

FORMA MUNDI

Kopernikov predgovor h knjigam *O revolucijah*; drugič

MATJAŽ VESEL

1.

Motiv Kopernikovega predgovora h knjigam *O revolucijah nebesnih sfer* je jasen.¹ V svojem zadnjem besedilu, naslovljenem »Presvetemu gospodu papežu Pavlu III. Predgovor Nikolaja Kopernika h knjigam *O revolucijah*«,² se na papeža obrača s prošnjo za zaščito proti, kot pravi kasneje v posvetilu sam, »napadom spletkarjev«, ki bodo napadli njegovo tezo, da se Zemlja giblje, in zahtevali tako obsodbo teze kot njenega avtorja. Za to bi lahko imeli dobre razloge: gibanje Zemlje je v nasprotju s »sodbo stoletij«, ta sodba pa temelji na sprejetem prepričanju teologije, filozofije in občega mnenja, zdrave pameti oz. splošnega čutnega zaznavanja, kot bi tudi lahko prevedli *sensus communis*. Zakaj se torej Kopernik spušča v težaven boj s prepričanji stoletij? Čemu hoče »preobrniti celotno znanost astronomije«?³ Kakšno korist si lahko obeta od tega koncepta?

Kopernik utemeljuje potrebo po »drugačni razlagi gibanj sfer sveta«, razlagi, ki bo temeljila na konceptu gibanja Zemlje, z obstoječimi težavami astronomije. Njegova teza, da »se Zemlja giblje, Sonce pa miruje sredi sveta«, je po njegovi lastni rekonstrukciji geneze teorije odgovor na težave astronomске znanosti, ki so posledica tega, da se astronomi ne ujemajo in ne strinjajo. Nestrinjanje in neujemanje raziskovalnih dosežkov med astronomskimi tradicijami se manifestira v dvojem: astronomi se v svojih raziskavah ne ujemajo glede natančne določitve trajanja tropskega leta in ne uporabljajo »istih načel in predpostavk ter dokazov«:

¹ O splošni strategiji Kopernikovega *Predgovora* gl. M. Vesel, »'Mathemata mathematicis scribuntur': Kopernikov predgovor h knjigam *O revolucijah*; prvič«, str. 7–23.

² V nadaljevanju navajam Kopernikovo posvetilo oz. predgovor iz praktičnih razlogov kot *Predgovor*; njegov nenaslovljeni uvod, ki ni bil natisnjen v prvi izdaji *De revolutionibus orbium coelestium*, pa kot *Uvod*.

³ Tega je Kopernika v znamenitem *Govoru za omizjem (Tischreden)* obtožil Luther.

»Najprej so tako zelo negotovi celo glede gibanja Sonca in Lune, da ne morejo pokazati in opazovati stalne velikosti tropskega leta. Nadalje: pri vzpostavitvi gibanj tako onih <dveh nebesnih teles> kot drugih petih tavajočih zvezd tudi ne uporabljajo istih načel in predpostavk ter dokazov pojavnih revolucij in gibanj.«⁴

2.

Ni prvič, da Kopernik stanje astronomije opisuje s podobno kritičnimi besedami. Tudi v prvotno napisanem *Uvodu*, za katerega ne vemo v kateri fazi pisanja *De revolutionibus* je nastal, kot tudi v uvodnih odstavkih *Komentarčka*, ki je nastal pred letom 1514 in je Kopernikov prvi poskus geokinetične in heliocentrične teorije, je stanje astronomije prikazano kot kritično. V *Uvodu*, ki ga je Kopernik kasneje nadomestil z *Predgovorom*, je stanje astronomije prikazano kot kritično, tako kot v *Predgovoru*, zaradi dveh stvari: ker se astronomi ne strinjajo glede načel in predpostavk astronomije na eni strani, in ker se določeni parametri astronomije ne ujemajo z opazovanji na drugi. Astronomija, »ta bolj božanska kot človeška znanost, ki raziskuje najvišje stvari«,⁵ je po Koperniku v težavah, ker »se večina tistih, ki so se lotili njihove obravnave, ni strinjala glede njenih načel in predpostavk, ki jih Grki imenujejo *hypotheses*, in se zato niso opirali na iste razloge«,⁶ in ker »ni bilo mogoče določiti trdnega izračuna poti planetov in revolucij zvezd in jih izpeljati do popolne vednosti«. ⁷ To je spodletelo celo Ptolemaju, »ki po občudovanja vredni spretnosti in vestnosti daleč presega ostale«, ⁸ saj je kljub temu, da je »s pomočjo več kot štiristoletnih opazovanj to celotno umetnost pripeljal skoraj do popolnosti«, ⁹ mogoče opaziti »mnogo stvari, ki ne ustrezajo tistemu, kar bi morale slediti iz njegove tradicije«, ¹⁰ ravno tako kot je mogoče opaziti tudi »druga gibanja <nebesnih teles>, ki so bila odkrita, in ki njemu še niso bila znana«. ¹¹ »Gibanje planetov je,« kot ponavlja za Plutarhom Kopernik, »premagalo znanje matematikov.« ¹² Ta nezmožnost natančne določitve poti nebesnih teles je še posebej pereča v primeru natančne določitve dolžine

⁴ Vsi navedki, ki niso označeni drugače, so iz Kopernikovega *Predgovora*.

⁵ *Uvod*.

⁶ *Ibid.*

⁷ *Ibid.*

⁸ *Ibid.*

⁹ *Ibid.*

¹⁰ *Ibid.*

¹¹ *Ibid.*

¹² *Ibid.*

leta, glede katerega »so vedno obstajala različna mnenja, tako da so mnogi obupali nad tem, da bi mogli najti njegovo gotovo mero.«¹³

Kopernika v *Uvodu* bolj kot nestrinjanje astronomov glede »načel in predpostavk« astronomije zanima neujemanje astronomskih podatkov z dejansko opazljivimi nebesnimi fenomeni, pri čemer je še posebej izpostavljen problem natančne določitve trajanja leta in s tem povezanega vprašanja določitve gibanja Sonca, o čemer so »vedno obstajala različna mnenja.«¹⁴ Na drugi strani Kopernik v *Komentarčku* te težave astronomije sploh ne omenja. V njem se njegova kritična predstavitev astronomije osredotoči predvsem na tisto, kar tako v *Predgovoru* kot *Uvodu* imenuje »načela, predpostavke in dokazi oz. razlogi (*demonstrationes, rationes*)«. »Vidim,« pravi Kopernik, »da so naši predhodniki postavili množstvo nebesnih sfer, da bi tako s pravilnostjo (*sub regularitate*) rešili pojavno gibanje planetov. Izjemno nesmiselno je bilo namreč videti, da bi se nebesno telo popolne okroglosti ne gibalo vedno enakomerno (*aeque*).«¹⁵ Ti starodavni astronomi so odkrili, da je mogoče s kombinacijo in ureditvijo enakomernih, pravilnih gibanj na različne načine doseči, da je videti, da se katerokoli nebesno telo giblje na katerokoli mesto.

