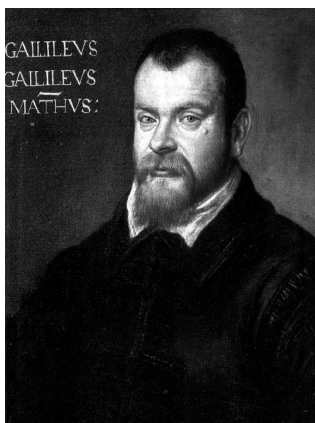


Baština Galilejevog “Zvjezdanog glasnika”

Krešimir Pavlovski¹

Ne znamo što je Galileo očekivao kada je uperio svoj teleskop prema nebu. Galileo nije bio astronom, barem ne do tog trenutka, i tim prije je zanimljivo što ga je potaklo da se okrene prema nebeskim pojavama. Radoznalost i strast istraživača? Nova zvijezda koju je opažao i o kojoj je gorljivo raspravljao nekoliko godina ranije? Veličanstvena pojava kometa kojem je svjedočio kao dijete? Ili je možda, samo provjeravao kvalitetu svojeg novog uređaja, a Mjesec koji je baš te noći bio visoko na nebu, učinio mu se vrlo pogodnim u tu svrhu? Odgovor sada još zanima samo povijesne istraživače. Daleko je važnije što je slika koju je Galileo Galilei vidio u teleskopu ostavila duboki trag u njegovoj svijesti, i što je takva promijenila ljudsko poimanje prirode svemira.

Galileo Galilei (1564.–1642.) je te, 1609. godine, bio profesor matematike na Sveučilištu u Padovi. Prošlo je već više od petnaest godina otkako je napustio rodnu Toskanu, u potrazi za bolje plaćenom profesurom i većom stvaralačkom slobodom. Njegov je akademski put započeo studijem medicine na Sveučilištu u Pisi, kojeg, nezainteresiran, napušta nakon nekoliko godina, posvećujući se više matematici. Ubrzo i njegov glavni prihod dolazi od podučavanja matematike, a raspravama ubrzo stječe reputaciju koja ga vraća na mjesto profesora matematike sveučilišta kojeg je nedugo napustio. Nakon samo tri godine, što zbog preoštrih rasprava s uvaženim kolegama, što zbog bolje plaće, Galileo godine 1592. odlazi u Padovu.



Slika 1. Galileo Galilei, portret u vrijeme kada je bio profesor matematike na Sveučilištu u Padovi (lijevo). Objektivna leća jednog od prvih Galilejevih teleskopa, samo tri centimetra u promjeru, dovoljno da preokrene razvoj astronomskih istraživanja.

U dodir s astronomijom Galileo dolazi iz praktičnih razloga. U to se vrijeme astronomija s astrologijom podučavala za studente medicine, pa je Galileo morao u svojim predavanjima tumačiti složene astronomske račune iz Ptolemejeve ostavštine. S druge strane, iz praktičnih je razloga, želio objasniti zagonetne pojave plime i oseke. Dnevno i godišnje gibanje Zemlje, kako je to tumačio heliocentrizam prema Copernicusu, činio

¹ Autor je redoviti profesor na Fizičkom odsjeku PMF-a u Zagrebu. Članak je objavljen šk. god. 2008/09.

se najboljim putem. Kada je godine 1597. dobio knjigu, tada vrlo mladog i nadobudnog Johannesesa Keplera (1571.–1630.) pod znakovitim naslovom *Mysterium Cosmographicum* (Zagonetka kozmografije), s oduševljenjem pravog kopernikanca, pisao je pohvale svom sedam godina mlađem suvremeniku iz Graza. Na žalost, bit će to jedno od rijetkih Galilejevih pisama Kepleru.

