

## ***Razvoj astronomije***

Človeštvo opazuje in razlaga navidezno gibanje Sonca, Lune, planetov in zvezd že tisočletja in si je na osnovi periodičnosti tega gibanja izdelalo koledarje, s katerimi bi čim natančneje napovedalo čas pomembnih letnih dogodkov, npr. poplav Nila v starem Egiptu. Čutila so človeku ves čas zavajala, da miruje Zemlja in da vsa druga nebesna telesa krožijo okrog nje. Razen tega so ljudje na splošno mislili, da je Zemlja ploščata in ne okrogla. Nič čudnega, da se je moderna astronomija s pravimi pogledi na gibanje Zemlje, Sonca ter drugih planetov in zvezd do galaksij razvila šele v zadnjih stoletjih, razmeroma pozno glede na večtisočletna astronomska opazovanja. Za to je bil potreben velikanski miselni premik v glavah učenjakov, podobno kot za sprejetje Newtonovih zakonov gibanja, pozneje pa še manj naravno intuitivnih spoznanj in teorij (relativnostne teorije, kvantne mehanike, teorije kaosa, večdimenzionalnih modelov resničnosti, itd.).

Oglejmo si na kratko nekaj zanimivih misli starogrških učenjakov na področju astronomije, med katerimi so nekatere zadele resnico, druge pa ne. Glede na to, da takrat ni bilo na voljo toliko tehnike, da bi neposredno potrdili veljavnost mnogih trditev (marsikdaj temelječih na estetskih in vrednostnih merilih!), lahko ob pravilnih izjavah pravzaprav občudujemo intuicijo avtorjev. [Anaksimenes](#) (570 pr. n. št. – 500 pr. n. št.) je trdil, da Luna sama ne sveti, temveč le odbija Sončevo svetlobo. Vendar pa je imel Sonce, Zemljo in Luno za ploske tvorbe, ki lebdi v zraku. [Pitagora](#) (582 pr. n. št. – 497 pr. n. št.) je prisegal na števila kot osnovo vsega, kar obstaja. Trdil je, da je Zemlja okrogla in spoznal, da je navidezno gibanje Sonca, Lune in planetov drugačno kot pri zvezdah. On in somišljeniki (pitagorovci) so med drugim verjeli v številsko harmonijo gibanja nebesnih teles. Pitagorovec Filolaj (480 pr. n. št. – 400 pr. n. št.) je trdil, da je vesolje eno samo in okroglo, ker je 1 najboljše število, krogla pa najpopolnejše geometrijsko telo. Pitagorovec Hiket in Ekvant sta pravilno domnevala, da se Zemlja vrti okrog svoje osi in ne nebo okrog Zemlje. Nasprotno naj bi se po Platonu (427 pr. n. št. – 347 pr. n. št.) edino in okroglo vesolje vrtelo okrog Zemlje. [Heraklid ali Heraklit Pontski](#) (388 pr. n. št. – 310 pr. n. št.) je morda prvi pomislil na zanimivo, a napačno kombinacijo gibanja nebesnih teles: okrog Zemlje krožita Sonce in Luna, pet tedaj znanih planetov (Merkur, Venera, Mars, Jupiter in Saturn) pa okrog Sonca. Znameniti starogrški filozof [Aristotel](#) (384-322 pr. n. št.), [Platonov](#) učenec in učitelj [Aleksandra Velikega](#), je opozoril, da mora biti Zemlja okrogla, saj meče okroglo senco na Luno med Luninim mrkom. Sicer pa je bil tako kot drugi prepričan, da je Zemlja središče vesolja.