¹³ *Ibid.*

¹⁴ Dejansko so arabski astronomi že v obdobju pred Kopernikom pokazali, da so nekateri Ptolemajevi parametri oz. parametri, ki so jih podajali zatopniki ptolemajske astronomske tradicije, še posebej kar zadeva gibanja nebesnih teles na dolgi rok, napačni. Cf. npr. J.-J., *Szczeciniarz, Copernic et la révolution copernicienne*, str. 45; T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution*, str. 140–141. Kopernikova motivacija za vztrajanje pri tem »kritičnem« momentu astronomije je, četudi je neujemanje teorije in opazovanj seveda samo na sebi zadosti resen problem, najverjetneje zelo specifična. Gledano kronološko se problem natančne določitve dolžine leta kot kritična točka astronomije pojavi šele v *Uvodu*, kasneje v *Predgovoru*, medtem ko tega ugovora proti astronomski tradiciji v *Komentarčku*, v katerem Kopernik tudi predstavi kritično stanje astronomije, ni. Razlog za to je povezan s kontingencami časa, vendar Kopernik te, glede na njegov projekt naključne zgodovinske okoliščine, spretno izkoristi in vplete v svojo strategijo prepričevanja bralca *Uvoda* in še posebej *Predgovora* v smiselnost uvedbe koncepta Zemlje v astronomsko znanost. Natančna določitev trajanja leta je namreč povezana s tedaj aktualnim problemom reforme koledarja, k reševanju katerega je Kopernika okoli leta 1514 povabil Pavel iz Middelburga, to pa Koperniku daje dodatno legitimacijo pri vpeljavi »absurdnega in popolnoma novega« koncepta gibanja Zemlje v astronomijo, saj na koncu *Predgovora* v tem kontekstu omenja svoje delo kot možno rešitev teh težav: »Matematične znanosti se pišejo za matematike in ti bodo uvideli, če se ne motim, da tudi ta naša dela doprinašajo nekaj cerkveni državi, katere prvak je sedaj Tvoja Svetost. Kajti ne tako daleč nazaj je bilo pod Leonom X. na lateranskem koncilu obravnavano vprašanje reforme cerkvenega koledarja, ki je ostalo neodločeno samo zaradi tega, ker se je menilo, da velikost let in mesecev ter gibanje Sonca in Lune še niso zadosti izmerjeni; od tedaj sem se posvetil bolj natančnemu opazovanju teh zadev, po nasvetu presvetlega moža Pavla, fossombronskega škofa, ki je tedaj predsedoval tej zadevi.«

¹⁵ *Komentarček.*

Naloga astronomije je torej vedno bila »reševanje«, pojasnjevanje, nepravilnih pojavnih gibanj s pravilnimi, to je enakomernimi in krožnimi, gibanji.

To zahtevo astronomske znanosti izpolnjuje Evdoksova in Kalipova¹⁶ teorija homocentričnih (oz. koncentričnih) sfer, tj. sfer, ki imajo vse isto središče, ki je geometrično središče sveta in središče Zemlje, in ki se gibljejo okoli nje z enakomernim krožnim gibanjem, vendar pa je težava tega modela, ki izhaja iz pravilnih »načel in predpostavk«, v tem, da ne ustreza opazovanjem, saj z njim ni mogoče pojasniti, reproducirati, nekaterih gibanj nebesnih teles, ki jih je mogoče opaziti. Največja težava homocentričnega modela je v Kopernikovi rekonstrukciji ta, da ne more podati ustrezne razlage različnih razdalj med planeti in Zemljo, da ne more pojasniti dejstva, da so planeti včasih Zemlji bližji, včasih od nje bolj oddaljeni. Z modelom koncentričnih sfer ni mogoče pojasniti, pravi Kopernik, vseh planteratnih revolucij, še posebej pa ne tega, da »je videti, da se planeti včasih dvigajo v višave, včasih pa se spuščajo.«¹⁷ Z drugimi besedami, model koncentričnih sfer ne more zadovoljivo predstaviti »gibanja planeta v dolžini in na noben način pojasniti njegove pojave spremembe razdalje.«¹⁸

Drugačna je v Kopernikovi rekonstrukciji situacija s ptolemajskim modelom ekscentrov in epiciklov, ki se je po Koperniku razvil zaradi omenjenih težav prvega, vendar pa je Ptolemaj zato, da je lahko podal pravilne izračune, moral opustiti načelo enakomernega krožnega gibanja. Posledica tega je, da Ptolemajeva teorija ni niti zadosti popolna, dovršena, niti skladna z razumom: »Zato ta teorija (*speculatio*) ni bila videti dovolj dovršena (*absoluta*) niti dovolj skladna (*conncinua*) z razumom.«¹⁹ Kaj ima Kopernik tu v mislih? V čem astronomska teorija, ki temelji na epiciklih in ekscentrih nasprotuje »načelu enakomernosti gibanja«?

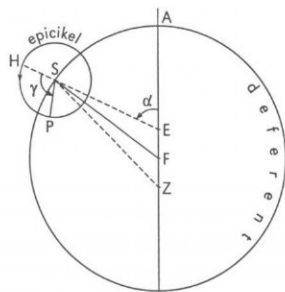
¹⁶ Njun model je materializiral in v svoj filozofski sistem vključil Aristotel (*Metafizika*, 1073b 17–1074a 31), s prevodom njegovih del v latinščino konec 12. in na začetku 13. stol., pa so ga spoznali tudi na latinskem zahodu. V visokem srednjem veku je bil ta model na neki način potisnjen v ozadje, saj so bili srednjeveški avtorji prisiljeni narediti nekakšen kompromis med Aristotelovim koncentričnim modelom in ptolemajskim modelom ekscentrov in epiciklov, pri čemer je glavno tezo pojasnjevanja nosil drugi. (Več o tem E. Grant, *Planets, Stars, and Orbs*, str. 271–315.) V Kopernikovem času sta homocentrično teorijo obudila G. B. Amici leta 1536 v knjigi *De motibus corporum caelestium iuxta principia peripatetica sine excentricis et epicyclis*, Fracastoro pa – neodvisno od Amicija – v delu *Homocentrica*, ki je izšlo leta 1538 v Benetkah. Mogoče je, ne pa tudi potrjeno, da je Kopernik Girolama Fracastora spoznal v Padovi med leti 1501 in 1508, kjer je le-ta poučeval logiko.

