

Математичка гимназија

МАТУРСКИ РАД
из предмета астрономије

**Астрономија
од Коперника до Кеплера**

Ученик
Анђела Костић, 4д

Ментор
Слободан Спремо

Београд, мај 2017.

Садржај

Кратак преглед историје астрономије пре Коперника	3
Коперник и хелиоцентрични систем	6
<i>Биографија</i>	6
<i>Мали коментар</i>	7
<i>О обртању</i>	8
Тихо Брахе и астрономска мерења	10
<i>Живот у младости</i>	10
<i>Откриће супернове</i>	10
<i>Брахеов дворца</i>	11
<i>Брахеова мерења</i>	11
<i>Брахеов систем света</i>	12
Јохан Кеплер и елипсе	13
<i>Живот у младости</i>	13
<i>Космичка мистерија</i>	13
<i>Кеплер и Брахе</i>	15
<i>Нова астрономија</i>	15
<i>Харомоније света</i>	16
Галилео Галилеј и одбрана хелиоцентризма	17
<i>Живот у младости</i>	17
<i>О кретању</i>	18
<i>Закон слободног пада</i>	18
<i>Параболична путања</i>	18
<i>Астрономска посматрања</i>	18
<i>Телескоп</i>	19
<i>Звездани гласник</i>	20
<i>Два система света</i>	20
<i>Две нове науке</i>	21
Литература	22

Кратак преглед историје астрономије пре Коперника

- Око 4000 (?) г.п.н.е.
Најстарија забележена астрономска посматрања (Египат)
- Око 3000 г.п.н.е.
Први писани радови из области астрономије (Египат, Кина, Месопотамија)
- 2697. г.п.н.е.
Први сачувани траг помрачења Сунца (Кина).
- Око 2000 г.п.н.е.
Први лунисоларни календари у Египту и Месопотамији.
Светилиште у Стоунхенџу (Енглеска)-једна од претпоставки је да је његова намена била предвиђање астрономских појава попут помрачења Сунца и Месеца.
Прва нацртана сазвежђа од астронома.
- 1375. г.п.н.е.
3. мај – Најстарији писани доказ о помрачењу Сунца. На глиненој плочици откривеној у древном граду Угарит (Сирија) налази се овај датум али га неки аутори читају и као 5. март 1223. г.п.н.е.
- Око 800 г.п.н.е.
Кинески и Корејански дворски астрономи су посматрали Сунчеве пеге, написали су књиге о томе и направили астролошке таблице.
- 470. г.п.н.е.
Демокрит је веровао да је Млечни пут сачињен од великог броја звезда.
- 6. век п.н.е.
Питагора и Талес из Милета су веровали да је Земља округла.
- Око 330. г.п.н.е.
Аристотелово дело „О небу“. Аристотелов наследник на челу Лицеја, Андроникус из Самоса је направио класификацију Аристотелових дела. У групи „Филозофија природе“ налази се књига „О небу“. У овом делу се разматра природа небеских тела и њихових кретања. Сматрао је да су она сачињена од петог елемента-етра, непроменљивог и вечног, и неразорива су. Небо је једно, сферно и коначно са Земљом у центру. Кретање небеских тела се своди на кретање кругова и сфера за које су причвршћена.
- Око 280. г.п.н.е.
Аристарх са Самоса је сугерисао да се Земља окреће око Сунца (хелиоцентрични систем), али је он одбачен у корист Аристотеловог и Птоломејевог геоцентричног система. Дао је прву процену удаљености Земље од Сунца (дело „О величинама и удаљеностима“).

- Око 240. г.п.н.е.
Ератостен из Кирене (данас Shahhat у Либији) тачно је измерио обим Земље користећи астрономске разлике у географској ширини суседних градова Суене (данас Асуан) и Александрије.
- Око 129. г.п.н.е.
Хипарх је открио прецесију равнодневице и направио први звездани каталог. Имао је око 950 најсјајнијих звезда. По сјају је поделио звезде у шест категорија.
- Око 100. г.п.н.е.
Кинези су развили прецизан 135–годишњи циклус помрачења Месеца.
- 45. г.п.н.е.
По саветима египатског астронома Сосигена, у Римском царству је уведен Јулијански календар (чисти соларни).
- Око 140. г.н.е.
Птоломеј из Александрије је представио геоцентрични систем у свом делу у 13 књига "Megale matematike syntaxis" („Велики математички састав“), познатијем по свом арапском преводу "Al-magiste", латинизованом у "Almagestum" („Алмагест“). У овом делу је поставио теорију да планете имају сложено кретање. Планета се сталном брзином креће по малој кружници (епициклу), а центар епицикла се креће по другој, већој кружници (деференту). Само су Сунце и Месец имали такве епицикле који не доводе до петљи, већ кружницу претварају у овалну, издужену криву.
- 185. г.н.е.
Кинески астрономи су посматрали експлозију супернове.
- 635. г.н.е.
Кинески астрономи су открили да је реп комета увек окренут од Сунца.
- 9 – 11. век
Снажан развој арапске и персијске астрономије (звездане карте и каталози, кретања планета и Месеца, боља процена величине Земље и побољшања календара).
- 813. г.н.е.
Калиф ал–Ма`мун основао је у Багдаду школу астрономије. Велика Птоломејева збирка је преведена на арапски језик.
- 900. г.н.е.
Кинези и Арапи су посматрали велики метеорски пљусак. Изгледало је као да долазе из сазвежђа Лава, па се данас називају Леониде.
- 903. г.н.е.
Персијски астроном 'Абд ал–Рахман ал–Суфи је нацртао свој каталог звезда. Описао је прву спиралну галаксију у сазвежђу Андромеда. До половине 18. века знало се за само 3 галаксије.

