

## 2. Zgodovina astronomije – začetki sodobne znanosti

Astronomija je ena najstarejših temeljnih znanosti. Skozi vso zgodovino človeštva je astronomija imela globok vpliv na kulturo, religijo in silovit izraz človeškega razuma. Začetek razvoja sodobne astronomije je tudi začetek sodobne znanosti. Skozi njen zgodovinski potek je mogoče videti snovanje znanstvene metode proučevanja. Zgodovinski potek razvoja astronomije prikazuje osnovne znanstvene metode proučevanja, na katerih temelji vsa sodobna znanost.

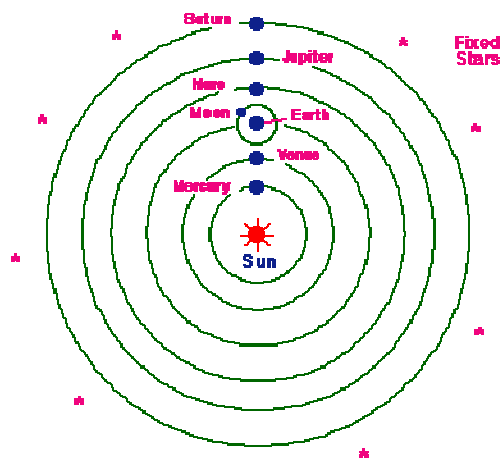
V zadnjih desetletjih je astronomija močno napredovala. Pred sto leti smo se komajda zavedali obstoja naše Galaksije. Danes vemo, da naše vesolje sestavlja več milijard galaksij, in da je nastalo pred približno 13,7 milijardami let. Pred sto leti nismo vedeli, da obstajajo še druga osončja v vesolju. Danes poznamo več kot 300 planetov, ki se gibljejo okrog drugih zvezd v naši domači Galaksiji in se približujemo razumevanju nastanka življenja. Pred sto leti smo preučevali nebo z optičnimi teleskopi, človeškim očesom in fotografskimi ploščami. Danes opazujemo vesolje z Zemlje in nad njo, pri čemer uporabljamo vrhunsko digitalno tehnologijo in tudi človeškemu očesu nevidne valovne dolžine.

Same začetke sodobne astronomije so najbolj zaznamovale štiri osebnosti, katerih delo je na kratko opisani v nadaljevanju. Vsak od njih je prispeval delček znanstvenega pristopa k razumevanju sodobnega vesolja. V tistem času je bilo razumevanje astronomije povezano s ptolemejsko (po astronomu in matematiku Ptolemeju) in aristotelsko (po filozofu Aristotelu) teorijo. Obe sta temeljili na trditvi, da je Zemlja središče vesolja (geocentrični sestav). V tistem času sta astronomija in astrologija sodili skupaj, čeprav je znano, da Kepler sam v zanesljivost svojih astroloških napovedi ni kaj prida verjel.

### 2.1. Nikolaj Kopernik

Nikolaj Kopernik (1473 – 1543) se je rodil na Poljskem in je najprej študiral matematiko in optiko na krakovski univerzi, nato še cerkveno pravo v Bologni. Tam je spoznal astronoma Domenica Mario de Novara in pri njem študiral. Italijan ga je usmeril k predmetu, ki se mu je najbolj posvetil. Doštudiral je medicino v Padovi in v Ferrari dobil še diplomu iz cerkvenega prava. Stric Lukasz Watzenrode, ki je kmalu potem postal škof v Warmii, mu je priskrbel mesto kanonika v Fromborku. Na škofijskem uradu se je poleg tega ukvarjal še z medicino.

Kopernik, ki je s stolpiča fromborške katedrale s prostim očesom opazoval nebo, je prišel do ugotovitve, da Zemlja ni središče vesolja. Menil je, da je Sonce bližje središču vesolja, kot prikazuje slika 3. S tem je pojasnil dnevno kroženje Zemlje po osi in letno okoli Sonca. To je bila za versko in znanstveno srenjo tistega časa zelo radikalna trditev. Leta 1514 je napisal Komentarček o modelih za gibanje neba s sedmimi načeli teorije, ki je zaupno krožil med peščico prijateljev in sodelavcev.



