promjeni u našem razumijevanju svemira, postavljajući temelje za modernu astronomiju. To označava ključnu prekretnicu u povijesti znanosti, gdje su i matematički modeli počeli predstavljati stvarne prikaze fizikalne strukture svemira.



Slika 3 - Kopernikov matematički model gibanja planeta

²⁵ Kuhn, Thomas S. *The Copernican Revolution*. Harvard University Press, 1957.; str. 134.-140.

5. Johannes Kepler

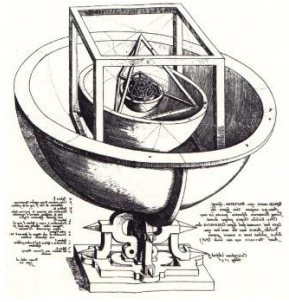
Johannes Kepler, jedan od ključnih astronoma ranog novog vijeka, napravio je značajan iskorak u razumijevanju kretanja planeta, napuštajući drevni postulat jednolikog kružnog gibanja. On je, koristeći precizne podatke o položajima planeta koje je prikupio T. Brahe, ubrzo shvatio da model koji predviđa jednoliko kružno gibanje planeta ne može u potpunosti objasniti opažene podatke. Nakon mnogo pokušaja da uskladi Braheova promatranja s kružnim orbitama Kepler je došao do revolucionarnog zaključka, a to je da se planeti ne kreću po kružnicama, već po elipsama. Ovaj radikalni potez je označio prekretnicu u povijesti astronomije. Keplerov prvi zakon planetarnog gibanja, koji kaže da se svaki planet kreće po eliptičnoj orbiti sa Suncem u jednom od žarišta, potpuno je preokrenuo dotadašnje shvaćanje svemira.²⁶ Eliptične orbite nisu samo narušavale dugotrajnu ideju o savršenstvu kružnica, već su također izazivale filozofske i teološke predodžbe o svemiru kao mjestu savršenog reda i harmonije. On je također tražio fizikalna objašnjenja za ova gibanja. Iako u svoje vrijeme nije imao sve potrebne alate za potpuno razumijevanje, Kepler je intuitivno osjećao da su ova gibanja rezultat stvarnih fizikalnih sila koje djeluju u svemiru, iako te sile tada još nisu bile u potpunosti shvaćene. Njegov drugi zakon, poznat kao zakon jednakih površina, dodatno je narušio ideju o jednolikom kretanju. Ovaj zakon tvrdi da se planet kreće brže kada je bliže Suncu i sporije kada je dalje od njega.²⁷ To je bilo u suprotnosti s idejom jednolikog gibanja, jer je pokazalo da se brzina kretanja planeta mijenja ovisno o njegovoj udaljenosti od Sunca.

Keplerovo djelo *Nova astronomija* postavilo je temelje za daljnji razvoj astronomije, što je omogućilo kasniji razvoj Newtonove teorije gravitacije, koja je pružila fizikalno, kauzalno objašnjenje Keplerovih zakona.²⁸ Također, njegov rad otvorio je vrata za kasnije fizikalne interpretacije kretanja nebeskih tijela, označivši ključan korak prema modernoj znanosti. U konačnici, Johannes Kepler svojim je radom preoblikovao astronomiju odbacujući zastarjela načela i uveo nova pravila, koja su se pokazala matematički točnima i ključnima za razvoj kasnijih fizikalnih teorija. Njegovo napuštanje postulata jednolikog kružnog gibanja predstavlja prekretnicu koja je označila kraj jednog razdoblja u povijesti astronomije i početak novog, u kojem su precizna promatranja i fizikalna objašnjenja počela zauzimati središnje mjesto u razumijevanju svemira.

²⁶ Dadić, Ž., *Razvoj matematike*, Zagreb, Školska knjiga, 1975.; str. 141.-142.

²⁷ Ibid., str. 142.145.

²⁸ Ibid.