Eden od velikih mislecev je bil [Aristarh](#) (rojen 310 pr. n. št. na grškem otoku Samosu, umrl okrog 250 pr. n. št. v Aleksandriji), ki so ga zaradi domneve, da je Sonce središče vesolja (heliocentrični sestav) in ne Zemlja, obtožili brezboštva in izgnali iz Aten. Zamisel Aristarha, kako primerjati razdaljo med Zemljo in Soncem z razdaljo med Zemljo in Luno, je bila mojstrovina. Ko kaže Luna meno, ki je natančno polkrog, tvorijo Zemlja, Sonce in Luna pravokotni trikotnik. Kot  $\phi$  ob Zemlji je malo manjši od pravega kota. Takšen položaj se pojavi dvakrat v enem obhodu Lune okrog Zemlje: kot prvi in zadnji polkrožni krajec. Aristarh je ocenjeval, da poteče od prvega do zadnjega krajca 13 dni, od zadnjega do prvega pa 14 dni. Pri predpostavki enakomernega kroženja Lune okrog Zemlje in zanemarjenju gibanja Zemlje lahko izračunamo, da je kot  $\phi$  enak 87 stopinj. To da razmerje med hipotenuzo

Zemlja – Sonce in kateto Zemlja Luna okrog 20. Aristarh si je pomagal z risanjem ustreznega trikotnika, danes pa uporabimo kar kosinusno funkcijo. V resnici je razlika obeh period med polkrožnima krajcema samo ena ura in ne en dan, kot  $\varphi$  je precej bližje pravemu kotu in ustrezno razmerje oddaljenosti Sonca in Lune veliko večje, kot je ocenil Aristarh. Aristarhu te napake ne smemo zameriti, ker meritve niso preproste. Na osnovi dodatnih opazovanj, npr. Luninega mrka, pa je pravilno ugotovil, da je Sonce večje od Zemlje, ta pa od Lune, čeprav so bila njegova razmerja velikosti teh treh teles napačna. Zato je sklepal, da mora Zemlja krožiti okrog večjega Sonca, Luna pa okrog Zemlje! Pri nekaterih meritvah in izračunih, na primer pri računanju razmerja med polmeroma Zemlje in Lune na osnovi delnega Luninega mrka bi lahko bil Aristarh vseeno precej natančnejši: dobil je razmerje 2 namesto približno 4, kot je prava vrednost.

[Hiparh](#) (190 pr. n. št. – 120 pr. n. št.) je bil še prodornejši od Aristarha in ga imajo nekateri za največjega antičnega astronoma. Na primer, dobro je ocenil, da je razdalja Lune od Zemlje približno 60 Zemljinih polmerov. S primerjavo svoje zvezdne karte s predhodnimi je prišel do pomembnega spoznanja, da se Zemljina rotacijska os giblje po plašču stožca s periodo 26 000 let. Razvrstil je tudi zvezde po njihovi navidezni svetlosti v skupine od 1 do 6, kar ustreza današnjemu pojmu magnitude zvezd: zvezda z manjšo magnitudo je videti svetlejša. Zveza med magnitudo in fizikalno enoto gostoto svetlobnega toka je logaritemska. Podobno je z decibeli pri merjenju glasnosti zvoka. To se sklada s fiziognomijo naših čutil: tako za oko kot uho je značilen logaritemski odziv (občutek) na fizikalni intenziteto dražljaja (intenziteto ustreznega valovanja, vidne svetlobe ali zvoka merimo v enoti vat na kvadratni meter). Ugotovil je tudi majhno razliko v trajanju različnih letnih časov. Vztrajal pa je na geocentričnem pogledu, čeprav ga je glede na opazovanja kombiniral z rahlo ekscentričnostjo: po njegovem Zemlja ni točno v središču krožnice, po kateri se giblje Sonce.

Veliko pozneje je [Klavdij Ptolemej](#) (živel od okrog 85 do 170 v Aleksandriji) ustoličil geocentrični pogled na svet ali geocentrični sestav, po katerem naj bi tako Sonce in planeti kot vsa druga nebesna telesa krožili okrog mirujoče Zemlje. Sicer pa je Ptolemej v svoji zbirki 13 knjig z naslovom *Megale Mathematike Syntaxis* (Veliki matematični sestav) s kasnejšim arabskim prevodom *Almagest* podal temeljit pregled tedanjega astronomskega znanja. Za napačno pojmovanje vesolja ne smemo kriviti ne Aristotela ne Ptolemeja. Znanost in znanje se razvijata in med spoznavanjem prave resnice seveda delamo tudi številne napačne predpostavke, in če je sploh treba koga kriviti, je treba tiste, ki zakrivajo oči pred resnico, celo mnogo po tem, ko je bila razkrita črno na belem (npr. zanikanje Jupitrovih satelitov, ki jih je opazil Galilej skozi svoj daljnogled, zanikanje Darwinove teorije razvoja življenjskih vrst in podobno).