U ljeto, godine 1609. upravo kada se Galileo zatekao u Veneciji, širile su se glasine o posjeti nizozemskog trgovca i optičara Hansa Lippersheya (1570.–1619.), koji je Senatu došao ponuditi neobičan optički uređaj koji se sastojao od tubusa s dva komada zakrivljenog stakla i koji je udaljene objekte približavao gotovo nadohvat ruke. U vrijeme neprestanih sukoba i opasnosti, takve su “špijunske leće” pobudile veliko zanimanje. Već otprije bila su poznata zakrivljena stakla i zrcala koja su izobličavala slike predmeta ili lica, i prodavala se za uveseljavanje na sajmovima. Ali kombinacija leća o kojoj se pričalo, pobudila su Galilejevo zanimanje.

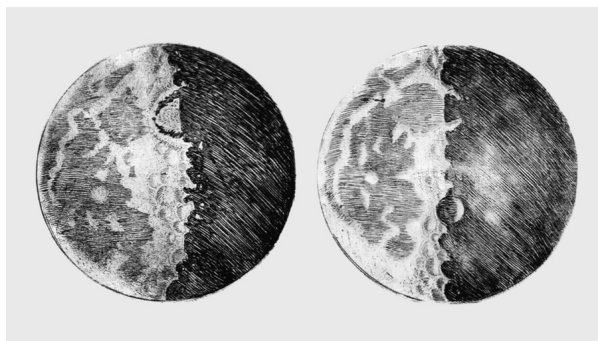
Galileo je razmišljao brzo i vrlo praktično. Ako Sarpi, dugogodišnji odani i vrlo utjecajni prijatelj na neko vrijeme zaustavi Lippershejeve pregovore sa Senatom, tada bi imao vremena sam sastaviti uređaj koji će biti i bolji od flandrijskog. Galilejeve su tehničke sposobnosti bile već poznate, rado je razgovarao s brodograditeljima u arsenalu, geometrijski i vojni šestar koji se izrađivao u njegovoj radionici odlično se prodavao, kao što su instrukcije za upotrebu i tiskani priručnik činile značajan prihod u Galilejevu godišnjem budžetu. Optički bi uređaj mogao predstavljati još veći uspjeh i prihod, a možda bi mogao osigurati povratak u rodnu Toskanu. Rasprava o gibanju tijela i slobodnom padu, na kojoj je već godinama radio, morat će pričekati neko drugo vrijeme.

U roku od dva dana, od uzorka koji je povećavao samo dva do tri puta, Galileo pronalazi način postaviti konveksnu i konkavnu leću tako da teleskop¹ ima povećanje čak 8 puta. Sapri mu omogućuje prijem kod dužda, koji se zbog njegove zauzetosti zakazuje tek za dva tjedna. To će Galileju omogućiti još dosta vremena za usavršavanje optičke naprave. Glavni je problem bila kromatska aberacija zbog koje je slika u refraktoru obavijena duginim bojama. Galileo daje izraditi kožnati tubus u kojem se leće mogu dodatno podešavati. Predstavljanje “cannocchiale” predstavlja pravi trijumf – s vrha tornja Sv. Marka, dužd i senatori mogli su pomoću Galilejevog dalekozora, razaznati toranj Sv. Giustina u 55 kilometara udaljenoj Padovi! Zastave brodova na pučini mogle su se razaznati čak dva sata ranije nego što je to bilo moguće golim okom! Mletačka je republika u rukama imala moćan alat, a Galileju je ponuđen ugovor na dvostruko veću plaću od dotadašnje koja je iznosila oko 520 kruna, te jednokratnu naknadu od 480 kruna, i povrh svega postavljen je za doživotnog profesora na Sveučilištu u Padovi. Povjesničari smatraju da je Galileo iz više razloga odbio ovu velikodušnu ponudu, i jednostavno, bez ikakvog licitiranja, u gesti najveće poniznosti, mletačkom duždu poklonio svoj optički uređaj bez ikakve naknade. Galileo se obraća duždu Leonardu Dioni ovim riječima:

Ovaj (teleskop) jedan je od plodova znanosti, znanosti koju proteklih sedamnaest godina provodim u Padovi, u nadi da ću Vam moći pokloniti još veće izume od ovoga, ako će Bog i Vaša Visost htjeti to, i ako ćete Vi i Bog željeti da ostatak života provedem na Vašoj usluzi,...