- 968. г.н.е.
Посматрајући помрачење Сунца, византијски историчар Лео Диацонус по први пут је уочио сунчеву корону и у свом спису "Annales Sangallenses" дао је нејасну интерпретацију њене природе.
- 1128. г.н.е.
8. децембар – Калуђер Јохан од Ворцестера у својој „Хроници“ први пут је нацртао сунчеве пеге.
- 1178. г.н.е.
Група енглеских монаха је посматрала ударац метеорита у Месец. О томе су писали у "Chronicle of Gervaise of Canterburu".
- 1054. г.н.е.
Кинески и корејски астрономи су посматрали супернову у сазвезђу Бика (остаци те експлозије виде се данас као маглина у сазвезђу Рака (M1). Била је 20 пута сјајнија од било које друге звезде на небу, а видљива је била и дању. У Европи нема трагова томе догађају али изгледа да су појаву посматрали и индијанска племена Мимбрес из Новог Мексика.
- 1066. г.н.е.
Први пут је посматрана велика комета, данас позната као Халејева.
- 1120. г.н.е.
Почело се са градњом прве исламске опсерваторије у Каиру.
- 1259. г.н.е.
Познати персијски астроном Насир ал–Дин ал–Туси саградио је своју Марагха опсерваторију. Његов патрон је био монголски владар Хулагу.
- 1428. г.н.е.
У Самарканду је монголски принц Улугх–бег, унук освајача Темерлана, саградио велику опсерваторију на 3 спрата. Направио је звездану мапу са 3.000 звезда и таблице планета које су биле најбоље у свету тог времена.

На развој астрономије у Европи и стварање окружења за хуманизам и ренесансу утицало је неколико фактора:

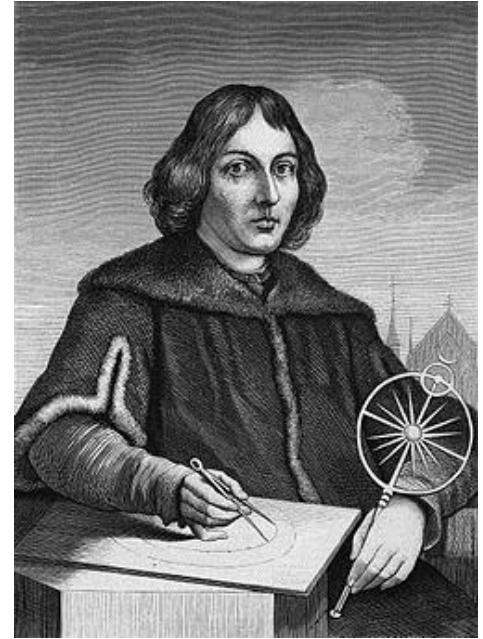
1. Пад Византије (1453)- Мехемед Други Освајач је заузео Цариград због чега је велики број учених Грка напустио Византију и отишао у Италију. Тада су са собом донели књиге, што је било изузетно значајно јер је Византија (Источно Римско Царство) била наследница тековина античке Грчке.
2. Откриће штампарске машине (1450)- Када је Гутенберг направио штампарску машину књиге су се лакше и брже правиле и постале много доступније. Тако је опао утицај цркве јер више није могла да контролише проток идеја и знања.
3. Откриће Америке (1492)-Прекоокеанска трговина је захтевала развој морепловства што је довело до техничког усавршавања инструмената за навигацију.

Коперник и хелиоцентрични систем

Биографија

Коперник је рођен у Торунју (Пољска, град на Висли, отприлике на пола пута између Варшаве и Гдањска), а већи део живота је провео у епископском кнежевству у Вармији (мало кнежевство источно од Гдањска).

Име му је било Миколај, а на универзитету где је званични језик био латински, латинизовао га је у Никола (Nicolaus Copernicus). Бригу о његовом образовању преузео је његов ујак Лукаш Ваценроде, епископ у Вармији, пошто је Коперников отац страдао у епидемији лепре кад је Копернику било десет година. То је утицало на Коперникову везаност за цркву. Претпоставља се да је нижу школу завршио у Торунју, а средњу у Влоцлавеку, где му је ујак живео као каноник пре него што је постао епископ.



Никола Коперник (1473-1543)

Коперник је завршио опште студије у Кракову, канонско право је студирао у Болоњи, а медицину у Падови, после чега је докторирао на канонском праву у Ферари.

Није остало пуно података о студијама, тако да се не зна да ли је на Коперника имао утицај астроном Алберт Брудувски, који је остао локално забележен, углавном као добар предавач, без неког доприноса астрономији.

Прва историјски доказана веза Коперника с астрономијом регистрована је у Болоњи, где је асистирао професору астрономије Новари (Domenico Maria de Novara, 1454-1504), с којим није трбало да име уске везе с обзиром да је студирао канонско право. Новара, иако активни астроном, остао је забележен по погрешној идеји. Одређујући географске ширине неколико градова, нашао је да се оне разликују од Птолемејевих вредности и закључио је да се пол покренуо за $1^{\circ}10'$ у односу на те градове.

Забележено је и да је млади Коперник, поред астрономије, учио и грчки језик. Грчки није био потребан будућем канонику, али је астроному био изузетно користан. Већ у Болоњи је примећена Коперникова бивалентност. Он је водио два супротстављена живота, јавни и приватни, један подређен цркви и други посвећен науци. Као тридесетогодишњак се вратио у Вармију и постао каноник. Помагао је

ујаку и био његов секретар за све послове. Након смрти ујака, живот је организовао у два смера, с једне стране служио је цркви као њен виши административни функционер, а с друге стране је развио идеју хелиоцентризма која је била неприхватљива цркви. Катедрала у којој је Коперник боравио била је опасана кулама, а једну од њих је претворио у своју опсерваторију. Заузетост црквеним обавезама утицале су да Коперник нема више од 70 астрономских мерења. Такође је био изолован од осталих астронома, због чега није имао такмичарског подстрека за прецизнијим мерењима. Упркос финансијским могућностима, инструменте није куповао, већ их је сам правио и били су испод нивоа тада бољих инструмената у Европи. Због великих грешака мерења, Коперник је морао да се ослони на стара мерења (да подсетимо да се у александријско време мерило са прецизношћу од 5 минута, што је било доста прецизније од Коперникових мерења), али лоша страна је што су неке грешке са временом расле. Срећом, за оно што ће Коперник урадити није била потребна велика прецизност мерења.