Slika 4 - Keplerov planetarni model

6. Galileo Galilei

Galilei je dao važan doprinos razvoju i razumijevanju astronomije, iako nije do kraja razvio mehaniku gibanja planeta. Usmjerio se na traženje empirijskih dokaza za heliocentrični sustav, koristeći teleskop kako bi promatrao nebeske objekte. Njegova opažanja, poput kretanja Jupiterovih satelita i Venerinih faza, pružila su značajnu potporu Kopernikanskom sustavu. Uočio je da Venera prolazi kroz različite faze, od tanke srpaste do gotovo punog kruga, slično kao i Mjesec. Prema Ptolemejevom modelu, gdje se Venera kreće u epicikličkoj orbiti oko Zemlje, takav raspon mijena ne bi bio moguć. Uz faze, odnosno mijene, također je primijetio da se prividna veličina Venere mijenja tijekom njezine orbite. Venera je najveća kada je najbliža Zemlji, što se događa kada je u srpastoj fazi, dok je najmanja kada je najudaljenija od Zemlje, što se događa kada je gotovo potpuno osvijetljena. Ovo otkriće, osim što je bilo jedno od prvih snažnih empirijskih dokaza za heliocentrični model svemira, pružilo je nedvojbeni dokaz protiv Ptolemejevog geocentričnog sustava.²⁹

Galileo je tako ne samo pridonio razvoju astronomije svojim otkrićima već je i transformirao samu znanost u disciplinu koja se temelji na promatranju, eksperimentu i empirijskim dokazima. Njegov rad bio je ključan korak prema modernom razumijevanju svemira i načina na koji znanstvena spoznaja napreduje.



Slika 5 - Galilejev teleskop

²⁹ Dadić, Ž., Razvoj matematike, Zagreb, Školska knjiga, 1975.; str. 139.-141.

7. Isaac Newton

Isaac Newton, jedan od najvećih znanstvenika svih vremena, svojim je radom u dinamici i fizici napravio revoluciju u načinu na koji razumijemo svemir. Newtonova teorija opće gravitacije i njegovi zakoni gibanja pružili su fizikalno i kauzalno objašnjenje astronomskih fenomena, ukidajući dotadašnju razliku između sublunarnog i supralunarnog svijeta.

Newton je svoju teoriju gravitacije prvi put predstavio u djelu *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, poznatijem kao *Principia*. Ova knjiga, koja je temelj moderne fizike, uvela je univerzalne zakone gibanja i gravitacije koji su omogućili objašnjenje kretanja nebeskih tijela s preciznošću dotad neviđenom u povijesti znanosti. Opća gravitacija, kako ju je on definirao, objašnjava da svako tijelo u svemiru privlači svako drugo tijelo silom koja je proporcionalna masama tih tijela i obrnuto proporcionalna kvadratu njihove međusobne udaljenosti. Ova sila gravitacije jednako djeluje na sva tijela, bez obzira na to gdje se ona nalaze, na Zemlji ili u svemiru. Ovakav koncept univerzalnosti fizikalnih zakona bio je radikaln, jer je značio da ne postoji nikakva temeljna razlika između gibanja na Zemlji i gibanja u nebeskim sferama.³⁰

Newtonovi zakoni gibanja, koji uključuju zakon inercije, zakon akcije i reakcije te zakon ubrzanja pod djelovanjem sile, omogućili su razumijevanje kretanja nebeskih tijela kroz precizne matematičke izraze.

Prvi Newtonov zakon glasi ovako: "Svako tijelo ustraje u svome stanju, bilo mirovanja ili jednolikoga gibanja po pravcu, dok i ukoliko na njega ne djeluju sile koje ga prinude da to stanje promijeni."³¹ Ovaj zakon daje temelj za razumijevanje inercije, tj. svojstva tijela da zadrži svoje stanje gibanja ili mirovanja dok na njega ne djeluje vanjska sila. To znači da će se tijelo nastaviti kretati u istom smjeru i istom brzinom dok god na njega ne djeluju sile, ili će ostati u mirovanju ako nije pod utjecajem sile. Zakon inercije bio je revolucionaran jer je napustio aristotelovsko shvaćanje da je za održavanje gibanja potrebna neprestana primjena sile.³²

³⁰ Dadić, Ž., *Razvoj matematike*, Zagreb, Školska knjiga, 1975.; str. 170.-172.

³¹ Dulčić A., *Mehanika*, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2012.; str. 60.

³² Ibid.