[Nikolaj Kopernik](#) (1473-1543) je po dolgem obdobju zakoreninjenega geocentričnega sestava v svoji knjigi *O kroženju nebeških krogel* podal heliocentrični pogled na svet. Za izid knjige je počakal na letnico svoje smrti, ker se je bal preganjanja zaradi svoje revolucionarne zamisli. Še dolgo potem niso sprejeli heliocentričnega sestava. Danski astronom in astrolog [Tycho Brahe](#) (1546-1601) je v svojem izpopolnjenem observatoriju na otoku Hveen (danes se imenuje Venu) opravil najnatančnejša opazovanja gibanja zvezd in planetov doslej. Njegova opazovalnica na otoku je bil grad Uranienburg – Trdnjava neba, ki ga je zgradil in opremil z denarno podporo kralja Danske in Norveške Friderika II. Delal je zelo sistematično in je opazoval okrog 700 zvezd. Lege planetov je lahko izmeril z natančnostjo 100 kotnih sekund

(to je okrog 1,5 kotne minute!) – s prostimi očmi, ker takrat še ni bilo teleskopov. Pomagal pa si je z velikimi mehanskimi napravami, kot so kvadranti. Brahe je s svojimi natančnimi opazovanji, posebno gibanja Marsa, omogočil Keplerjeva odkritja. Sam je sicer uvidel, da Ptolemejev opis sveta ne more biti zadovoljiv, vendar pa tudi ni zmogel sprejeti Kopernikovega nauka, da Zemlja ni središče vsega. Zato si je zamislil nekaj med Ptolemejevim in Kopernikovim opisom: Sonce in Luna naj bi krožila okrog Zemlje, tedaj znani planeti (Merkur, Venera, Mars, Jupiter in Saturn) pa okrog Sonca in s Soncem skupaj okrog Zemlje. Podobne zamisli so nastale že v stari Grčiji. Leta 1616, že v Galilejevem času, je Inkvizicija obsodila Kopernikove zamisli kot napačne in krivoverske ter njegovo knjigo *De revolutionibus orbitum coelestium* (O kroženju nebesnih teles) uvrstila na seznam prepovedanih knjig.

[Johannes Kepler](#) (1571-1630), nemški astrolog, astronom in matematik, je na osnovi natančnih astronomskih opazovanj predhodnikov, predvsem Braheja, ugotovil, da se planeti Osončja gibljejo okrog Sonca po eliptičnih tirih. Natančneje so trije [Keplerjevi zakoni](#) gibanja planetov naslednji:

1. Planeti se gibljejo okrog Sonca po eliptičnih tirih, Sonce pa je v enem od obeh gorišč (glede na tir vsakega planeta posebej).
2. Ploščinska hitrost gibanja planeta je konstantna, čeprav se njegova obodna hitrost in razdalja do Sonca med gibanjem spreminjata.
3. Za vse planete je pri gibanju okrog Sonca razmerje med kubom velike polosi elipse in kvadratom obhodnega časa enako.

Prva dva zakona se nanašata na gibanje enega planeta, tretji zakon pa primerja med seboj parametre gibanja vseh planetov. Prva dva zakona je objavil leta 1609 v knjigi *Nova astronomija*. Nenavadno navidezno gibanje planetov na nebu, npr. retrogardno gibanje (gibanje nazaj) Marsa v določenem časovnem delu njegovega periodičnega gibanja, bi se sicer dalo opisati tudi s prisilnimi in zapletenimi modeli doslej: Ptolemejev sistem ciklov in epiciklov ter Brahejeva različica Ptolemejevega sistema. Vendar je Keplerjev opis dosti preprostejši in elegantnejši, kar je takrat, še pred teoretično utemeljitvijo njegovih zakonov, nakazovalo njegovo pravilnost.