Мали Коментар

Коперник је 1515. године написао „Кратак преглед хипотеза Николе Коперника о кретањима на небу”. Нађена су три примерка Малог коментара-у Бечу 1877, у Стокхолму 1881. и последњи у Великој Британији.

Мали коментар се састоји од увода и седам кратких поглавља у којима се дају, без извођења, подаци о броју кругова потребних за описивање кретања планета.

У уводу је критиковао Птоломеја и његове савременике за увођење мноштва небеских сфера да би сачували принцип равномерности у објашњењу видљивих кретања звезда. Стари Грци су сматрали да слагањем неколико равномерних кретања звезда, посматраних с неке тачке изгледа као да се неравномерно крећу.

То је требало да задовољи и идеју о равномерном кретању тела по круговима и мерења која су показивала да се тела не крећу равномерно. Коперник је сматрао да би се то могло објаснити помоћу мањег броја сфера, ако се оне усагласе са његовим аксиомама. Он је одбацио Птоломејеве екванте¹ и вратио се епициклима² који су били сложенији. У овоме није био управу, али у наставку текста, у својим аксиомама, увео је хелиоцентричност:

- 1. Не постоји један центар за све небеске орбите или сфере.*
- 2. Центар Земље није центар света, него само центар теже и центар Месечеве путање.*

¹ Еквант је увео Птоломеј јер му је геометријски одговарао. Земља се налази изван центра круга, а, с друге стране, на истој удаљености од центра налази се геометријска тачка – еквант, у односу на коју се центар епицикла равномерно креће, по њему се равномерно креће небеско тело.

² Епицикл је комбинација два круга. Земља је у центру круга (деферента), по коме се равномерно креће центар другог круга – епицикла, дуж којег равномерно кружи небеско тело.

3. *Све сфере крећу се око Сунца, које се налази у средини света, тако да се око Сунца налази центар света...*
4. *Сва кретања која се примећују на небеском своду не припадају њему већ Земљи...*
5. *Сва кретања Сунца која примећујемо нису својствена њему већ припадају Земљи и нашој сфери, с којом се заједно вртимо око Сунца као и свака друга планета...*
6. *Привидна, права и повратна кретања планета нису њихова већ Земљина. На тај начин, само њено кретање довољно је да објасни већи број видљивих неправилности на небу.*

Ове аксиоме нису нешто што следи из недостатака равномерности и центрзма, већ најаву за Коперниково кључно дело.

Коперник је имао само једног ученика Георга Јоахима фон Лаухена, познатијег по латинском имену Ретик. Студирао је у Цириху, Витенбергу, Нирнбергу и Гетингену и имао је само двадесет две године кад је постао професор математике на универзитету у Витенбергу. Заинтересовала га је идеја хелиоцентризма и, упркос противљењу Лутера, отишао је да посети Коперника (1539) и с њим је остао две године. Ретиков долазак сматра се историјским јер без њега Коперникова књига највероватније не би била објављена.

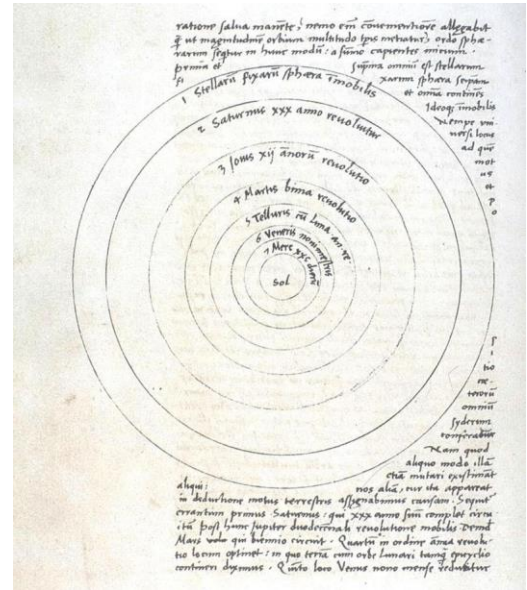
Сам Коперник је оклевао да објави књигу, скривајући се иза традиције Питагорејаца да откривене тајне природе остају унутар братства и не откривају јавности. На крају су одлучили да се књига не објави, већ да Ретик напише писма о књизи свом професору астрономије Јохану Шонеру.

Ретик је 1539. написао „Први приказ“ ("Narratio prima")-приказ Коперниковог рукописа. Написао је добар увод у Коперниково дело, истичући предности хелиоцентризма. При томе је бранио и хвалио Коперника. Први приказ је заинтересовао јавност и имао повољан ефекат. То је охрабрило Коперника да пристане на штампање свог капиталног дела „О обртању“ 1543. године.

О обртању

У делу, Коперник је био доста привржен „Алмагесту“, од општег прилаза и распореда излагања по књигама до детаља који важе у оба прилаза. Имао је намеру да минимизира разлике. Све што је обрађено у „Алмагесту“, Коперник је обрадио и у свом делу. У неким деловима, у којим се слаже са Птолемејем, дословно га је превео. Дело је поделио у шест књига, баш као што је и „Алмгест“. У првој књизи је изнео своје постулате и принципе:

1. Свет има облик сфере-тај облик је најсавршенији, с највећим капацитетом
2. Земља је такође сферног облика-јер се са свих страна ослања на свој центар
3. Кретање небеских тела је равномерно, вечно, кружно, или сложено од кружних кретања-У овоме је Коперник био конзервативнији и од Птолемеја
4. Да ли кружно кретање одговара Земљи? О њеном месту-Изнео је рационалан аргумент да пошто се планете виде ближе или даље од Земље, из тога следи да она не може бити у центру њихових кругова.