Drugi Newtonov zakon, često izražen kao $F = ma$ kaže: "Promjena količine gibanja proporcionalna je djelovanju sile u vremenu i zbiva se u smjeru te sile."³³ U osnovi, ako se na tijelo primijeni sila, ono će se ubrzavati s brzinom koja je proporcionalna veličini te sile, a obrnuto proporcionalna njegovoj masi. To znači da će objekti veće mase imati manje ubrzanje za istu primijenjenu silu, dok će objekti manje mase imati veće ubrzanje. Ovaj zakon je ključan za razumijevanje kretanja planeta, projektila, vozila, pa čak i čestica na subatomskom nivou, jer pokazuje kako se tijela gibaju pod utjecajem različitih sila.³⁴

Treći Newtonov zakon glasi: "Akciji se uvijek suprotstavlja jednaka reakcija; ili, djelovanja dvaju tijela jedno na drugo uvijek su jednaka po iznosu i usmjerena na suprotne strane."³⁵ Ovaj zakon znači da kada jedno tijelo djeluje silom na drugo tijelo, to drugo tijelo djeluje na prvo jednakom silom u suprotnom smjeru. Primjerice, kada odgurnemo zid, mi osjećamo silu koja nas gura unatrag. Ovaj zakon nije samo relevantan za svakodnevne interakcije, poput hodanja ili vožnje, već je također ključan za razumijevanje kako planeti, zvijezde i druga nebeska tijela međusobno djeluju gravitacijskim silama.³⁶

Newtonovi zakoni gibanja nisu samo puke matematičke formule, oni pružaju fizikalno-kauzalno objašnjenje zašto se tijela gibaju na način na koji se gibaju. Njegovi zakoni unijeli su u znanost koncept univerzalnih zakona koji djeluju svugdje u svemiru, kako na Zemlji tako i među nebeskim tijelima. Ovi zakoni omogućili su objašnjenje kretanja planeta, satelita, kometa i drugih objekata u svemiru kroz univerzalne fizikalne principe. Na primjer, Newton je pokazao da su zakoni koji upravljaju padom jabuke s drveta na Zemlji isti oni koji upravljaju kretanjem Mjeseca oko Zemlje ili Zemlje oko Sunca. Newtonova teorija gravitacije omogućila je objašnjenje i fenomena kao što su plime i oseke i kretanje kometa, čime je zaokružio fizikalno razumijevanje svemira.³⁷

Njegov rad predstavlja vrhunac znanstvene revolucije, prelazeći s opisivanja fenomena na njihovo kauzalno objašnjenje. Newtonov svemir bio je racionalan, uređen i predvidljiv, vođen zakonima koje je moguće razumjeti i matematički izraziti. Njegov doprinos nije samo promijenio astronomiju već je redefinirao samo razumijevanje prirodnog svijeta, postavljajući temelje za moderno znanstveno istraživanje, koje je usmjereno na univerzalne zakone prirode i njihovu kauzalnu povezanost s fenomenima koje promatramo.

³³ Dulčić A., *Mehanika*, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2012.; str. 62.-65.

³⁴ Ibid.

³⁵ Ibid.; str. 65.

³⁶ Ibid.; str. 65.-67.

³⁷ Ibid.; str. 72.-73.

8. Zaključak

Povijest razvoja astronomije svjedoči o neraskidivoj vezi između promatranja, matematike i filozofije, koja je oblikovala naše razumijevanje svemira i prirodnih zakona. Promatranje nebeskih tijela je pružilo empirijske temelje za kasniji razvoj astronomskih teorija.

Matematički modeli omogućili su precizno predviđanje kretanja nebeskih tijela, dok su filozofska načela osigurala širi okvir za interpretaciju i razumijevanje tih fenomena. S druge strane, epistemološka načela, poput indukcije i dedukcije, bila su ključna za validaciju astronomskih teorija kroz promatranja i matematičke modele. Metafizika je pružala konceptualni okvir za razumijevanje nebeskog savršenstva i uređenosti, dok je epistemologija usmjeravala način na koji su se te teorije razvijale i kako su se njihovi zaključci opravdavali.

Ovaj rad pokazuje kako je povijest astronomije od antike do Newtona primjer sinergije između različitih disciplina, kao što su empirijsko istraživanje, matematika i filozofija, koja je omogućila duboko razumijevanje svemira. Svaka od tih disciplina pridonijela je cjelovitom pogledu na svemir, gdje su promatranja služila kao polazište, matematika kao alat za precizno modeliranje, a filozofija kao okvir za interpretaciju i konceptualizaciju prirodnih zakona. Kroz ovu sintezu disciplina, znanstvena zajednica je uspjela oblikovati razumijevanje svemira koje nije samo matematički točno, već i duboko ukorijenjeno u fizikalnoj stvarnosti.