¹⁷ *Komentarček.*

¹⁸ N. Swerdlow, »The Derivation and First Draft of Copernicus' Planetary Theory: A Translation of the Commentariolus With Commentary«, str. 434.

¹⁹ *Komentarček.*

Osnovni matematični orodji ptolemajske astronomije sta ekscenter ter epicikel, vendar mora Ptolemaj v določenih primerih, da ne bi povečeval števila krogov, ki jih potrebuje za pojasnitev gibanja določenega nebesnega telesa, odstopiti od načela enakomernega krožnega gibanja oziroma najti način, da od njega na videz ne odstopi. Ptolemajev izhod iz zagate je sledeč: gibanje planeta je enakomerno, toda ne v razmerju do njegovega središča, temveč v razmerju do neke ekscentrične točke v deferentnem krogu, ki jo je imenoval ekvant. Ali kot pravi Kopernik: te teorije »namreč niso zadoščale, razen če si ni zamislilo nekake 'izenačujoče' kroge (*equantes circulos*), na podlagi katerih je bilo videti, da se planet ne giblje vedno z enakomerno hitrostjo niti po njegovi deferentni sferi niti z ozirom na njegovo lastno središče.«²⁰ V tem Ptolemajevem modelu Zemlja ne leži niti v geometričnem središču koncentričnih krožnic niti ne predstavlja resničnega središča gibanja, ampak je glede na geometrično središče vesolja ekscentrična, tako kot tudi resnično središče gibanja – to je *punctum equans*. Zahtevana enakomernost gibanja planetov je privzeta glede na to imaginarno, nematerialno točko zunaj Zemlje.



Planet (P) se giblje po epiciklu, katerega središče (S) se giblje po deferentu. Središče (deferenta) je negibno, vendar ne sovпада z Zemljo (Z): deferent je z ozirom na Zemljo ekscentričen. Središče epicikla se ne giblje enakomerno, uniformno, niti v razmerju do svojega lastnega središča (F) niti v razmerju do Zemlje (Z), temveč v razmerju do točke E, to je ekvanta (*punctum aequans*), ki je na premici ZFA, in sicer tako, da velja $EF = FZ$. Črta EH se obrača z enakomerno, uniformno, kotno hitrostjo okoli E, gibanje planeta na epiciklu se meri iz iste črte. Položaj planeta je tako odvisen od spremenljivk a in g . Ptolemaj ohranja enakomerno kotno hitrost, ne pa enakomerne linearne hitrosti.²¹

V čem je torej srž Kopernikovega ugovora ptolemajski astronomiji?²² Kar zadeva izračune je ptolemajska astronomija ustrezna, kar ne ustreza, je njeno

²⁰ *Ibid.*

²¹ Povzeto po G. E. R. Lloyd, *Greek Science After Aristotle*, str. 123. Glej tudi Swerdlowovo rekonstrukcijo ptolemajskega modela na podlagi Regiomontanovega *Epitoma Almagesta* IX, 6, *op. cit.*, str. 434–435.

²² Tudi ta ugovor ptolemajski astronomiji ni Kopernikova invencija. Pojavil se je že pri astronomih maraške šole astronomije (po mestu Marāgha), ki so svojo kritiko usmerjali predvsem proti sferičnim modelom, kot so bili opisani v Ptolemajevih *Planetarnih hipotezah*. Zanimive koncidence med nekaterimi Kopernikovimi rešitvami in modeli, ki so jih razvili predstavniki maraške šole, so privedle do sklepa, da je Kopernik na neki način moral poznati to astronomsko tradicijo, kljub temu, da je nikjer ne omenja, in kljub temu, da do sedaj še ni bil odkrit noben neposreden vir, iz katerega bi Kopernik

kršenje načela enakomernega krožnega gibanja. Kopernikov ugovor Ptolemajevemu modelu je, da gibanje središče epicikla v razmerju do središča s katerim ohranja stalno razdaljo, ni enakomerno. Razlog za ta ugovor pa je Kopernikovo prepričanje, da se planet giblje skupaj z revolucijo materialne sfere, v kateri je umeščen. Edino gibanje, s katerim se lahko giblje sfera, ki je »popolna okroglost«, pa je enakomerna rotacija, vrtenje okoli lastne osi; vsako gibanje okoli premice, ki ne bi bila njen premer (kot je to v primeru ekvanta), bi ne bilo enakomerno, oz. bi sfero celo vrglo iz njenega mesta. Kopernikov ugovor zoper neenakomerno gibanje sfer, ki ga predpostavlja Ptolemajeva koncept ekvanta, je torej kinematičen (oz. »mehaničen«)²³ oziroma, rečeno drugače, fizikalen in kozmološki. Ekvant ni problem, če ga mislimo matematično, problem za postulirano enakomernost gibanja sfere postane, če ga mislimo fizikalno oz. kozmološko.

lahko črpal. Za kratek pregled relevantne arabske astronomije in maraške šole gl. O. Neugebauer in N. Swerdlow, *Mathematical Astronomy in the Copernicus' 'De revolutionibus'*, str. 41–47, kjer je na str. 46, op. 7 navedena tudi temeljna literatura (gl. predvsem članke E. S. Kennedyja), ter N. Swerdlow, *op. cit.*, str. 424–426.

²³ Tako ga označi Swerdlow, *op. cit.*, str. 435. P. Barker, »Copernicus, the Orbs, and the Equant«, str. 318, popolnoma upravičeno pripominja, da je takšno oznako treba razumeti ahistorično, saj v Kopernikovem času ni obstajala nobena kanonična mehanika, na podlagi katere bi lahko potegnili takšne sklepe. Ta kinematika (oz. »mehanika«) je – v nasprotju od tega, kar trdi Swerdlow – utemeljena na določeni filozofiji in metafiziki, ki bi jo lahko na kratko označili kot metafiziko sfere oz. krogle. Načelo enakomernega gibanja nebesnih sfer pri Koperniku res ne temelji na filozofskem oz. metafizičnem načelu gibanja, ki je lastno substanci nebes, na Aristotelovi tezi, da se morajo nebesne sfere gibati z enakomernim krožnim gibanjem, ker je njihova substanca iz etra (to ima Swerdlow prav), ta pa zaradi svoje božanskosti ne dopušča nobene druge spremembe razen enakomernega krožnega gibanja, temveč izhaja, kot je očitno že iz prvih stavkov *Komentarčka* in kasneje tudi iz prve knjige *De revolutionibus*, na sferični, kroglasti, obliki nebesnih teles. Cf. *De revolutionibus* I, 4: »Po tem si bomo priklicali v spomin, da je gibanje nebesnih teles krožno. Gibljivost sfere je namreč obračanje v krogu; s tem dejanjem izraža svojo obliko v najenostavnejšem telesu, pri katerem ni moč najti začetka in konca niti ločiti enega od drugega, ko se na istem mestu giblje v samem sebi.« V nadaljevanju Kopernik opravi miselni eksperiment, v katerem obravnava možnosti neenakomernega gibanja nebesnih teles, ki se gibljejo skupaj s svojimi sferami. Prav vse razloge, ki jih navede proti tej možnosti, lahko označimo za filozofske oziroma metafizične: »... kajti ne more se zgoditi, da bi ena sfera neenakomerno gibala enostavno nebesno telo. To bi se moralo zgoditi ali zaradi nestanovitnosti gibalne sile – najsi je privzeta od drugod, ali po naravi notranja – ali zaradi neenakosti vrtečega se telesa. Ker pa razum z grozo zavrača oboje in ker si je nevredno zamisliti kaj takšnega v tistih stvareh, ki so vzpostavljene v najboljšem redu, je treba priznati, da se nam njihova enakomerna gibanja pojavljajo kot neenakomerna.«