Хелиоцентрични систем у Коперниковом рукопису

5. Зашто Земља није непокретна у центру света-Коперник је рекао да привид дневног окретања може припадати небу, а да се у ствари Земља креће, аналогно са осећајем кад испловљавамо из луке да се копно и лука крећу, а не ми.
6. О центру света-Пошто Земља више није центар света, одбачено је Аристотелово објашњење теже и Коперник је смислио ново. Написао је да је тежа локална особина небеских тела, али делује појединачно не и између небеских тела. Она одржава Сунце, Месец и друге планете округлим.
7. О редоследу небеских сфера- Сматрао је да Сунце треба сместити у средину, јер је то најбоље место за извор светлости одакле може све да осветли. Редослед планета је засновао на временима њиховог обиласка зодијака.

Коперников свемир је остао аристотеловски, али су Земља и Сунце заменили места. Велика предност његовог модела је што природно објашњава две аномалије геоцентризма: зашто планете праве петље и зашто је брзина дуж еклиптике неравномерна. Код Птолемеја није постојао прави планетарни систем, док се код Коперника он природно намеће.

Коперник је умро непосредно после штампања свог дела, тако да је избегао казну цркве. Ђордано Бруно, италијански песник и филозоф који је подржавао Коперниково учење, имао је другачију судбину. Након осмогодишњег тамницења због богохуљења, неморалног понашања и јереси, на шта га је осудила црква, 17. фебруара 1600. осуђен је на спаљивање на ломачи.

Коперник је скренуо пут астрономије у нови систем, али ће тек са Тихом Брахеом, Кеплером и Њутном астрономска револуција бити потпуна.

Тихо Брахе и астрономска мерења

Живот у младости

Родио се 1546. у данској аристократској породици. Са 14 година је пошао на Универзитет у Копенхагену и породица је намеравала да Брахе постане државник.

Оно што је пресудно утицало на Брахеов живот било је помрачење Сунца које се десило кад је Брахе завршио прву годину факултета.

Био је фасциниран прецизношћу предвиђања када ће се десити помрачење и одмах је почео сам да чита књиге из астрономије. Купио је књиге и инструменте и обилазио је универзитете у Витенбергу, Роштоку, Базелу и Аугсбургу и са 26 година се вратио у Данску.



Тихо Брахе (1546-1601)

Откриће супернове

Брахе је 11. новембра 1572. уочио нову звезду (сазвежђе Касиопеја).

Била је светлија од Венере кад је у најјачем сјају. У новембру је звезда била најсјајнија, у децембру је почела полако да се гаси. Пре овога, једини забележени сличан случај је била нова звезда коју је уочио Хипарх 125. г.п.н.е.

Тада се поставило питање да ли нова звезда има паралаксу или не.

Ако нема паралаксе и ако се не креће, онда то није сублунарна појава, као што би требало да буде нешто што је променљиво, по Аристотеловом учењу. Брахе је то утврдио помоћу инструмената који су превазилазили све што су други имали.

Нова звезда је припадала сфери непокретних звезда што је било у супротности са Аристотеловим учењем.

Брахе је 1573. објавио књигу „О новој звезди“ („De nova stella“) у којој је описао своје инструменте и резултате мерења. Након ове књиге Брахе је постао веома цењен. Од данског краља Фредерика добио је на коришћење мало острво Хвен близу Копенхагена заједно са платом, приходима од становника острва и посебним средствима намењеним изградњи Брахеовог посебног замка.

Брахеов дворца

Дворац се звао Ураниборг по Уранији, музи астрономије. У подруму је била алхемијска лабораторија, штампарија и затвор за непослушне острвљане.

У приземљу су биле библиотека и собе за становање. На првом спрату су биле две краљевске собе око којих су биле осматрачнице. На другом спрату је било осам соба за асистенте и студенте. У дворцу је постојао систем жица и звонаца којима је Брахе могао да позива своје сараднике и цеви са топлем водом чега још није било ни у Лувру. Поред Ураниборга, налазио се Стјернеборг (Звездани дворца) који је имао просторије под земљом, а на површини су биле куполе што је умањивало утицај ветра и осталих извора вибрација на мерења.

У овом дворцу Брахе је провео 20 година.



Стјернеборг

Брахеова мерења

Брахе је унапредио мерења на три начина:

- 1. Прецизност мерења је побољшао увођењем финијих нишана и повећањем димензија за шта су били потребни бољи материјали и конструкције.*
- 2. Средњом вредношћу више мерења Брахе је заменио дотадашњи мање прецизан начин да се од неколико мерења исте величине одабере оно које изгледа најбоље. Брахе је имао на располагању више инструмената и мерача што му је омогућило да уочи и отклони могуће систематске грешке, карактеристичне за одређени инструмент или мерач.*
- 3. Континуелно мерење истог тела је кључна иновације без које би се тешко прешло с круга на елипсу малог ексцентритета. Захваљујући овоме Кеплер је за путању Марса уместо три имао на располагању 12 тачака.*

Брахеова мерења су имала грешку мању од четири лучна минута.