9. Sažetak

Rad nudi pregled razvoja astronomije od antičkih vremena do sedamnaestog stoljeća, i to posebno s obzirom na ulogu koju su u tom razvoju imali matematika i filozofija (metafizika i epistemologija).

U prvom su dijelu rada izložena postignuća antičke astronomije, pri čemu je posebno izdvojen Aristotelov i Ptolemejev doprinos. K tomu, istaknuta su i osnovna načela, problemi, metode i distinkcije karakteristične za antičku astronomiju: postulat jednolikog kružnog kretanja, problem retrogradnih kretanja planeta, metoda spašavanja fenomena, dioba svemira na sublunarno i supralunarno područje te razlika između matematičke i fizikalne astronomije. Ukratko je analizirana i filozofska pozadina tih načela, problema, metoda i distinkcija.

U drugom je dijelu rada ukratko izložen razvoj astronomije tijekom srednjega vijeka, s posebnim naglaskom na distinkciju između matematičke i fizikalne astronomije.

Završni odsjecci rada posvećeni su Koperniku, Kepleru, Galileju i Newtonu. Kad je o Koperniku riječ, posebna je pozornost posvećena problemu shvaća li Kopernik svoj heliocentrični sustav samo kao matematičku ili ujedno i kao fizikalnu astronomiju. Što se Keplera tiče, istaknuto je njegovo napuštanje postulata jednolikog kružnog kretanja. U vezi s Galilejem, istaknuta je važnost njegovih promatranja i otkrića teleskopom, posebno njegovo otkriće Venerinih mijena. Na koncu, kad je o Newtonu riječ, istaknuta je ključna uloga njegove mehanike, koja je rezultirala posve novim shvaćanjem nebeskih tijela i njihovih kretanja, tj. radikalno novom astronomijom (kako u fizikalnom, tako i u matematičkom pogledu), u kojoj ne samo da je napušten postulat jednolikog kružnog kretanja i Ptolemejev geocentrični sustav nego je i tradicionalna fizika zamijenjena radikalno novim shvaćanjem sile, koje je neizbježno učinilo diobu svemira na sublunarno i supralunarno područje neodrživom, rezultirajući tako posve novom slikom svemira.

Ključne riječi: postulat jednolikog kružnog kretanja, problem retrogradnog kretanja planeta, metoda spašavanja fenomena, sublunarno i supralunarno, matematička i fizikalna astronomija.

10. Abstract

The paper provides an overview of the development of astronomy from ancient times to the seventeenth century inclusively, especially with regard to the roles played by mathematics and philosophy (metaphysics and epistemology) in that development.

In the first section of the paper, the achievements of ancient astronomy are presented, with special attention being paid to Aristotle's and Ptolemy's contribution to its development. In addition, the fundamental principles, problems, methods and distinctions characteristic of ancient astronomy are foregrounded: the postulate of uniform circular motion, the problem of the retrograde motion of the planets, the method of saving the phenomena, the division of the universe into the sublunar and the supralunar regions, and the difference between mathematical and physical astronomy. The philosophical background of these principles, problems, methods and distinctions is briefly analysed.

In the second section of the paper, the development of astronomy during the Middle Ages is briefly presented, with special emphasis given to the distinction between mathematical and physical astronomy.

The final sections of the paper are dedicated to Copernicus, Kepler, Galileo, and Newton. When it comes to Copernicus, special attention is paid to the problem of whether Copernicus understands his heliocentric system only as mathematical or also as physical astronomy. As for Kepler, his abandonment of the postulate of uniform circular motion is highlighted. As to Galileo, the importance of his telescopic observations and discoveries, especially his discovery of the phases of Venus, are emphasised. Finally, when it comes to Newton, the key role of his mechanics is foregrounded, which resulted in a completely new understanding of celestial bodies and their movements, i. e. in a fundamentally new astronomy (both in physical and mathematical terms), in which not only the postulate of uniform circular motion and Ptolemy's geocentric system were abandoned, but also traditional physics was replaced by a radically new understanding of force, which inevitably rendered the division of the universe into the sublunar and the supralunar regions untenable, thereby resulting in a completely new picture of the universe.

Keywords: the postulate of uniform circular motion, the problem of the retrograde motion of the planets, the method of saving the phenomena, the sublunar and the supralunar, mathematical and physical astronomy.