3.

Kopernikova analiza stanja astronomije v *Predgovoru* je torej, vsaj na začetku, nekakšna presečna množica uvodnih odstavkov *Komentarčka* in zadnjega odstavka *Uvoda*. Astronomijo pestita dve težavi: astronomija ni sposobna »pokazati in opazovati stalne velikosti tropskega leta«, se pravi, da se teorija ne ujema z opazovanji, obenem pa so teorije, ki skušajo opisati gibanja nebesnih teles, v medsebojnem nasprotju. Obstajata dve tradiciji, dve šoli astronomije, ki izhajata iz različnih načel in predpostavk. Na eni strani obstaja astronomija, ki se opira na teorijo homocentričnih oz. koncentričnih sfer, na drugi strani astronomija, ki temelji na teoriji ekscentrov in epiciklov, kar pomeni, da iste nebesne pojave pojasnjujeta dve različni, nasprotujoči si teoriji:

»Nadalje: pri vzpostavitvi gibanj tako onih <dveh nebesnih teles>²⁴ kot drugih petih tavajočih zvezd tudi ne uporabljajo istih načel in predpostavk ter dokazov pojavnih revolucij in gibanj. Nekateri uporabljajo samo homocentre, drugi ekscentre in epicikle, s katerimi pa vseeno ne dosežejo v celoti tistega, kar so želeli.«

Ti dve astronomski tradiciji si nasprotujeta v izhodiščnih načelih, predpostavljata ali koncentrične ali ekscentrične sfere, in sta torej medsebojno izključujoči. Poleg tega pa sta ti dve astronomski tradiciji, tudi če ju obravnavamo vsako samo zase, nezadostni:

»Kajti tisti, ki zaupajo homocentrom, niso mogli na podlagi tega vzpostaviti nič gotovega – četudi so pokazali, da je mogoče iz njih sestaviti nekatera nepravilna gibanja –, kar bi, se razume, ustrezalo pojavom. Tisti pa, ki so si izmislili ekscentre, so morali, čeprav so z njimi, kot se zdi, podali ustrezne številčne podatke za velik del pojavnih gibanj, vmes vendarle dopustili veliko stvari, za katere je videti, da so v nasprotju s prvotnimi načeli o enakomernosti gibanja.«

Pomanjkljivost astronomije, ki v pojasnjevanju gibanj nebesnih teles uporablja sistem homocentričnih sfer, je v tem, da je z njeno pomočjo mogoče samo delno, ne pa v celoti, pojasniti nepravilna gibanja nebesnih teles, se pravi, da z njo ni mogoče podati trdne razlage gibanja nebesnih teles, tj. razlage, ki bi »ustrezala fenomenom«. To težavo skuša reševati astronomija, ki uporablja ekscentre in epicikle, ki ravno tako kot prva uporablja krožna gibanja in sfere, ki nosijo nebesna telesa, vendar pa te sfere z Zemljo niso koncentrične temveč ekscentrične. Ta model zagotavlja ujemanje med opazovanimi fenomeni in teorijo – saj podaja »ustrezne številčne podatke za velik del pojavnih gibanj« –, njegova težava pa je, da temelji na napačnih izhodiščih, na izhodiščih

²⁴ Tj. Sonca in Lune.

čih »za katere je videti, da so v nasprotju s prvotnimi načeli o enakomernosti gibanja,« se pravi, da uporablja ekvant. Pomankljivost prvega sistema je, v Kopernikovi rekonstrukciji, privedla do vzpostavitve drugega, katerega prednost je, da podaja ustrezne izračune za gibanja nebesnih teles, problem pa v tem, da so zagovorniki tega sistema »vendarle dopustili veliko <izhodišč>, za katere je videti, da so v nasprotju z prvotnimi načeli o enakomernosti gibanja«. Medtem ko homocentrična teorija ne nasprotuje prvotnim načelom o enakomernosti gibanja, je pa ni mogoče uskladiti z opazovanji, je druga teorija, ki je v dovolj veliki meri skladna z opazovanji, neskladna s prvotnimi astronomskimi načeli, oz. z načelom o enakomernosti krožnega gibanja nebesnih teles.

Kopernik razume ti dve teoriji torej kot povezani. Pomankljivosti prve (ne ustreza pojavom), ki sicer temelji na pravilnih načelih (upoštevata tako krožnost gibanj nebesnih teles kot tudi njihovo enakomernost, uniformnost), je privedla do druge, ki zadosti dobro ustreza nebesnim pojavom, vendar pa mora zato zavreči enega od dveh temeljnih postulatov antične astronomije, to je načela, da mora biti gibanje nebesnih teles enakomerno oz. uniformno. Zdi se, da hoče Kopernik odstraniti pomankljivosti ene teorije s prednostmi druge: odpraviti neustreznosti sistema deferent-epicikel, ki implicira med drugim že omenjeni *punctum equans* (ali *circulus equans*) in tako omogočiti enakomerno krožno gibanje, obenem pa reproducirati različne razdalje planetov do Zemlje, ki jih teorija homocentričnih sfer ne zmore. Rečeno drugače: Kopernik skuša združiti računске zmožnosti ene in fizikalni, kozmološki, model druge; išče model, ki bo ustrezen tako matematično kot fizikalno.