Брахе је 1577. направио серију мерења једне комете, и открио да се она креће даље од Месеца (а не између Земље и Месеца), што се противило Аристотеловом учењу, и да путања није кружна већ овална, што се такође противило грчким догмама. Било је пуно дискусија о овој комети, па је и Галилео изнео своје мишљење у књизи *Расправе о кометама*. Галилео је напао Грасија³ који је тврдио да је путања комете кружна, али је и сам направио велику грешку-комету је дефинисао не као небеско тело, већ као пару од које се одбија Сунчево светло и да се креће по правој линији.

Брахе је измерио положај 777 звезда и започео рад на планетама када му се придружио Кеплер.

Брахеов систем света

Брахе је прихватио Хераклидов⁴ систем да се око Сунца креће пет планета, а они сви заједно око Земље. Коперников систем је одбацио на основу аргумената о паралакси да се може мерити с прецизношћу од једног минута. Брахеов систем је одговарао цркви јер се Земља не креће, а објашњавају се варијације сјаја Венере (што је Галилео прихватио као аргумент за Коперникову теорију).

³ Орацио Граси је био професор математике на Римском колеџу

⁴ Хераклид је био грчки филозоф коме се приписују тенденције ка геоцентричном моделу са хелиоцентричним аспектима

Јохан Кеплер и елипсе

Живот у младости

Кеплер је рођен 1571. у градићу Вајлу (Will der Stadt) у покрајини Виртемберг. Црква је школовала сиромашног, али талентованог Кеплера. Након основне школе на латинском, отишао је на богословију, коју је завршио са седамнаест година. Затим је завршио Филозофски факултет у Тибингену и отишао на Теолошки факултет. Пре краја факултета добио је место професора Протестантске школе у Грацу. Предавао је математику, а бавио се и астрологијом-правио је годишње календаре астролошких предвиђања. Кеплер није имао формално образовање из математике због чега је у свом раду почео од питагоријских бројева и облика, правио пропорције бројева, пропорције њихових квадрата, тражења подударности облика и њихових комбинација...



Јохан Кеплер (1571-1630)

Космичка мистерија

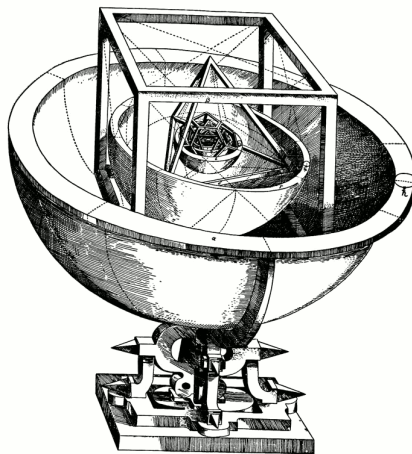
Своју прву књигу објавио је са двадесет пет година, 1596. Наслов књиге је „Претходница космичких расправа, која садржи космичку мистерију прекрасних пропорција између небеских орбита и истините и праве разлоге за њихов број, величине и периодична кретања“. Књига даје одговоре на питања која су мучила Кеплера-зашто планета има само шест, зашто су удаљености и брзине планета такве какве јесу. Интензивно, али безуспешно је тражио одговоре на ова питања, почевши од поређења удаљености планета од Сунца с целим бројевима.

Право надахнуће му је дошло кад је на табли нацртао троугао, па у њега уписао један круг, а око њега други круг. Однос спољашњег круга према унутрашњем му се учинио сличним као однос путања Сатурна и Јупитера. Помислио је да је Сатурн прва спољна планета, а троугао прва, најпростија фигура у геометрији.

„Одмах сам покушао да у наредни интервал између Јупитера и Марса упишем квадрат, а између Марса и Земље пентагон...“. Тако је добио релативне односе полупречника путања (које је сматрао кружним), али кад их је упоредио са емпиријским подацима, није добио слагање. Тада је помислио да путање у простору немају дводимензионалне, већ тродимензионалне облике.

Кеплер је узео правилна геометријска тела-Платонова тела.

По дефиницији имају све стране једнаке, свако тело се може уписати у сферу и сфера се може описати око њега. Платонових тела има пет. Кеплер их је слагао једно у друго тако да је споља најједноставније-тетраедар, па се у њега ставља коцка, а између њих је сфера око које је спољно тело описано, а унутрашње уписано. Ако се тако настави и ако се око тетраедра опише сфера цео систем има шест концентричних сфера. Релативни односи полупречника ових сфера приближно се слажу са односима удаљености планета (једино је Сатурн одступао, али томе Кеплер није дао нарочито значаја јер је Сатурн најдаљи и ништа га од споља не одређује). Овако је Кеплер нашао одговор на два од своја три питања-зашто планета има шест и зашто су удаљености такве какве јесу. Кеплер је дао нетачне одговоре на ова два питања, али је зато на треће питање-време обиласка планета-изненађујуће одговорио тачно. Одавно су већ била позната времена обиласка планета и кад се Сунце постави близу центра њихових путања рачун показује да што је планета удаљенија, њено време обиласка је дуже не само због дуже путање, већ и зато што се спорије креће. Кеплер је одатле тачно закључио: „Треба да прихватимо једну од две следеће поставке: или су покретачке душе утолико слабије уколико су удаљеније од Сунца, или има само једна покретачка душа у центру свих сфера, а то значи-Сунце. Та душа јаче покреће ближе планете, а слабије оне удаљене, због веће удаљености и слабљења силе. На исти начин, дакле, како се извор светлости налази у Сунцу и како се у њему, центру света, налазе центри сфера, тако од Сунца долази живот, кретање и душа света“. Кеплер је овим први рекао да Сунце покреће планете и то је био револуционарни закључак. Кеплеров модел је цео био погрешан, али битно је да је Кеплер поставио права питања на која ће касније дати тачне одговоре. За Кеплеров напредак били су важни финији обрачуни у којима је узео у обзир Птолемејев ексцентритет-Сунце није у центру путање, већ је мало удаљено од њега. Тада слагање Кеплеровог полиедарског модела више није добро са емпиријским подацима. Он је наставио да верује у свој модел, а почео да сумња у Коперникове податке. Због тога је хтео да дође до Тихо Брахеа и његових података.