Leta 1600 so na grmadi v Rimu sežgali [Giordano Bruno](#) (rojen 1548), ker je zagovarjal Kopernikov heliocentrični pogled in domnevo o neskončnosti vesolja. Bil je italijanski filozof, ki je napisal veliko del, ne samo o filozofiji in astronomiji, temveč tudi o spominskih tehnikah. Verjel je, da je vrtenje neba okrog Zemlje iluzija in da se v resnici vrti Zemlja okrog svoji osi, razen tega, da kroži okrog Sonca. Poleg tega je domneval, da so zvezde takšne kot naše Sonce in da imajo lastne planete; razen tega zvezde niso statične, temveč se gibljejo. Zagovarjal je homogenost vesolja: povsod je zgrajeno iz enake snovi. Ker pa takrat še ni bilo kemije, je Giordano Bruno kot drugi mislil, da je vesolje zgrajeno samo iz štirih elementov: zemlje, vode, zraka in ognja. Razmišljal je tudi o večnosti časa in ni priznaval trenutka stvarjenja.

Galileo, ki je bil Keplerjev sodobnik in dopisni prijatelj, je prispeval k nadaljnjemu razvoju astronomije z naslednjimi odkritji:

- 1) Opazil je, da Luna nima idealne krogelne površine, temveč gorovja, doline in kraterje.

- 2) Odkril je Jupitrove lune in s tem direktno dokazal, da ne krožijo vsa nebesna telesa okrog Zemlje, vsaj ne neodvisno: Jupitrove lune krožijo najprej okrog Jupitra, četudi bi morda Jupiter sam krožil okrog Zemlje.
- 3) S pravilno razlago Venerinih men je lahko sklepal, da Venera kroži okrog Sonca.
- 4) Opazoval je med drugimi Sončeve pege, iz česar se da sklepati, da tudi Sonce ni idealno nebesno telo.
- 5) Ugotovil je, da je Rimska cesta sestavljena iz zvezd, torej je v vesolju zvezd veliko več, kot so si predstavljali do tistega časa.

Kot odločilni argument, s katerim se je dalo prepričati zadnje dvomljivce o tem, da Zemlja kroži okrog Sonca, nekateri navajajo odkritje paralakse bližnjih zvezd. To je prvemu uspelo Friedrichu Wilhelmu Besselu (1784-1845), ki je paru zvezd v ozvezdju Laboda izmeril paralakso 0,31 kotne sekunde (današnja natančnejša vrednost je 0,30 kotne sekunde), kar ustreza razdalji nekaj več kot 10 svetlobnih let. Kmalu po tem so izmerili paralakso še nekaterih drugih zvezd in izračunali njihove različne oddaljenosti od nas.

Omenimo le še tri za astronomijo pomembne znanstvenike za Galilejem: Newtona, Einsteina in Hubbla, čeprav jih je dalo bistven prispevek k astronomiji še veliko več.

[Isaac Newton](#) (1642–1727) je sicer v šoli najbolj znan po svojih Newtonovih zakonih, vendar je pomenilo njegovo delo tudi novo prelomnico v razvoju astronomije. Prvi je namreč spoznal, da je sila, zaradi katere padajo predmeti na tla, in sila, ki deluje med nebesnimi telesi, v resnici ena in ista sila – gravitacijska sila. Ta sila je sorazmerna s produktom njunih mas in obratno sorazmerna s kvadratom njune razdalje. Enačba v okviru klasične mehanike natančno velja v dveh primerih:

- 1) če sta telesi točkasti; bolj ohlapno: če sta njuni velikosti veliko manjši od njune medsebojne razdalje
- 2) če sta telesi okrogli in glede na njuno porazdelitev mase krogelno simetrični, pa čeprav razdalja med njima ni velika v primerjavi z njunima polmeroma; v tem primeru za  $r$  v enačbi za gravitacijsko silo vzamemo razdaljo med njunima središčema.

Na primer, za enaki svinčeni krogli s polmerom po 1 dm, ki se dotikata, vzamemo  $r = 2$  dm, njuni masi izračunamo z znano gostoto svinca in sta 47, 5 kg. Krogli sta kar težki, vseeno pa je gravitacijska sila med njima majhna: 3,76 mikronewtona. Te medsebojne privlačne sile ne smemo zamenjati s težo ene krogle zaradi Zemljine privlačnosti:  $mg = 446$  N.