To nas pripelje do dodatnega in temeljnega Kopernikovega ugovora ptolemajski astronomski tradiciji. Astronomi niso sposobni odkriti in pokazati najvažnejšega: oblike sveta. Na podlagi česa pride Kopernik do tako kategorične kritike? Za Kopernika – tako kot pred njim tudi že za Snecanusa²⁵ in Fracastora²⁶ – je univerzum ptolemajske astronomije *monstrum*, vendar

²⁵ V uvodu k Peurbachovemu delu *Theoricae novae planetarum* se Snecanus pritožuje, da so astronomi prisiljeni pripisati nebesnim sferam tako »monstruozen«, nakazen, lik, da ne bi bilo mogoče misliti, če bi imeli prav, ničesar bolj diformnega, kot je nebo.

²⁶ V *Homocentrica* zahteva, zaradi nakaznosti nebesnih sfer, obnovo (*renovatio*) astronomije, s katero bi astronomijo vrnil k pravim načelom aristotelske kozmologije, tj. k homocentričnim oz. koncentričnim sferam: »Na zmoten in v določeni meri brezbožen način so dojeli ta božanska telesa, jim dali položaje in like, ki nikakor ne ustrezajo nebu. Toda v resnici, je proti tem ljudem vsa Filozofija in še več, vsa Narava in sfere same so vedno protestirale; pravzaprav se do danes ni našel nihče, vreden imena Filozofa, ki bi si drznil umestiti te monstruozne sfere med božanska in izjemno dovršena telesa ... Tako je Astronomija vse do današnjega dne zagotovo ostala, ker na tem področju ni bilo najti ničesar, <kar bi bilo dostojno neba>, monstruozna in v veliki meri nedovršena.« Prev. po fr. prevodu F. Hallyna, *La structure poétique du monde: Copernic, Kepler.*, str. 61.

pa ima za to prepričanje specifične razloge. Fracastoro vidi nakaznost ptolemajske astronomije predvsem v njeni uporabi ekscentrov in epiciklov, ki predstavljajo, če jih primerjamo z relativno nezapletenim sistemom koncentričnih sfer, dokaj zapleten in nenavaden mehanizem za reprodukcijo gibanj nebesnih teles, Kopernik pa sklepa o nakaznosti univerzuma ptolemajske astronomije ne izpelje iz njene uporabe ekscentrov in epiciklov, temveč iz dejstva, da v astronomiji ptolemajske tradicije posamezni deli univerzuma nimajo skupne mere, da – če jih postavimo skupaj –, ne tvorijo trdne, gotove, določene, »simetrične« celote, da niso umerjeni po določeni, trdni, gotovi, skupni meri:

»Ravno tako niso mogli odkriti ali pa iz njih izpeljati najvažnejšega, namreč oblike sveta (*mundi formam*) in določene somernosti (*certam symmetriam*) njegovih delov, pač pa se jim dogaja, kot če bi kdo z različnih mest vzal roke, noge, glavo in druge dele telesa, ki bi bili sicer zelo dobro naslikani, vendar ne, če jih primerjamo z enim in istim telesom, ter se med seboj ne bi nikakor ujemali, tako da bi se iz njih prej sestavila nakaza (*monstrum*) kakor pa človek.«

Kopernikova kritika temelji na neki tihi predpostavki, že predpostavlja določeno »obliko« sveta. To je harmoničen univezum, katerega deli so v trdnem so(raz)merju, oziroma imajo neko skupno enoto, na podlagi katere jih je mogoče postaviti skupaj v trdno celoto. Kopernik že vnaprej verjame, da je vesolje urejeno v matematični harmoniji, da so njegovi deli medsebojno soizmerljivi – *symmetria* ne pomeni nič drugega kot »skupna mera«, »meriti skupaj«. »Deli sveta«, ki jih astronomija reproducira, morajo biti – postavljeni skupaj – deli ene in iste celote, kar pomeni, da je celotna realnost podvržena nekemu enotnemu načelu, ki organizira Celoto. Ker ptolemajska tradicija ne reproducira te postulirane »simetrije« delov celote, ker univerzuma ne subsumira v matematično harmonijo, proizvaja *monstrum*; in ker proizvaja *monstrum*, ne izkazuje resnične »oblike« sveta. Če teorija ni sposobna razkriti trdne »simetrične« podobe Vsega, potem ne predstavlja ustrezne razlage dejanskega stanja stvari.

Kopernikova literarna predloga pri tem opisu podobe sveta, ki jo podaja tradicionalna astronomija epiciklov in ekscentrov, je Horac, ki v *De arte poetica epistula ad Pisones* (ali *Ars poetica*)²⁷ takole razmišlja o pesnikovanju:

»Vzemi, recimo, slikarja, ki spalčil je čudno nakazo:
glavo prelepe žené, nasajeno na konjsko zatilje, ude posnete po raznih
živalih, v pisanem perju,
zdolaj za konec pa rep ogavno črnikaste ribe:

²⁷ Nav. po K. Gantar (ur.), *O pesništvu*, prev. A. Sovre, str. 75.

kdo ne bi udaril v smeh, ki prišel bi povabljen jo gledat?
Sliki je tej, verjemite Pisoni, podobna pesnitev,
ako se motajo v nji prividi ko bolnega sanje,
takšni, da noga ne glava ni del jim oblike enotne.«

Podoba sveta, ki izhaja iz astronomske teorije, temelječe na ekscentrih in epiciklih, je torej podobna pesnitvi, v kateri se motajo »prividi ko bolnega sanje«, oziroma podobi stvora, katerega udje niso »del oblike enotne«. Toda kaj to dejansko pomeni? Zakaj je ptolemajska astronomija ekscentrov in epiciklov podobna podobi »čudne nakaze«?

Kopernikov poetični oz. estetski²⁸ ugovor ptolemajski astronomiji ima svoj astronomski prevod, meri namreč na neko specifično dejstvo ptolemajske astronomije, to je na določanje ureditve planetov in njihove oddaljenosti od središča univerzuma. Tako Ptolemaj kot Kopernik²⁹ sicer uporabljata načelo, ki ga najdemo že pri Aristotelu³⁰, da daljši obhodni čas planetov ustreza njihovi večji razdalji od središča njihovega gibanja (načelo sorazmernosti časov in razdalj), vendar pa je to načelo pri Ptolemaju mogoče uporabiti samo za zunanje planete,³¹ poleg tega je mogoče pri Ptolemaju deferent in epicikel kateregakoli planeta zmanjšati ali povečati, ne da bi s tem vplivali na velikosti drugih planetarnih orbit in na položaj planeta, v katerem ga je mogoče z Zemlje videti na zvezdnem ozadju. Pri Ptolemaju je razporeditev planetarnih sfer sicer mogoče določiti ob predpostavki razmerja med velikostjo orbite in obhodnim časom, ravno tako je mogoče določiti relativne dimenzije orbit s pomočjo nadaljnje predpostavke, da je najmanjša razdalja planeta od Zemlje enaka največji razdalji med Zemljo in naslednjim notranjim planetom. Toda nobena od teh dveh prepostavk ni nujna, obe sta arbitrarni, saj je v Ptolemajevem sistemu mogoče napovedovati položaje planetov, ne da bi uporabili katero od teh dveh prepostavk. Ureditev nebesnih teles bi bila lahko tudi drugačna, lahko bi jih umestili kamorkoli, če je le ohranjeno razmerje med velikostjo polmera deferenta in epicikla. Skratka, deli univerzuma nimajo gotove, določene, trdne, fiksirane somernosti, postavljeni skupaj niso »del oblike enotne.«³²