11. Literatura

- Bodnar, I., *Aristotle's Natural Philosophy*, The Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2023. - <https://plato.stanford.edu/entries/aristotle-natphil/>
- Cordero, N.-L., *Parmenides' Thought: A New Way of Looking at His Theory of Being*, 2011., *Phronesis*, 56(1) -<https://plato.stanford.edu/entries/parmenides/>
- Dadić, Ž., *Razvoj matematike*, Zagreb, Školska knjiga, 1975.
- Dijksterhuis, E. J., *The Mechanization of the World Picture*, Oxford University Press, 1969.
- Dulčić A., *Mehanika*, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2012. - https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/Mehanika_Dulcic%5B2%5D.pdf
- Kokić, T., *Pregled antičke filozofije*, Zagreb, Naklada Breza, 2015.
- Kuhn, Thomas S. *The Copernican Revolution*. Harvard University Press, 1957. - <https://fpa2014.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/01/kuhn-thomas-s-the-copernican-revolution.pdf>
- Neugebauer, Otto, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Springer-Verlag, New York, Berlin Heidelberg, 1975. - https://archive.org/details/ahistoryofancientmathematicalastronomypt1oneugebauer1975_932_G/page/n2/mode/1up
- Relja, H., *Tomistička filozofija*, Zagreb, Leykam international, 2021.

12. Popis priloga

Slika 1 – Aristotelova slika svemira: Dadić, Ž., *Razvoj matematike*, Zagreb, Školska knjiga, 1975.; str. 75.

Slika 2 – Geocentrični sustav iz Ptolomejeva *Almagesta*:
<https://pages.uoregon.edu/jschombe/glossary/ptolemy.html>

Slika 3 – Kopernikov matematički model gibanja planeta: Dadić, Ž., *Razvoj matematike*, Zagreb, Školska knjiga, 1975.; str. 125.

Slika 4 – Keplerov planetarni model: https://www.researchgate.net/figure/Keplers-model-of-the-Solar-system_fig3_288835739

Slika 5 – Galilejev teleskop: <https://hdl.huntington.org/digital/collection/p15150coll2/id/1786/>

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FILOZOFSKI FAKULTET

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

kojom ja MARGARETA Mučić, kao pristupnik/pristupnica za stjecanje zvanja sveučilišnog/e prvostupnika/ce POVIJESTI I FILOZOFIJE, izjavljujem da je ovaj završni rad rezultat isključivo mojega vlastitoga rada, da se temelji na mojim istraživanjima i oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio završnog rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da nije prepisan iz necitiranoga rada, pa tako ne krši ničija autorska prava. Također izjavljujem da nijedan dio ovoga završnog rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Split, 16. 9. 2024.

Potpis



Izjava o pohrani i objavi ocjenskog rada
(završnog/diplomskog/specijalističkog/doktorskog rada - podcrtajte odgovarajuće)

Student/ica: MARGARETA MUČIĆ

Naslov rada: FILIZOFIJA I ASTROMIJA OD ANTIČKIH

Znanstveno područje i polje: VREMENA DO NEWTONA
FILIZOFIJA

Vrsta rada: ZAVRŠNI RAD

Mentor/ica rada (ime i prezime, akad. stupanj i zvanje):
PROF. DR. SC. ĐARIO ŠKARIĆ

Komentor/ica rada (ime i prezime, akad. stupanj i zvanje):
DR. SC. GABRIELA BAŠIĆ HANŽEK

Članovi povjerenstva (ime i prezime, akad. stupanj i zvanje):
PROF. DR. SC. TONČI KOKIĆ
DOC. DR. SC. IGOR HANŽEK

Ovom izjavom potvrđujem da sam autor/autorica predanog ocjenskog rada (završnog/diplomskog/specijalističkog/doktorskog rada - zaokružite odgovarajuće) i da sadržaj njegove elektroničke inačice u potpunosti odgovara sadržaju obranjenog i nakon obrane uređenog rada.

Kao autor izjavljujem da se slažem da se moj ocjenski rad, bez naknade, trajno javno objavi u otvorenom pristupu u Digitalnom repozitoriju Filozofskoga fakulteta Sveučilišta u Splitu i repozitoriju Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu (u skladu s odredbama Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti (NN br. 119/22).

Split, 16. 9. 2024.

Potpis studenta/studentice: Mučić