Čini se da je već tada, krajem kolovoza, Galileo motrio Mjesec i zvjezdano nebo, i imao potpuno drugačije planove.

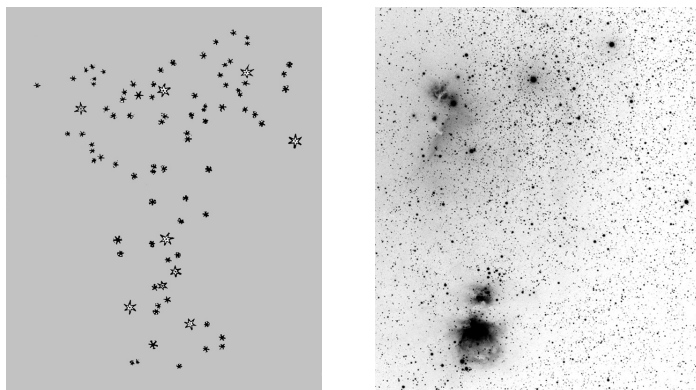
¹ riječ *teleskop* dolazi od kombinacije grčkih riječi *tele* što znači daleko i *skopein* što znači gledati



Slika 2. Prvi Galilejevi crteži Mjeseca nose nadnevak 30. studeni 1609. godine. Galileo je sustavno pratio promjene na Mjesecu uslijed pomaka terminatora, granice svjetla i sjene. Poznata su opažanja Mjeseca koja je nešto prije Galileja vršio "engleski Galileo" kako su zvali Thomasa Harriota. Međutim, on nije bilježio niti objavio svoja teleskopska opažanja i povjesničari daju prvenstvo Galileju.

Galilejeva astronomska otkrića

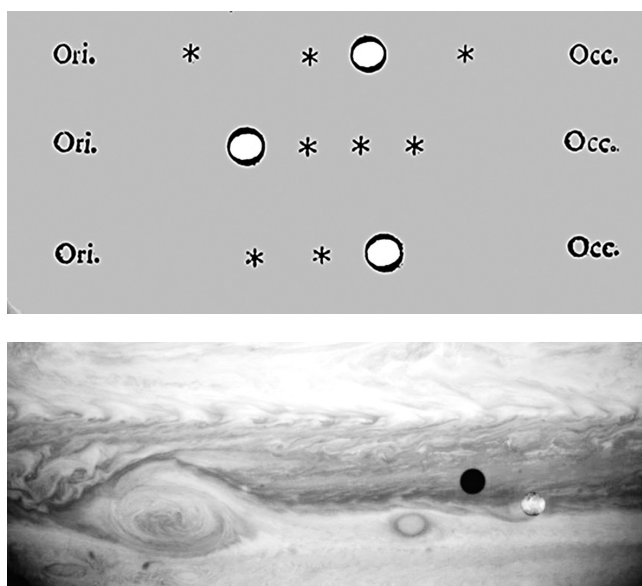
Svakim danom Galileo usavršava svoj uređaj, nalazi kvalitetnija i bolje brušena stakla. Tako u prosincu iste godine, opaža Mjesec s dalekozorom koji je povećavao 20 puta. Tamo gdje su filozofi tvrdili da se radi o savršenoj kugli, Galileo opaža planinske lance i kratere. Mjesec i zvijezde opaža gotovo svake noći kada nije bilo oblačno. Ponovno se javlja strast i upornost istraživača – istog onog koji je proučavao gibanje kuglica niz kosinu i razmišljao o slobodnom padu, istog onog koji je rušio tisućljetne aristotelovske teze o prirodi gibanja. Tamo gdje golo oko više ne razaznaje zvijezde u vidnom polju teleskopa one su izranjale. Već jedan pogled na Mliječni Put, Galaksios, kako su je zvali još antički astronomi, u teleskopu otkriva milijarde zvijezda. U omanjoj skupini zvijezda, Plejadama, u kojima golo oko razaznaje sedam zvijezda, teleskop ih otkriva preko četrdeset. Isto tako u pojasu i maču zvijezda Orion.