Slika 3: Kopernikov model vesolja

Istega leta je sodeloval v komisiji petega lateranskega koncila o reformi koledarja. Cerkvene oblasti so se namreč zavedale, da koledar, ki je bil tedaj v uporabi, ni pravilen. Nasvet so poiskali pri Koperniku, saj je bil tisti čas avtoriteta za astronomska vprašanja. Kopernik jim je odgovoril, da njegova

preučevanja niso dovolj dognana, da bi si upal spremeniti sistem. Takrat je pisal prelomno knjigo o teoriji heliocentričnega sistema (da je središče sestava Sonce). Ker bi imela teorija tako teološke kot znanstvene posledice, nas ne sme čuditi, da se jo je bal objaviti.

Za določanje verskih praznikov, na primer velike noči (prvo nedeljo po prvi spomladanski polni Luni), so bila nujna astronomska preračunavanja, pa tudi poznavanje položaja posameznih planetov. S tedanjim geocentričnim modelom jih je bilo težko ugotoviti, s Kopernikovim heliocentričnim sistemom pa veliko lažje. Naposled je Kopernikova knjiga izšla z naslovom »O kroženju nebesnih teles«, katero je posvetil papežu Pavlu III., toda šele luteranski učenjak Georg Joachim von Landen - Rheticus ga je prepričal, da jo objavi.

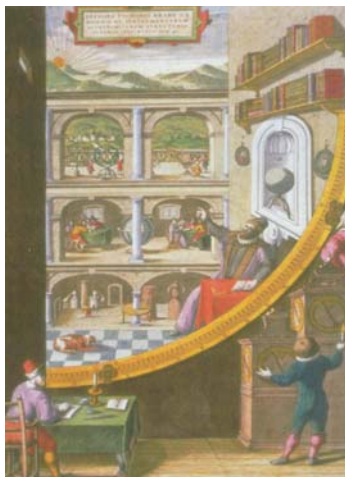
Tiskanje je zaupal Andreasu Osianderju, ki se je ponudil, da napiše predgovor, s katerim bi bila knjiga bolj sprejemljiva za Cerkev. V njem je zapisal, da dognanja niso predstavljena kot resnica, temveč so namenjena le poenostavljenemu preračunavanju. Dokončno kopijo dela so Koperniku menda izročili na smrtni postelji leta 1543, in dodatka morda sploh ni opazil.

Nasprotovanje Cerkve se je izkazalo šele leta 1616, ko je Galilej v svojih spisih omenil Kopernikovo delo. Knjigo »O kroženju nebesnih teles« je Cerkev uvrstila na seznam prepovedanih knjig in jo z njega črtala šele leta 1835.

## 2.2. Tycho Brahe

Tycho Brahe (1546 – 1601) je bil danski astrolog in astronom. Brahe je študiral pravo in filozofijo na univerzah v Københavnu in Leipzigu. Ponoči je opazoval zvezde. Samo z globusom brez dobrih inštrumentov in z nekaj kompasi je uspel najti precej napak v standardnih astronomskih tabelah. Odločil se je, da jih popravi.

Kralj Danske in Norveške Friderik II. je ponudil Braheju sredstva za izgradnjo in opremo astronomskega observatorija na otoku Venu. Brahe je sprejel predlog. Leta 1576 so začeli graditi grad Uranienborg, »trdnjavo neba«, ki ga prikazuje slika 4. V lastni delavnici je za observatorij izdelal inštrumente, ki še niso imeli leč, zato so morali biti veliki, da so omogočali natančno merjenje. Njegov znameniti zidni kvadrant premera 3 m je imel ločljivost že 100" in je bil osnova za Keplerjeve zakone za gibanje Marsa in ostalih planetov, vendar eliptičnega gibanja planetov še ni zaznal. Brahe je opravil mnoge meritve v Osončju in premeril je več kot 700 zvezd. Po smrti Friderika II. leta 1588 mu je Friderikov naslednik Kristian IV. odvzel vse prihodke.