Коперников полиедарски систем

Кеплер и Брахе

Сарадња ова два научника се показала као једна од најплодотворнијих у историји науке. Један другог су одлично допуњавали.

Брахе је од цара Рудолфа Другог добио на коришћење замак Бенатек (35 километра североисточно од Прага). Ту му се 4. фебруара 1600. придружио Кеплер. Кеплер је дошао с намером да само добије потребне податке од Брахеа, али Брахе је Кеплера укључио у план посматрања планета и Кеплер је добио задатак да посматра Марс. Кеплер је прошао кроз Брахеову обуку мерења (који је био врло строг по питању грешака мерења) што се показало кључним за откриће елиптичне путање. Брахе је умро 24. октобра 1601. и убрзо је Кеплер именован за царског математичара и истраживања је наставио сам.

Нова астрономија

Кеплер је своје капитално дело објавио 1609. под насловом „Нова астрономија заснована на тражењу узрока или физика неба изведена из истраживања кретања звезде Марса заснована на посматрањима племенитог Тиха Брахеа“.

Књига је необична јер Кеплер није ништа прећутао, већ је описао целокупан пут доласка до решења проблема укључујући и лутања, грешке и властите реакције на њих. Кеплер је у свом делу исправио грешке Коперниковог система:

- 1. Сунце покреће планете због чега се налази у равни путање сваке планете, онда равни планета имају константан нагиб. Кеплер је измерио угао између Марса и Земље и добио да је $1^{\circ}50'$. Ово је разлика у односу на Коперника код кога су равни планета осцилирале.*
- 2. Кеплер је закључио да се брзина дуж путање мења у зависности од удаљености планете од Сунца. Тако је одбацио Коперникову тврдњу да је кретање планета равномерно.*

У задатку који је добио од Брахеа, требао је да одреди два основна астрономска параметра путање Марса. Прво је претпоставио да се планета креће по кругу. У том случају требао је да нађе праву која пролази кроз центар круга, Сунце, и тачке у којима се планета најбрже и најспорије креће и да одреди њену оријентацију у односу на фиксне звезде. Други параметар је био релативна удаљеност Сунца од центра круга-ексцентритет.

Податке је добио из десет Брахеових и два своја мерења Марса у положајима кад је могућа највећа прецизност. За израчунавања је требао да користи четири најпогоднија мерења. Међутим, Кеплер је имао велике потешкоће и рачун је поновио 70 пута. Кад је на крају добио најбоље решење, показало се да оно одговара тачкама на главној (апсидној) линији, онима које су највише и најмање удаљене од Сунца, као и бочним тачкама које су на 90 степени од главне линије.

На четири тачке које су под углом од 45 степени у односу на главну линију грешка је била осам лучних минута. Кеплер није био задовољан овом грешком што се показало као пресудан тренутак, јер да је прихватио грешку не би открио да је путања планета елипса, а не круг. Због тога, Кеплер је кружну путању узео као помоћну хипотезу коју ће унапредити.

Знао је да је на апсидним положајима брзина планета обрнуто сразмерна удаљености од Сунца. То је генерализовао за целу путању, међутим то би било тачно да је путања кружна и да је Сунце у њеном центру. Како ексцентричност није велика, није добио ни велику грешку. Кеплер је користио нетачно правило о инверзној пропорционалности брзина за проверавање путања планета. Поделио је путању на 360 делова и узимао је да је време за које планета пређе један степен обрнуто сразмерно њеној удаљености од Сунца. Ако сабере степен по степен, могао је да пореди да ли се путања креће по његовој кривој исто како показују мерења. Кеплер је даље написао: „Пошто сам знао да на ексцентричном кругу постоји бесконачно много тачака, па према томе и бесконачан број радијус вектора, дошла ми је на памет идеја да је сума радијус вектора садржана у површини орбите. Јер, сетио сам се да је на исти начин Архимед поделио површину круга на бесконачан број троуглова“. Ако би то било тачно добио би се закон површина, али сабирањем линија не може да се добије површина.

Кеплер је без доказа и преко две грешке (пропорционалност брзине и сабирања линија) поставио закон: „Време преласка дела путање сразмерно је површини коју прелази радијус вектор“.

Кеплер је свој закон обрнуте пропорционалности између растојања и даљине сматрао тачним, а он је био приближан. За закон површина није знао да је тачан само за елипсу, не и за било коју криву.

До елипсе је стигао на основу два закона и података мерења. Из нумеричких података је закључио да треба да напусти круг и пређе на јајасту криву. У потрази за симетријом, са јајасте криве је прешао на криву која се добија тако што се од круга исеку два танка полумесеца. Није још увек знао да је то елипса. Затим је нашао једначину своје криве. На крају је закључио да је путања елипса и да је Сунце у жижи.

Кеплерове законе су користили само астрономи док се није појавио Њутн и открио њихов општи физички смисао. Трећи Кеплеров закон је објавио 1618. у књизи Хармоније света.

Хармоније света

Трећи Кеплеров закон је дат у петој књизи, као пропозиција број 8 у поглављу Главне пропозиције астрономије, потребне за испитивање небеских хармонија и гласи: „Однос између периода ма које две планете тачно једнак $3/2$ потенције средњих удаљености“. Кеплер, за разлику од претходне књиге, није објаснио како је дошао до закона. Највероватније га је добио тражећи односе различитих потенција.