Slika 3. Gdje je god Galileo uperio svoj teleskop u vidnom polju su izranjale zvijezde, nevidljive golim okom. Galilejev crtež pojasa i mača u zvjezdu Orionu (lijevo) i suvremena digitalna slika istog područja (desno).

Mjesec i planeti nisu savršeni, niti su savršene kugle, niti su građeni od savršene tvari, kvintesencije, petog elementa, kako je tvrdio Aristotel u svojoj fizici. Mjesec je vrlo nalik na Zemlju, teleskop otkriva njihovu sličnost. Dok su filozofi osporavali Galilejeva otkrića tvrdeći da se radi samo o pojavama u njegovim lećama, jer kada se one maknu, kratera na Mjesecu nema, naš je istraživač iz duljine sjene planinskih lanaca izmjerio njihovu visinu.

Početak siječnja godine 1610. na večernjem se nebu pojavio Jupiter, kao sjajna lutajuća zvijezda. U svoj dnevnik, koji je ostao sačuvan, Galileo bilježi tri zvijezde u neposrednoj blizini planeta. Već sljedeće noći one su promijenile položaj, a uskoro Galileo opaža i četvrtu pratilju, Jupitera. Četiri satelita, kako ih je kasnije nazvao Kepler, obilazila su Jupiter, ne Zemlju koja bi po aristotelovcima trebala biti središte svijeta. Prva bilješka o Jupiterovim satelitima, koja će definitivno njegovo ime učiniti besmrtnim, a njega povezati s teleskopom, uređajem koji će promijeniti razvoj astronomije, datira od 7. siječnja 1610. godine.

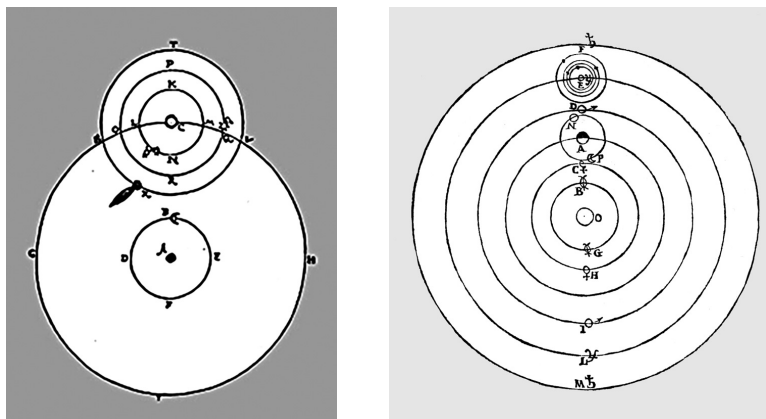


Slika 4. Galilejevo otkriće Jupiterovih satelita 7. siječnja 1610. godine (gornja skica), 8. siječnja (skica u sredini) i 10. siječnja (donja skica). Jupiterov satelit Io i njegova sjena na slici snimljenoj in situ pomoću američke automatske letjelice Cassini.

U *Zvezdanom glasniku* koji je kao nevelika knjiga objavljen u ožujku iste godine, Galileo piše:

Pored svega, oni ponekad slijede, a ponekad su ispred Jupitera, u istim intervalima, i uvijek ostaju u neposrednoj blizini bilo istočno, bilo zapadno od Jupitera, bez ikakve sumnje oni obilaze oko Jupitera, i istovremeno zajedno u dvanaestogodišnjem periodu obilaze središte svijeta...

Drugim riječima, mjeseci obilaze planet Jupiter dok cijeli sistem obilazi središte svemira, bila to Zemlja ili Sunce, jednom u 12 godina.



Slika 5. Tychov model svijeta kao svojevrsni kompromis između geocentričnog i heliocentričnog sustava. Zemlja je nepomična, Mjesec i Sunce gibaju se oko Zemlje, dok se planete gibaju oko Sunca. Znameniti komet iz 1577. godine također je naznačen u Tychovom modelu (lijevo). Galilejev model isključivo je heliocentrični, poput Copernicusovog. Novi planeti koji se gibaju oko planeta Jupitera također su naznačeni. Otkrićem Urana i Neptuna, u 18., odnosno 19. stoljeću, Sunčev planetarni sustav je upotpunjen, barem što se tiče planeta (desno).