Slika 4: Observatorij, ki ga je uporabljal Tycho Brahe.

Leta 1597 je Brahe zapustil Dansko in se naselil v Pragi. Observatorij na Danskem je uničilo vreme, otoški kmetje pa so raznesli ostanke, tako da so ostali samo temelji. Brahe je postal astronom carja Rudolfa II., kateremu je kot astrolog delal horoskope. Rudolf II. mu je podaril pokojnino 3.000 ducatov in posestvo blizu Prage, kjer naj bi zgradil novi Uranienborg, vendar je prej umrl. Brahe ni nikoli popolnoma sprejel Kopernikove teorije. Zavzemal se je za svojo teorijo. V njegovem sestavu naj bi 5 tedaj znanih planetov krožilo okoli Sonca, ki naj bi skupaj s planeti krožil okoli Zemlje. Krogla zvezd naj bi krožila okoli nepomične Zemlje enkrat na dan. Čeprav je bila njegova teorija napačna, so

njegova natančna astronomska merjenja po smrti koristila Keplerju za odkritje svojih treh zakonov gibanja planetov. Kepler, ki je bil Brahov pomočnik od leta 1600 do Brahove smrti, je izdal njegovo glavno delo »Astronomiae instauratae progymnasmata«.

### 2.3. Johannes Kepler

Johannes Kepler (1571 – 1630) je bil po rodu Nmec, sin poklicnega vojaka in gostilničarjeve hčere. Za nadaljevanje očetovega poklica je bil nesposoben, ker je že kot otrok zbolel za kozami, ki so mu pohabile roke in oslabile vid. Namenili so ga za duhovniški poklic, toda že med študijem je pokazal več zanimanja in daru za matematiko kot za teologijo, zato je postal matematik, astronom in astrolog. Danes je Kepler najbolj poznan kot astronom, in sicer po zakonu gibanja planetov (ti celo nosijo njegovo ime), čeprav tudi njegova matematična odkritja niso nepomembna.

Pri Keplerju se pogosto spregleda bralcu takoj očitno dejstvo, da je bil odličen pisatelj, ki je napisal prvo znanstveno fantastično zgodbo (Somnium – govori o možu, ki je v sanjah potoval na Mesec). Morda prav zaradi tega nihče ni zavrgel njegovih pisem in drugih rokopisov. Kako stoletje po učenjakovi smrti jih je ruska cesarica Katarina II. zbrala in shranila na zelo primernem mestu, v zvezdarni Pulkovo. O Keplerju torej vemo veliko.

Bil je zelo veren mož. V svojih delih se neprestano sklicuje na Boga in razumevanje božjih del se mu je zdela krščanska dolžnost, saj je verjel, da človek, narejen po božji podobi, lahko razume stvarnikov kozmos. Seveda pri določenih predpostavkah. Kepler je bil namreč – podobno kot Pitagora – prepričan, da je Bog ustvaril vesolje po nekakšnem matematičnem načrtu. Zato naj bi bila matematika zanesljiva metoda odkrivanja zakonitosti naravnega sveta. Nekateri menijo, da je bil Kepler velik mistik. Morda res, toda mistik skrajno racionalne, matematične vrste.

Vesolje, ki ga je Kepler spoznal v šoli, je bilo seveda ptolemejsko. Vseh sedem »planetov« (Luna, Merkur, Venera, Sonce, Mars, Jupiter in Saturn) se v njem vrti okoli Zemlje. Vendar je takšno vesolje pravo matematično sračje gnezdo in Keplerju, ki je krivoversko menil, da je naloga astronomov izmeriti planetne tire, ne pa o njih ugibati (oziroma preprosto verjeti, da so krožnice, kar je predlagala cerkev), se je zdel Kopernikov sistem s soncem v središču vesolja že ob prvem srečanju boljši. Zaradi takšnega mnenja nikoli ni bil posvečen v duhovnika in je bil navsezadnje celo izobčen skupaj z večjim delom evropskega prebivalstva, saj se v tedanjem času velikih nasprotji med katoliško in protestantsko cerkvijo izobčenju z ene ali druge strani skoraj ni dalo izogniti. V Kopernikovem vesolju je le šest planetov (in tudi Zemlja je eden izmed njih), Mesec pa zvrst astronomiji dotlej nepoznanega nebesnega telesa zemljinega satelita.