²⁸ Cf. tudi O. Gingerich, »'Crisis' versus Aesthetic in the Copernican Revolution«. Gingerich upravičeno kritizira Kuhnovo interpretacijo Kopernikovega *Predgovora* kot opisa krize astronomske paradigme.

²⁹ Cf. *De revolutionibus* I, 10: »Toda starodavni filozofi so želeli urediti niz tavajočih zvezd glede na velikost njihovih revolucij, ob sprejetem preudarku, da je pri <nebesnih telesih>, ki potujejo z isto hitrostjo, videti, da se tista, ki so bolj oddaljena, gibljejo počasneje, kot je pokazano pri Evklidu v *Optiki*.«

³⁰ Cf. *De caelo* II, 10.

³¹ Povzemam T. Kuhna, *op. cit.*, str. 174–177.

³² Cf. tudi N. M. Swerdlow in O. Neugebauer, *op. cit.*, str. 59: »The heliocentric theory – philosophical quibbles aside – gives the order and distances of the planets unambigu-

Opis kritičnega stanja astronomije v *Predgovoru* ima tudi epistemološko funkcijo. Zagovorniki ptolemajske astronomske tradicije izrisujejo monstruozno podobo univerzuma, kar je posledica dejstva, da je sama teorija, ki jo uporabljajo, na neki način »monstruozna«. Nezmožnost izpeljati »simetrično«, somerno strukturo sveta pripíše Kopernik pomanjkljivostim v načelih astronomskega spoznavanja. Postulirana »določena somernost« oz. harmonija med deli univerzuma napotuje na harmonijo v načelih spoznavanja. Ker te harmonije med deli tega sveta, ki ga opisuje teorija epiciklov in deferentov, ni, ker proizvaja stvar, sledi, da ni harmonije med načeli spoznavanja:

»Iz tega torej izhaja, da so v postopku dokazovanja, ki ga imenujejo *methodon*, bodisi izpustili nekaj nujnega ali pa iznašli kaj tujega, kar s stvarjo nima nikakršne zveze. Toda to bi se jim zagotovo ne bilo primerilo, če bi se držali trdnih načel. Kajti če njihove privzete hipoteze ne bi bile napačne, bi se brez dvoma moralo potrditi tudi vse, kar iz njih izhaja.«

Če bi imeli harmonično teorijo, to je teorijo, ki ne izpušča nič nujnega, in ki obenem ne dopušča nič tujega predmetu obravnave, bi dobili realno podobo sveta, katerega konstitutivni deli so v medsebojno trdnih in fiksiranih razmerjih. Kot je mogoče sklepati na podlagi *Predgovora*, je za Kopernika tisto »nujno«, kar ti astronomi izpuščajo, gibanje Zemlje, tisto »tuje, kar s stvarjo nima nikakršne zveze«, pa neenakomerno krožno gibanje. Torej je tisto, kar je na teoriji, ki jo Kopernik kritizira, monstruoznega, posledica tega, da je iz svojih načel in predpostavk izustila gibanje Zemlje in dopustila nekaj tujega, to je ekvant, ki zanika uniformnost gibanja.

Stanje astronomije je torej kritično: astronomi si niso »skladni v teh raziskavah«, saj so negotovi »glede gibanja Sonca in Lune«, in ne morejo »pokazati in opazovati stalne velikosti tropskega leta«, obenem pa tudi »ne uporabljajo istih načel in predpostavk ter dokazov pojavnih revolucij in gibanj«. Poleg tega, da si astronomske teorije nasprotujejo v izhodiščnih načelih, tudi same zase niso ustrezne: medtem ko zastopniki homocentričnega modela ne morejo podati pravih izračunov za položaje nebesnih teles, so tisti, ki prisegajo na ekscentre in epicikle, »moralni, čeprav so z njimi, kot se zdi, podali ustrezne številčne podatke za velik del pojavnih gibanj, vmes vendarle dopustili veliko stvari, za katere je videti, da so v nasprotju s prvotnimi načeli

ously and under the reasonable assumption that the equation of the anomaly shows the ratio of the radii of the planet's and earth's orbits. In so doing, it makes the planetary system into a single whole in which no parts can be arbitrarily rearranged. By contrast, in the geocentric theory the radii of the eccentrics and epicycles are known only relatively, one planet at a time, and only by additional assumptions such as the contiguity of successive spheres, can the order and distances of the planets be determined.«

o enakomernosti gibanja«. In še več, na podlagi ptolemajskega modela ekscentrov in epiciklov ne morejo »odkriti ali pa iz njih izpeljati najvažnejšega, namreč oblike sveta in določene somernosti njegovih delov«.

Kaj je vzrok za tako stanje? Zakaj astronomija ne more podati realne slike sveta? Ali je predmet astronomije sam po sebi nespoznat? Ali pa je mogoče intrizična lastnost človeškega duha, da ni sposoben odkriti skrivnosti Vsega?

Že sam Kopernikov ugovor ptolemajski astronomiji, da ni sposobna odkriti in pokazati »najvažnejšega«, to je »oblike sveta«, implicira, da zanj naloga astronomije ni zgolj napovedovanje položajev nebesnih teles, temveč mora biti sposobna podati realno ureditev univerzuma, kar pomeni, da Kopernik verjame, da je mogoče razvozlati uganke »oblike« sveta in da tega ne preprečuje niti predmet astronomije sam po sebi niti ne nesposobnost človeškega mišljenja. Kritično, »monstruozno« stanje astronomske znanosti ga ne vodi v skepticizem, v ponižnost človeškega duha pred nedoumljivostjo božjega stvarstva, kar je bila posledica, ki jo je iz »monstruoznosti« astronomije izpeljal že omenjeni Snecanus,³³ niti ne verjame, da je edini dostop do resnice sveta od Boga razodeta resnica, v kar je verjel Osiander,³⁴ temveč verjame, da je mogoče skrivnosti sveta razkriti z močmi, ki jih ima človeško mišljenje, saj je bil svet narejen od najboljšega in najbolj popolnega rokodelca, »umetnika«, in sicer za nas:

»Ko sem sam pri sebi dolgo premišljal o tej negotovosti matematičnih tradicij o preračunavanjih gibanj sfer sveta, me je začelo motiti, da filozofi, ki sicer tako skrbno preiskujejo najmanjše stvari taistega sveta, niso izdelali nobene bolj gotove razlage gibanj svetovnega stroja, ki ga je za nas (*propter nos*) naredil najboljši in najpopolnejši Tvorec izmed vseh (*ab optimo et regularissimo opifice*).«

Izhodišče Kopernikovega projekta je sicer negotovost, ki vlada pri razlagah gibanj sfer *machinae mundi*, vendar pa tej negotovosti zoperstavi spoznavni optimizem, ki si ga je bilo še stoletje ali dve pred njim nemogoče zamisliti:³⁵ zanj »nakaznost« sveta ni niti posledica predmeta astronomije, saj je bil »svetovni stroj« narejen od najboljšega umetnika, tj. Boga, torej je tudi sam, kot

³³ Cf. F. Hallyn, *op. cit.*, str. 50.

³⁴ Cf. Osiander, *Bralcu o hipotezah tega dela*: »Ker pa se včasih za eno in isto gibanje ponujajo različne hipoteze (tako kot v primeru gibanja Sonca ekscentričnost in epicikel), bo astronom najmočnejše poprijel tisto, ki je tako rekoč najlažja za dojetanje; filozof bo nemara zahteval verjetnost; kljub temu pa nobeden ne bo dojel ali posredoval karkoli gotovega, razen če mu ne bo razodeto od Boga.«

³⁵ Ali tudi že pri Ptolemaju. O tem več F. Hallyn, *op. cit.*, str. 39isl.

njegov izdelek, popoln, pravilen, niti ni posledica naše nesposobnosti, da ga dojamemo, saj je bil narejen za nas, torej ga moramo biti sposobni spoznati. »Kopernik misli,« kot pravi F. Hallyn, »razmerje med Bogom in človekom na način globoke afinitete in ne več na način radikalne razdvojitve.«³⁶ In ta načelna spoznavnost sveta je razlog, da se je, pravi, lotil »ponovnega branja knjig vseh filozofov, ki ... jih <je> lahko dobil, iščoč, ali ni bil nihče mnenja, da obstajajo tudi druga gibanja sfer sveta, kot so jih postavili oni, ki v šolah poučujejo matematične vede«. Ker so trenutno prevladujoče teorije protislovne in neustrezne, ker ne zmorejo podati najvažnejšega, tj. »oblike sveta«, je smiselno in logično iskati med tezami, ki jih prevladujoče teorije zanikajo. Se pravi, ker temelji teorija, ki jo Kopernik kritizira zaradi neupoštevanja uniformnosti gibanja in ker podaja spačeno podobo univerzuma, na predpostavki mirovanja Zemlje, je logično, da začne iskati med teorijami, ki trdijo nasprotno. Tako našteje dva pisca, ki poročata o drugačnih razlagah gibanj sfer sveta, namreč o antičnih teorijah zagovornikov gibanja Zemlje: Cicera,³⁷ ki se sklicuje na Teofrasta, ta pa poroča o Hiketasu iz Sirakuz, ki je zagovarjal gibanje Zemlje okoli njene osi, in (psevdo) Plutarha,³⁸ ki poroča »o nekaterih drugih, ki so bili istega mnenja«, to je o Filolaju iz Krotona, Haraklidu iz Ponta in Ekfantu. Navajanje antičnih zagovornikov gibanja Zemlje mu omogoči, da se umesti v linijo znanstvene tradicije, ki je bila dovolj pomembna, da jo je zgodovina ohranila, obenem pa Kopernik tudi zahteva, da velja za koncept gibanja Zemlje, kljub njegovi navidezni absurdnosti, ista mera svobode, kot so jo imeli njegovi predhodniki, ki so za pojasnjevanje gibanj nebesnih teles uvajali raznorazne kroge in mehanizme.

»Tako sem torej dobil priložnost in sem začel tudi sam razmišljati o gibljivosti Zemlje. In četudi je bilo to mnenje videti absurdno, sem vseeno, ker sem vedel, da je bila drugim pred menoj dopuščena svoboda, da so si zamišljali kakršnekoli kroge za prikazovanje zvezdnih pojavov, presodil, da bo tudi meni lahko dopuščeno, da preizkusim, ali je mogoče glede revolucije nebesnih sfer ob predpostavki nekega gibanja Zemlje najti bolj trdne dokaze, kot so bili njihovi.«

³⁶ *Ibid.*, str. 63.

³⁷ *Disputationes academicae* II, 39, 123: »Niketas iz Sirakuz meni, kot pravi Teofrast, da nebo, sonce, luna, zvezde in nazadnje vse nebesna telesa stoje, in da se v vesolju, razen Zemlje, nič ne giblje; medtem ko se ta obrača okoli svoje osi in vrtili z največjo hitrostjo, nastanejo vsi tisti pojavi, ki bi nastali, če bi se nebo obračalo, Zemlja pa mirovala.«

³⁸ Gre za delo *De placitis philosophorum* III, 13, ki so ga v Kopernikovem času zmotno pripisovali Plutarhu.

4.

Kaj torej prinaša Koperniku gibanje Zemlje? V katerem oziru je mogoče »glede revolucije nebesnih sfer ob predpostavki nekega Zemljinega gibanja najti bolj trdne dokaze, kot so bili njihovi«?