Za Galileja nije bilo nikakve sumnje – kopernikanska teorija pravi je opis mehanike svemira. Promatrajući na djelu Jupiterov sustav, činilo se kao promatrati model planetarnih gibanja koji je Nicolaus Copernicus (1473.–1543.) opisao u svom djelu *Revolutionibus orbium coelestium* tiskanom u Nuernbergu 1543. godine. Jupiter sa svojim pratiocima dokaz je da niti Zemlja ne mora izgubiti Mjesec, samo zato što bi obilazila oko Sunca. Jupiter nije u gibanju oko središta svijeta, bilo to Sunce kako tvrdi Copernicus, ili pak Zemlja kako tvrde aristotelovci, izgubio svoje trabante.

Svjestan veličine i značaja astronomskih otkrića do kojih je došao korištenjem teleskopa, Galileo žuri s objavljivanjem knjige koja će to obznaniti. Već u veljači iste godine, 1610., završava rukopis i dostavlja ga izdavaču u Veneciji. Tekst je preveden na latinski jezik, i ubrzo tiskan. Nevelika knjiga *Sidereus Nuncius*, (*Zvezdani glasnik*), izišla je iz tiska sredinom ožujka, u nakladi od 550 primjeraka. U uvodu Galileo ističe otkriće četiri nova planeta, prvi puta viđenih od početka svijeta.

Kao vrlo praktičan čovjek, Galileo je brzo shvatio da ga Jupiterovi sateliti mogu odvesti tamo gdje već dugo vremena želi, u rodnu Toskanu, u Firencu. Četiri zvijezde, kao četiri brata. *Zvezdani glasnik* posvećen je Velikom vojvodi Cosimu de Medici. U pismu samoj Visosti, Velikom vojvodi Toskane, Galileo na sebi svojstven način, vrlo kičenim jezikom gura stvari do samoga vrhunca tražeći Cosima suglasnost kojom bi satelite Jupitera nazvao prema vojvodi i njegovoj braći (Cosimo, Francesco, Carlo i Lorenzo)². Molbe su uslišane, i ubrzo, je Galileo na putu u Firencu. Postavljen je za dvorskog matematičara, i na njegovo osobito inzistiranje, za dvorskog filozofa. *Zvezdani glasnik*, današnjim rječnikom, postaje pravi bestseler, prodavan je čak u Engleskoj, Nizozemskoj i Španjolskoj. Recepcija je velika iz više razloga, to nije bio glasnik samo nove astronomije, već i novog svjetonazora. “Zemlja se giba” svakako je jača konstatacija od “kuglica se giba”, ili pak “sva tijela u slobodnom padu udarit će o tlo istovremeno”.

² Galilejanski sateliti danas su poznati kao Io, Evropa, Ganimed i Kalisto, a imena su dobili prema Zeusovim ljubavnicima iz grčke mitologije (Zeus je u grčkoj mitologiji isto što i Jupiter u rimskoj).

Htio ili ne, Galileo je sve više klizio u heliocentrizam, doktrinu Copernicusa. Započevši svoja znanstvena promišljanja u renesansnom zanosu, dovodeći u pitanje svaku postavku aristotelovske prirodne filozofije, ušavši u astronomiju na velika vrata, darujući astronomima alat nakon kojega ništa više neće biti kao prije, Galileo se upetljao u ozbiljne teološke rasprave. Njegova je knjiga *Razgovor o dva glavna sistema svijeta* tiskana 1632. godine, unatoč svojevrsnoj uvjetnoj zabrani. Prvotno je to trebala biti rasprava o plimi i oseki, problemu koji je dugo zaokupljao Galilejeve misli. Na kraju, bilo je to djelo u kojem Galileo ne odustaje od tvrdnje da se Zemlja giba, a ne Sunce. Pokrenuvši Zemlju u orbitu oko Sunca, Galileo je pokrenuo i velika teološka, ali i velika znanstvena pitanja.