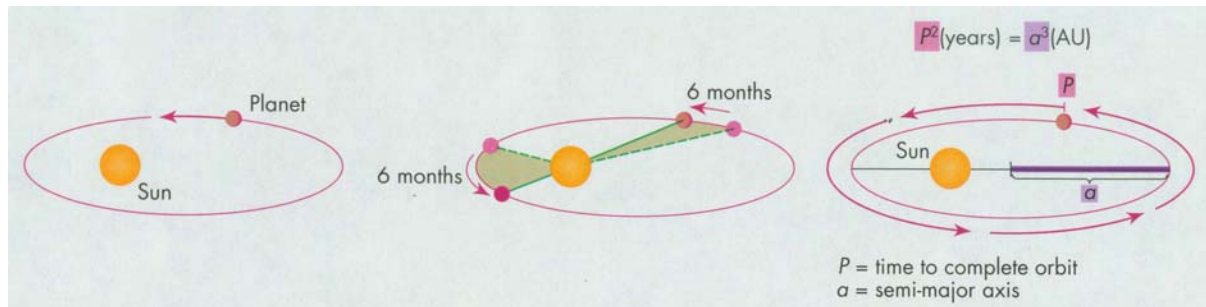
Z natančno analizo boljših astronomskih meritev, ki jih je dobil od Brahova, je po dolgotrajnem in napornem delu prišel do odkritij, ki jih danes imenujemo Keplerjevimi zakoni. Le-ti so grafično prikazani na sliki 5.

Po prvem od njih so tiri planetov okoli Sonca elipse, Sonce pa ne leži v središčih planetnih elips, temveč v enem od njihovih gorišč.

Drugi Keplerjev zakon pravi, da zveznica med Soncem in planetom opiše v enakih časih enake ploščine. Planet se v bližini Sonca giblje hitreje kot v večji oddaljenosti. Zakon je znan tudi pod imenom izrek o ploščinski hitrosti in velja na splošno za vsa centralna gibanja.

Tretji zakon pravi, da je količnik kvadrata siderične periode  $T$  in kuba velike polosi elipse  $a$  za vse planete enak.

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



Slika 4: Prikaz Keplerjevih zakonov.

Keplerjeve izkustvene zakone je mogoče izpeljati iz Newtonovega splošnega gravitacijskega zakona, kot je to prikazano v naslednjem poglavju. Kepler sam ni razumel, zakaj njegovi zakoni veljajo. Šele Newton je matematično pokazal, zakaj je temu tako.

**Primer:**

Izračunajte kolikokrat je razdalja Sonce-Jupiter večje od razdalje Sonce-Zemlja. Eno Jupiterjevo leto traja približno 12 Zemljinih let.

$$\frac{T_{Zemlja}^2}{a_{Zemlja}^3} = konst. = \frac{T_{Jupiter}^2}{a_{Jupiter}^3} \quad \Rightarrow \quad a_J^3 = \left(\frac{T_J}{T_Z}\right)^2 \cdot a_Z^3$$

$$a_J = \sqrt[3]{\left(\frac{12 \text{ let}}{1 \text{ leto}}\right)^2 \cdot a_Z^3} = \sqrt[3]{12^2} \cdot a_Z = \underline{\underline{5,24 \cdot a_Z}}$$

Keplerjevi zakoni ne veljajo le za gibanje planetov okoli Sonca, ampak splošno za kroženje lažjega telesa okoli dosti težjega telesa. Torej veljajo tudi za kroženje naravnega satelita (Lune) ali umetnih satelitov okrog Zemlje, kar je pomembno spoznanje za satelitske komunikacije.