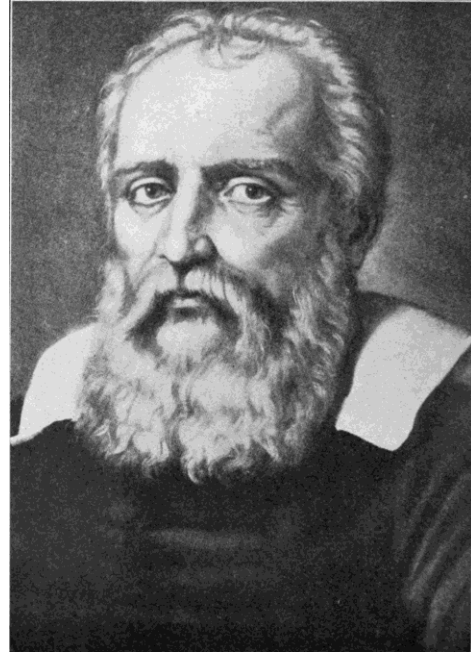
Галилео Галилеј и одбрана хелиоцентризма

Живот у младости

Галилео је рођен 15. фебруара 1564. у Пизи.

Отац га је учио математику, цртање и музику.

Средњу школу је завршио у манастиру у Валамбрози, близу Фиренце. У јесен 1581, на инсистирање оца, започео је студије медицине у Пизи. Није био заинтересован за медицину, а дела Галена и Аристотелове природњачке књиге је сматрао погрешним. За Галилеово опредељење за науку, пресудан је био сусрет са Ричијем, математичарем тосканског двора. Године 1583. слушао је његова предавања и заинтересовао се за Еуклидову геометрију. Почео је сам да је изучава.



Галилео Галилеј (1564-1642)

Ричи је приметио његов таленат, али Галилеов отац није допустио Галилеу да напусти медицину и студира математику. Галилеј је напустио универзитет у Пизи 1585, не завршивши студије медицине.

Није имао формално образовање из математике, био је самоук што се и одразило на његово дело. У својој 25. години, постао је професор математике на Универзитету у Пизи, што је необично с обзиром на то да на том истом универзитету пре четири године није завршио своје студије.

О кретању

За време свог боравка у Пизи написао је књигу „О кретању“, која је била намењена његовим студентима као уџбеник али није објављена. Ова књига је значајна само због тога што нам открива Галилеове почетне грешке, а тако можемо закључиити колико је његов каснији властити допринос био велик. Разматрајући пад тела, закључио је да ће у вакуму однос брзина бити сразмеран односу тежина тела.

За упоређивање брзине пада дрвета и олова, написао је да ће дрво у почетку брже падати, али да ће га олово престићи. Све је ово касније доказао погрешним. Након Пизе, отишао је на универзитет у Падови.

Закон слободног пада

У Падови, 1604. године дошао је до закона слободног пада. Низ стрму раван малог нагиба ($1,7^\circ$), направљену од даске дуге два метра са избушеним каналом по средини, пуштао је куглице. Дуж канала, постављао је препреке од жице због којих је куглица поскакала и ударала. Слушао је ритам удара и померао препреке тако да буде исти временски интервал између свака два удара. Добио је да су растојања између препрека квадратно расла. До детаљног објављивања закона у делу

„Две науке“ прошле су 34 године. Бацање куглица са кривог торња у Пизи је само непотврђена легенда.

Параболична путања

Његово друго значајно откриће је параболична путања (1608). Пуштао је куглицу дуж косе равни да се убрза и да настави кретање по равном делу стола, а затим је посматрао како куглица пада на под и на коју даљину, у зависности од убрзања. Закључио је да се куглица креће по параболи, али и ово откриће није објавио 30 година.

Астрономска посматрања

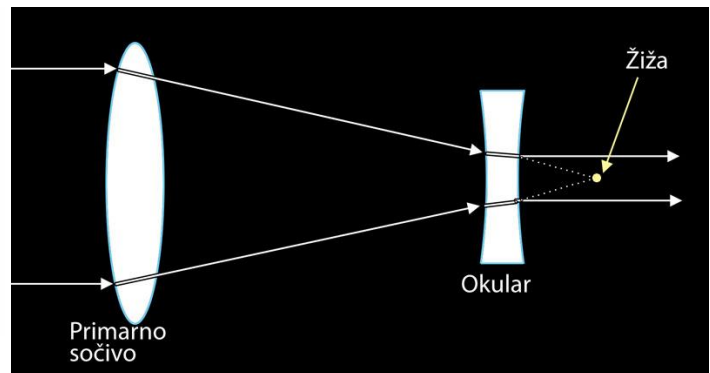
Астрономске карте су предвиделе сусрет Марса и Јупитера 8. октобра 1604, због чега су многи астрономи посматрали небо. Сусрет је закаснио један дан, али је близу места сусрета уочена нова веома светла звезда, светлија од Јупитера.

Галилео који се раније није активно бавио астрономијом, постао је веома заинтересован за ову звезду. Он је знао да је ова звезда била изазов Аристотеловом систему. Након посматрања звезде, подржан од групе астронома, тврдио је да нова звезда није између Месеца и Земље, као што би било по Аристотелу.

Држао је три јавна предавања на ову тему, која је слушало више од хиљаду људи.

Телескоп

Први телескоп су 1608. конструисали холандски мајстори. Ханс Липершеи (Hans Lippershey) пријавио је патент за откриће телескопа, али је одбијен јер су сличне инструменте пријавили и други оптичари Захарије Јансен (Zacharias Janssen) и Јакоб Метијус (Jacob Metius). Галилео је сазнао за ово откриће 19. јула 1609, током своје посете Венецији, и одмах је почео да прави свој телескоп, почевши од сочива за наочаре. Убрзо је схватио да треба да бруси стакла са већом конкавношћу. Кад је постигао увећање од осам пута, однео је свој телескоп у Венецију, где су угледни грађани са звоника цркве Светог Марка гледали бродове који долазе, два сата раније пре него да се виде голим оком.