Nije Galileo bio, ili ostao jedini kopernikanac u Evropi s početka 17. stoljeća. Gotovo istovremeno kada Galileo konstruirao teleskop, Johannes Kepler tiska svoju epohalnu knjigu *Astronomia Nova* (1609). Kepler se zarana zarazio heliocentrizmom, još tijekom studija na Sveučilištu u Tubingenu, pod utjecajem svojeg profesora astronomije Michaela Mästlina (1550.–1661.). *Astronomia Nova* rezultat je gotovo desetogodišnjih istraživanja putanje Marsa koja su se temeljila na opažanjima koja je Kepleru u nasljeđe ostavio Tycho Brahe (1546.–1601.), najveći astronom predteleskopskog doba. Knjiga donosi otkriće prva dva zakona nebeske mehanike koji opisuje gibanje planeta oko Sunca (treći, harmonijski zakon Kepler će otkriti tek nakon sljedećih 10 godina). Gibanje planeta po elipsi, s promjenjivom brzinom, nije nimalo privuklo Galileja, štoviše on nije želio napustiti ideju o (idealnom) jednolikom gibanju po kružnici. Unatoč tome što je na izričitu molbu Kepler napisao hvalospjev Galilejevim otkrićima novih planeta, iako ih sam još neko vrijeme nije uopće vidio, Galileo se nije uopće odazvao na Keplerovo novo djelo. Ako ništa drugo, Kepler je već svojim statusom imperijalnog matematičara, na dvoru Rudolfa II (cara Svetog rimskog carstva), to zaslužio. Štoviše, prvu teoriju teleskopa, dat će Kepler, a ne Galileo, u djelu *Dioptrice* (1611.). Ono što je Kepler bez ikakvog straha mogao napisati u poliglotskom i multikulturalnom Pragu s početka 17. stoljeća, Galileo u razjedinjenoj i religioznoj Italiji nije mogao, ili nije smio. Tvrdnja *Zemlja se kreće*, koja će kasnije dobiti mitološki oblik koju Galileo po svemu sudeći nije izrekao, *ipak se kreće*, u dvije različite sredine imala je i drugačiji smisao. I posljedice.

Osim teološkog sukoba, ostao je problem valjanog dokaza. Tvrditi nešto, bez dokaza, samo je hipoteza, ili još gore, spekulacija. Otkriće Venerinih faza, nalik Mjesečevim, što je uslijedilo nakon objavljivanja *Zvjezdanog glasnika*, za Galileja je bila vrlo jaka tvrdnja u korist heliocentrizma. Prema geocentričnom sustavu kako ga je u konačnici osmislio aleksandrijski astronom Ptolemej, Venera je uvijek između Zemlje i Sunca. Kao posljedica geocentričnog modela, Venera ne bi mogla imati fazu poput punog Mjeseca. Ipak, Venerine faze govore samo o relativnom gibanju Zemlje, Sunca i Venere, ali ne ukazuju direktno koje je od ovih nebeskih tijela u apsolutnom mirovanju. Upravo takvu geometrijsku situaciju predstavlja Braheov izvedeni model. Iako otvoren prema Copernicusovom heliocentričnom sustavu, Brahe niti nakon dva desetljeća položajnih opažanja zvijezda i planeta, nije našao opažачke dokaze koji bi potvrdili postojanje očekivane paralakse. Zbog toga gradi novi sustav, u kojem se Sunce i Mjesec gibaju oko nepomične Zemlje, a planeti, baš kao i kod Copernicusa, oko Sunca. Svojevremeno svojem temperamentu, Galileo je brzopleto proglasio Braheov sistem besmislenim. Dakle, ako Ptolemejev sustav pada zbog Venerinih faza, onda još samo ostaje mogućnost da je Copernicus u pravu. Zemlja se giba oko Sunca. Tycho nije bio tako konzervativan kao što je to Galileo želio. Baš poput njega i Tycho je svojim istraživanjima načinjao

tisućljetnu doktrinu aristotelovske fizike. Već svojim prvim mjerenjima, pokazao je da nova zvijezda iz 1572. i komet iz 1577. godine, nemaju paralaksu. Zbog toga ih je Tycho smjestio među zvijezde, ali time je naćeo aristotelovsku dogmu o savršenosti, vjećnosti i nepromjenjivosti nebeske sfere zvijezda. Po tome je astronom Tycho Brahe prethodnik fizićaru i filozofu Galileu Galileju.