Newton je uvidel, da je njegov tretji zakon v zvezi s tretjim Keplerjevim zakonom v obliki

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{\kappa(m_1 + m_2)} = konst.,$$

kjer imamo masi obeh teles in splošno gravitacijsko konstanto.

Ker ima satelit precej manjšo maso od Zemlje okrog katere kroži, tretji Keplerjev zakon zapišemo tako, da v njem nastopa težnostna konstanta Zemlje  $\mu$

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{\mu}$$

**Primer:**

Izračunajte periodo tirnice umetnega satelita, ki ima apogej na višini  $h_a=1500$  km nad zemeljsko površino in perigej na višini  $h_p=500$  km nad zemeljsko površino. ( $R_Z=6378$  km,  $\mu=3,986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$ ).

$$r_a = h_a + R_Z = \underline{7878 \text{ km}} \quad r_p = h_p + R_Z = \underline{6878 \text{ km}}$$

$$\text{velika polos elipse znaša } a = \frac{r_a + r_p}{2} = \underline{7378 \text{ km}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} = 2\pi \sqrt{\frac{(7378000 \text{ m})^3}{3,986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2}} = \underline{\underline{6307 \text{ s} = 105 \text{ min } 7 \text{ s}}}$$

Sateliti na različnih višinah nad zemeljskim površjem imajo različne obhodne čase. Torej z izbiro višine izberemo obhodni čas satelita, ki je potreben na želeno aplikacijo (satelitska telefonija, opazovanje Zemlje in njene atmosfere, distribucija televizijskih signalov, navigacija,..).

**Primer:**

Koliko znaša perioda tirnice umetnega satelita, ki potuje na povprečni oddaljenosti od Zemlje  $a=42163$  km. ( $R_Z=6378$  km,  $\mu=3,986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$ ).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} = 2\pi \sqrt{\frac{(42163000 \text{ m})^3}{3,986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2}} = \underline{\underline{86161 \text{ s} = 1 \text{ dan}}}$$

## 2.4. Galilei Galileo

Galilei Galileo (1564 – 1642) je bil italijanski fizik, matematik, astronom in filozof. Po končanih medicinskih študijah se je Galileo posvetil raziskovanju geometrije in Arhimedovih del in postal eden od največjih fizikov in astronomov. Bil je prvi po Arhimedu, ki je proučeval naravne pojave s poskusi.

Znan je postal leta 1586, ko je objavil podrobnosti o svojem izumu, hidrostatični tehtnici. Podal je zakone prostega pada, nihala in meta. Prosti pada je proučeval s pomočjo kotaljenja po klancu, pri čemer se gravitacijski pospešek zmanjša za sinus kota pod katerim je nagnjen klanec.

$$a = g \cdot \sin(\varphi)$$

Ker je za svoje poskuse potreboval natančno merjenje časa se je precej posvečal izdelavi nihala.

**Primer:**

Izračunajte dolžino nihala za stensko uro, kjer je zahtevan nihajni čas  $T=1$ s. ( $g=10 \text{ m/s}^2$ )

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$l = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \cdot g = \left(\frac{1 \text{ s}}{2\pi}\right)^2 \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}^2 \cdot 10 \text{ m/s}^2 = \underline{\underline{0,25 \text{ m}}}$$

Galilei Galileo je ovrgel Aristotelovo prepričanje, ki je bilo še tedaj v veljavi, da različno težka telesa padajo z različnimi hitrostmi. Proučeval je gibanje teles in ugotovil Galilejev zakon ali zakon o vztrajnosti, po katerem telo miruje ali se giblje premo enakomerno po premici s stalno hitrostjo, če nanj ne deluje nobena zunanja sila, kar pravi tudi 1. Newtonov zakon.