[Albert Einstein](#) (1879–1955) je v okviru splošne relativnostne teorije pokazal, da se da pojav gravitacijskega privlaka opisati kot geometrijsko popačenje prostora in časa. Njegova teorija je napovedala za takratni čas neverjetne stvari: spremenjen tek ur v gravitacijskem polju, črne luknje, ukrivitev svetlobnega žarka v bližini zelo masivnega nebesnega telesa, možnost dinamičnega vesolja (vesolje se lahko širi ali krči), ki jih je znanost pozneje potrdila. Einstein je svojo posebno relativnostno teorijo s sorazmerno preprostimi matematičnimi enačbami objavil že leta 1905. Ta veja relativnostne teorije se med drugim ukvarja s kinematiko in dinamiko teles pri zelo velikih hitrostih, ne upošteva pa vpliva gravitacije. V razvoj splošne relativnostne teorije pa je moral vložiti veliko več energije in časa, saj so njene enačbe dokaj zapletene, tako da jo je objavil leta 1916.

Ameriški astronom [Edwin Powell Hubble](#) (1889–1953) je odkril, da poleg naše galaksije obstajajo tudi številne druge. S tem se je spet močno spremenila predstava človeštva o dejanski velikosti vesolja. Poleg tega je opazil splošni rdeči premik v spektrih galaksij (razen nekaterih izjem), pa tudi kvantitativno zvezo med tem premikom in oddaljenostjo galaksij. V splošnem je rdeči premik tem večji, čim bolj so galaksije oddaljene. Na osnovi njegovih dognanj so drugi astronomi prišli do ugotovitve, da se vesolje širi, kar je pripeljalo do teorije prapoka, v katerem je nastalo naše vesolje. Astronomska in fizikalna odkritja v 20. stoletju so naletela na osnovna znanstveno-filozofska vprašanja, ki zanimajo človeštvo od davnine: 1) ali sta prostor in čas končna ali neskončna, 2) kaj pravzaprav sploh sta prostor in čas in ali je prostor v resnici sploh tridimenzionalen, 3) vprašanja o vzrokih in posledicah, ki se navezujejo tudi na vprašanje o determiniranosti in naključnosti dogodkov, 4) ali bomo ljudje sploh kdaj zmožni spoznati vsaj večji del resnice, itd. Zato so se razvile tudi mnoge nove teorije (hipoteze), ki posegajo že na področje filozofije in ki bodo morale biti v prihodnosti preverjene: npr. hipoteza o hkratni prisotnosti neštetega števila nepovezanih vesolj, kakršno je naše.

Za razumevanje Hubblovih odkritij opišimo pojem [rdečega premika](#). V svetlobnem spektru opazovane zvezde vidimo poleg ozadja (zveznega spektra) tudi ostre črte (črtast ali diskretni spekter). Te črte pomenijo točno določene valovne dolžine, ki ustrezajo energijskim razlikam elektronov v atomih v plinu pri prehodih med različnimi energijskimi stanji. Vsak atom ima točno določene spektralne črte, po katerih ga prepoznamo. Tako so npr. v Sončevem spektru našli črte neznanega elementa, ki so ga poimenovali helij (helios pomeni v grščini sonce in je tudi bog sonca v starogrški mitologiji) in so ga na Zemlji odkrili šele za tem (William Ramsay, 1895), čeprav ga je sicer v vesolju za vodikom največ od vseh elementov. Ker smo prepričani, da je povsod v vesolju enaka snov, bi moral imeti spekter vsake zvezde enak črtasti spekter kot naše Sonce, to je diskretne črte pri enakih valovnih dolžinah. Vendar velja za svetlobo tako kot za zvok Dopplerjev pojav: pri relativnim gibanju oddajnika in prejemnika svetlobe so navidezne frekvence in z njimi valovne dolžine spektralnih črt drugačne od tistih pri mirovanju. Če se neka zvezda ali celotna galaksija zelo hitro oddaljuje od nas, se spektralne črte značilnih elementov (vodika, helija in drugih) znatno premaknejo proti večjim valovnim dolžinam. Če se omejimo na črte v vidnem delu elektromagnetnega valovanja, pravimo temu rdeči premik, ker ima rdeča svetloba najdaljšo valovno dolžino. Čim večji je rdeči premik, tem hitreje se svetlobni objekt oddaljuje od nas.