Kreće li se Zemlja?

Konaćno, kreće li se Zemlja ili ne? Danas znamo, i ne sumnjamo, Zemlja se kreće u putanji oko Sunca. Štoviše, znamo da se sa Suncem i planetarnim sustavom Zemlja kreće u putanji oko središta Galaksije, naša se pak galaksija giba u Lokalnoj grupi galaksija, koja se pak giba zajedno s cijelim jatom galaksija prema... Danas nas ne moće zbuniti dnevno, prividno, gibanje Sunca od istoka prema zapadu svakog dana, jer znamo da se Zemlja vrti, i da je to samo dio Zemljinih gibanja.

Međutim, Galileo nije imao pravi dokaz Zemljinog gibanja. Plimu i oseku je pogrešno protumaćio (u njegovo doba još nije poznat pojam sile, tek će doći kasnije s istraćivanjima Isaaca Newtona). Venerine se faze mogu objasniti u Tychovom (hibridnom) modelu.

Još iz antićkog doba kao dokaz Zemljinog gibanja oko Sunca traćila se paralaksa. Ako se Zemlja giba oko Sunca, tada bi promatrajući zvijezde iz razlićitih poloćaja Zemljine putanje, vidjeli projekciju Zemljine staze na nebeskoj sferi. Astronomi prije i poslije Galileja bezuspješno su tragali za paralaksom. Bilo je oćigledno, zvijezde su vrlo daleko, i kut pod kojim vidimo projekciju Zemljine orbite, ako se Zemlja kreće oko Sunca, premali je za astronomske urećaje.

Dokaz Zemljinog gibanja oko Sunca dao je, posve slućajnim otkrićem, ali u potrazi za paralaksom, engleski astronom James Bradley (1693.–1762.). Bradley je 1725. godine otkrio pojavu aberacije do koje dolazi zbog Zemljinog gibanja oko Sunca (ali i Zemljine vrtnje) i konaćne brzine svjetlosti. U to je vrijeme već bila poznata brzina svjetlosti zahvaljujući danskom astronomu Ole Rømeru (1644.–1710.) koji je brzinu svjetlosti izmjerio promatranjem Jupiterovih satelita!

I konaćno, paralaksu za kojom tragaju generacije astronoma, gotovo 2000 godina, izmjerio je 1838. godine Friedrich Wilhelm Bessel (1784.–1864.). Sa samo 25 godina Bessel je postao direktor novog opservatorija u Königsbergu, tadašnjoj Prusiji (današnji Kaliningrad u Rusiji). Pomoću posebno konstruiranog teleskopa, heliometra, Bessel je mjerio poloćaje komponenata dvojne zvijezde 61 Cygni. Osim što se radi o dvojnomo zvjezdanomo sustavu, 61 Cyg je posebna po vrlo velikomo vlastitomo kretanju na nebu. To znaći da se radi o zvjezdanomo sustavu koji je gotovo sigurno blizu Sunca – ta je pretpostavka Bessela dovela do epohalnogo rezultata. Paralaksa je iznosila samo 1/3 lućne sekunde, što je znaćilo da je 61 Cyg oko 10 svjetlosnih godina udaljena od Sunca. Time je okonćana dvojba o udaljenostima zvijezda, ali i sumnja u Zemljino gibanje oko Sunca. Krunski dokaz Zemljinog gibanja oko Sunca kasnio je cijela dva stoljeća. Na sreću, Galileo se vratio fizići. Njegovo posljednje djelo *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (Leiden, 1638) odredit će razvoj fizike. Astronomi su baštiniili njegova astronomska otkrića, a naroćito njegovu upotrebu teleskopa. Konstrukcija sve većih teleskopa kao paradigma obiljećava razvoj astronomije i nepredvidljiva otkrića koja oni omogućavaju.