Leta 1592 je postal profesor matematike na Univerzi v Padovi, kjer je tudi dosegel večino pomembnih odkritij. Leta 1604 je dokazal, da se hitrost prosto padajočih teles enakomerno večja s časom ter pojasnil in matematično opisal gibanje izstrelkov po paraboli. Podal je Galilejevo transformacijo, ki prevede opis kakega pojava v danem inercialnem ali nepospešenem opazovalnem sistemu v opis tega pojava v drugem nepospešenem opazovalnem sistemu, gibajočem se glede na prvega.

Leta 1609 je prikazal izum daljnogleda na vrhu zvonika sv. Marka v Benetkah. Sestavil je svoj daljnogled in ga kot prvi uporabil za astronomska opazovanja. Daljnogled ima za objektiv zbiralno lečo in za okular razpršilno lečo s kratko goriščno razdaljo. Daje pokončno sliko. Daljnogled je razmeroma kratek in vidno polje je majhno. Uporabljamo ga le še kot operno kukalo. Daljnogled je leta 1608 verjetno iznašel Lippershey na Nizozemskem. Morda so v Španiji poznali daljnogled že nekaj deset let prej, a so ga zaradi izrednega pomena za plovbo ohranili v tajnosti. Z daljnogledom je Galilei odkril, da Rimska cesta razpade v ogromno število zvezd slabega sijaja in tako ovrgel številne legende o njenem nastanku, saj o njeni naravi do tedaj niso vedeli ničesar. V razsuti kopici Jasli (Praesepe), M44 je s svojim daljnogledom naštel 36 zvezd. Lunino površino je opazoval kot izbrazdano z dolinami in bregovi.

Leta 1610 je narisal še popolnejše karte Lunine površine od prvih, ki jih je leto poprej narisal Harriot. Galilei je podrobno opisal številne Lunine kraterje, planine in »morja«. Pozimi leta 1609 na 1610 je odkril 4 najsvetlejše Jupitrove lune, Io, Evropo, Ganimed in Kalisto, po njem imenovane Galilejeve satelite. Približno istočasno jih je opazil tudi Marij. Gibanje Jupitrovih satelitov je prepričalo Galileja, da ne krožijo vsa nebesna telesa okrog Zemlje, kot je bilo tedaj splošno veljavno mnenje. Odkril je Venerine mene in Sončeve pege. Napravil je znamenite prve skice Saturna, vendar njegov daljnogled ni imel dovolj moči in povečave, da bi sistem kolobarjev videl v pravi podobi. Verjel je, da je Saturn trojni planet, po dveh letih opazovanja pa kolobarja ni več opazil, ker je k Zemlji obrnil svoj rob. Svoja prva astronomska odkritja je objavil v delu Zvezdni glasnik (sel) (Sidereus nuncius) (1610). Na osnovi svojih opazovanj je Galilei predvideval, da je v središču gibanja Sonce, Zemlja pa kroži okrog njega kot vsi drugi planeti. Ker je podpiral Kopernikov sistem, ki je edini pravilen in resničen, je prišel v spor s cerkvenim naukom. Leta 1616 mu je inkvizicija prepovedala učenje, da se Zemlja vrti okoli Sonca in, da je Sonce središče sveta. Leta 1632 (1638) je v svojem delu Dvogovor o dveh glavnih svetovnih sestavih, Ptolemejevem in Kopernikovem (Dialogo Sopra I Due Massimi Sistemi Del Mondo, Tolemaico E Copernicano...) izdal svoj heliocentrični sistem, ki je bilo obsojeno kot heretično. Leta 1633 je bil v Rimu proces proti Galileju, ki je bil takrat v 70. letu življenja. Galilei se je moral javno odreči svojim nazorom in preživeti zadnja leta življenja v hišnem zaporu. Od leta 1757 so njegova dela spet dovoljena.

Galilejo Galilej je poslal toskanski nadvojvodini Kristini Lorenski pismo v katerem opozoril na zgrešenosti uporabo svetopisemskih citatov v znanstvene namene. Med drugim je zapisal tudi misel, ki jo je slišal od visokega cerkvenega dostojanstvenika: »Namen Svetega Duha je, da nas pouči o tem, kako se gre v Nebesa, ne pa kako gredo Nebesa.«