Ускоро је успео да конструише телескоп са увећањем од 20 пута.

Направио је стотинак телескопа које је делио утицајним људима на власти.

Кеплер је тражио један, али га је Галилео одбио не схвативши да му је Кеплер могао бити моћан савезник.

Конструкција телескопа је била једноставна. То је била цев на чијем је једном крају било конвексно, а на другом конкавно сочиво. Прво је објектив, односно примарно сочиво које служи да сабере што више светла од посматраног објекта, а друго је окулар где се путања зрака усмерава како би отишла ка оку посматрача.

Телескоп је имао доста мана. Имао је хроматску и сферну аберацију, стакла су му због лоше технологије брушења била пуна ситних пукотина те су расејавала прикупљено светло.

Са Галилеом астрономија је ушла у телескопски период који траје већ 400 година.

Звездани гласник

Помоћу свог телескопа у Јануару 1610. открио је Јупитерове сателите.

Назвао их је Медичијевим звездама. Немачки астроном, Симон Мариј дао је имена Галилеовим сателитима-Ија, Европа, Ганимед и Калисто у свом делу „Свет Јупитера“ (Mundus Jovialis) 1612.

Галилео је описао неравнине на Месецу, нове звезде у познатим сазвежђима и тврдио је да је Млечни пут сатављен од много слабо видљивих звезда.

Сва своја открића објавио је у књизи Звездани гласник. Велики успех књиге донео му је положај кнежевог математичара на двору Медичијевих.

Брзо су се јавили и Галилеови противници који су му замерали следеће:

- 1. Брда и долине на Месецу су показала да нема разлике између Земље и небеских тела. Месеца није глатка сфера чему су се противили аристотеловци.*
- 2. Јупитерови сателити су показали да није тачно старо веровање да је Земља центар света око које круже сва друга тела, већ постоје кружења и око других тела.*
- 3. Звезде које су се виделе само телескопом противиле су се старом веровању да су звезде створене ради човековог уживања.*

Галилеј је наставио посматрање неба и 1610. је посматрао фазе Венере.

То га је уверило у тачност Коперникове хипотезе и о томе је обавестио Кеплера.

За време своје посете Риму уочио је Сунчеве пеге и то објавио у облику три писма „Писма о сунчевим пегам“.

Два система света

Два система света је једно од два капитална Галилеова дела. Пун назив му је било „Дијалог Галилеа Галилеја Линчејца ванредног математичара студија у Пизи, и филозофа и првог математичара Његове Висости Великог војводе Тосканског, где се током четири дана дискутује о два главна система света, Птоломејевом и Коперниковом, предлажући неодређено разлоге из Филозофије и Природе колико за један, толико и за други“.

Књига је написана као дијалог три лица: Салвијатија, Сагрета и Симплиција. Салвијати излаже мишљење Галилеа, Сагрета предствља заинтересованог аматера којег треба убедити и Симплиције заступа гледишта Аристотела.

Садржај књиге је подељен на четири дана.

У „Првом дану“ расправља се о Аристотеловој космологији и физици. Галилео овде описује своја посматрања Месеца, Сунчевих пега и звезда.

„Други дан“ је посвећен дискусији релативности кретања Земље. Релативност је први разматрао Никола Оремски, затим Ђордано Бруно. Галилео се надовезао на Ђордана Бруна. Већи део „Другог дана“ је посвећен релативности и отуда назив галилејевска релативност.

„Трећи дан“ упоређује два система Птоломејев и Коперников. Галилео је игнорисао Кеплерове елипсе и претпоставио да се планете крећу по круговима у чијем центру је Сунце.

У „Четвртом дану“ Галилео излаже своју погрешну хипотезу о плими и осеци као доказу кретања Земље, поново игноришући Кеплера који је раније изнео хипотезу о плими и осеци као последици утицаја Месеца.

Књига је наишла на осуду цркве. Инквизициона комисија је закључила да Галилео Коперниково учење није третирао као хипотезу, већ је апсолутно подржавао кретање Земље, погрешно му приписујући плимину и осеку.

Осуђен је 22. маја 1633:

- 1. Забрањена су „Два система света“*
- 2. Галилео се морао одрећи Коперниковог учења*
- 3. Осуђен је на формални затвор у времену колико је одредио папа*
- 4. Током следеће три године морао је једанпут недељно да понови седам покајничких псалма.*

Захваљујући утицају својих пријатеља унутар и изван цркве, Галилео је доста комотно живео у кућном притвору. Спремао је ново дело.

Две нове науке

И ово дело је написано као дијалог троје личности, истих као у претходном делу, кроз четири дана. Сваки дан је посвећен једној теми. У овој књизи Галилео је коначно записао свој закон слободног пада и да се коси хитац креће по параболи. Он је до својих закључака дошао емпиријски и изложио их је углавном квалитативно. Наука ће сачекати Њутна да математички формулише законе.

Литература

1. *Великани физике*, Милорад Млађеновић, Природно математички факултет Нови Сад
2. *Историја астрономије*, https://hr.wikipedia.org/wiki/Povijest_astronomije
3. *Пет најславнијих телескопа у историји*,
http://static.astronomija.org.rs/instrumenti/Slavni_telaskopi/Slavni_telaskopi.htm
4. *Астрономија*, <https://www.britannica.com/science/astronomy/The-techniques-of-astronomy#toc314010>
5. *Чија је револуција? Коперник, Брахе и Кеплер*,
<https://www.loc.gov/collections/finding-our-place-in-the-cosmos-with-carl-sagan/articles-and-essays/modeling-the-cosmos/whose-revolution-copernicus-brahe-and-kepler>
6. *Кратка хронологија астрономије*,
<http://static.astronomija.org.rs/nauke/istorija/astronomija/1.htm>