Temeljni Kopernikov ugovor astronomiji je bil, da astronomi niso sposobni izpeljati najvažnejšega, namreč »oblike sveta«, in gotove, določene, trdne, somernosti njegovih delov. Njihov univerzum je podoba spake, nakaze, pri čemer je ta neharmonična, nesomerna, podoba sveta posledica »neharmoničnega« dokazovanja, ki je zopet rezultat tega, da so astronomi iz svojih principov ali »izpustili nekaj nujnega« (gibanje Zemlje) ali pa »iznašli kaj tujega, kar s stvarjo nikakor nima zveze« (neuniformno gibanje nebesnih sfer). Po Kopernikovem prepričanju je moč njegove teorije v tem, da se izogne tej nevarnosti: upošteva gibanje Zemlje (dejansko več različnih gibanj: gibanje okoli lastne osi, gibanje okoli Sonca in gibanje nagiba Zemljine osi) in načelo uniformnega krožnega gibanja, je zmožna podati trdno in harmonično podobo sveta. Ker je njegova teorija »harmonična«, ker iz svojih principov ne izpušča ničesar nujnega in ne dopušča nič tujega, lahko izpolni obe nalogi, ki jih mora po Kopernikovem mnenju opraviti astronomija: poda lahko izračune položajev nebesnih teles ter pojasni ureditev in notranjo koherentnost univerzuma. Navezava gibanj planetov na različna gibanja Zemlje (med katerimi je bistveno njeno gibanje okoli Sonca), ne omogoča samo izračunov, ki se ujemajo z opazovanji, temveč pojasnjuje tudi ureditev vseh planetov in sfer. Kopernikova teorija podaja harmonično ureditev Celote, v katerem so vsi njeni deli tako medsebojno povezani, da posameznih delov ni mogoče poljubno prenašati z enega mesta na drugega, ne da bi s tem naredili zmede v drugih delih in celotnem univerzumu. Skratka, upoštevanje gibanj Zemlje onemogoča arbitrarnost in v posledici monstroznost univerzuma, ki je prisotna v ptolemajski astronomski tradiciji, in tako omogoča podati sliko sveta, v katerem so vsi elementi »deli oblike enotne«:

»Tako sem ob predpostavki gibanj, ki jih v nadaljevanju dela pripisujem Zemlji, po številnih in dolgih opazovanjih, končno odkril: če primerjamo gibanja preostalih tavajočih zvezd s kroženjem Zemlje in so le-ta izračunana za revolucijo vsake zvezde, iz tega ne sledijo samo njihovi pojavi, temveč tudi razporeditve in velikosti vseh zvezd in sfer; in da je nebo samo tako povezano, da ni mogoče nečesa prenesti v noben njegov del, ne da bi s tem nastala zmeda v preostalih delih in celotnem univerzumu.«

Kaj to konkretno pomeni, kakšna je ta »razporeditev« in »povezava neba«, ki rezultira iz gibanja Zemlje, je opisano v znamenitem 10. poglavju prve knjige *O revolucijah*:

»Zaradi tega – ob predpostavki, da ostane primarno načelo sprejeto kot veljavno (nihče ne bo namreč navedel bolj ustreznega, kot je tisto, da se velikost sfer meri z dolžino <obhodnega> časa) – sledi razporeditev sfer, začenši od najvišje, takole:

Prva in najvišja od vseh je sfera zvezd stalnic, vsebujoča samo sebe in vse stvari, ter zato negibna; vsekakor mesto univerzuma, na katero se nanaša gibanje in položaj vseh ostalih zvezd. Kar pa zadeva to, da nekateri ocenjujejo, da se na neki način spreminja – z vpeljavo zemeljskega gibanja bomo mi temu pojavu pripisali drug vzrok. Sledi prva od tavajočih zvezd, Saturn, ki zaključi svoj krožni obhod v 30 letih. Sledi Jupiter, ki se giblje z revolucijo 12 let. Potem je Mars, ki okroži <Sonce> v 2 letih. Četrto mesto v ureditvi zavzema letna revolucija, ki, tako smo rekli, vsebuje Zemljo z Lunino sfero, ki je kot njen epicikel. Na petem mestu je Venera, ki se vrne nazaj v devetem mesecu. In nazadnje, šesto mesto zavzema Merkur, ki pride okoli v 80 dneh. Sredi vseh pa prebiva Sonce.«

Malce kasneje pa Kopernik sklene:

»V tej ureditvi najdemo torej občudovanja vredno somernost sveta in trdno harmonično povezavo med gibanjem in velikostjo sfer, kakršno je na drug način nemogoče odkriti. To namreč omogoča ne nepozornemu opazovalcu opaziti, zakaj se pri Jupitru pojavlja večji pomik naprej in pomik nazaj kot pri Saturnu in manjši kot pri Marsu ter zopet večji pri Veneri kot pri Merkurju; in da se takšno gibanje naprej in nazaj bolj pogosto pojavlja pri Saturnu kot pri Jupitru, vendar pa bolj poredko pri Marsu in Veneri kot pri Merkurju; nadalje to, da so Saturn, Jupiter in Mars na začetku noči bližji Zemlji kot ob njihovem skritju ter ponovni pojavitvi; predvsem pa, da je Mars, ko je skozi vso noč na nebu, videti po velikosti enak Jupitru (razločen od njega kvečjemu po rdečkasti barvi), tam pa ga je najti komaj med zvezdami druge velikosti, in je poznan samo tistim, ki ga spremljajo z marljivim opazovanjem. Kar vse izhaja iz istega vzroka, ki je gibanje Zemlje.«

Literatura

- Aristotel, *Metafizika*, prev., spremna beseda, opombe in glosarij V. Kalan, Založba ZRC, Ljubljana 1999.
- Aiton, E. J., »Peuerbach's 'Theoricae novae planetarum': A Translation with Commentary«, *Osiris*, 2 (3/1987), str. 5–44.
- Barker, P., »Copernicus, the Orbs, and the Equant«, *Synthese* 83 (1990), str. 217–223.

- Gingerich, O., »'Crisis' versus Aesthetic in the Copernican Revolution«, *Vistas in Astronomy* 17 (1975), str. 85–94.
- Grant, E., *Planets, Stars, and Orbs. The Medieval Cosmos, 1200–1687*, Cambridge University Press, Cambridge, Mass. 1996.
- Hallyn, F., *La structure poétique du monde: Copernic, Kepler*. Seuil, Pariz 1987.
- Hugonard-Roche, H., in Verdet, J.-P. (ur.), »Rheticus Narratio Prima«, *Studia Copernicana* 20 (1982).
- Hugonard-Roche, H., Rosen, E., in Verdet, J.-P., *Introduction à l'astronomie de Copernic*, Blanchard, Pariz 1975.
- Kennedy, E. S., »Late Medieval Planetary Theory«, *Isis* 57 (1966), str. 365–378.
- Kuhn, T. S., *Struktura znanstvenih revolucij*, prev. G. Jurman in S. Krek, Krtina, Ljubljana 1998.
- Kuhn, T. S., *The Copernican Revolution. Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*, Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1957.
- Lloyd, G. E. R., *Early Greek Science. Thales to Aristotle*, Chatto and Windus, London 1982.
- Lloyd, G. E. R., *Greek Science after Aristotle*, W. W. Norton, London/New York 1973.
- Neugebauer, O., in Swerdlow, N., *Mathematical Astronomy in the Copernicus' 'De revolutionibus'*, Berlin/Heidelberg/New York 1984.
- Neugebauer, O., »On the Planetary Theory of Copernicus«, *Vistas in Astronomy* 10 (1968).
- Gantar, K. (ur.), *O pesništvu*, Mladinska knjiga, Ljubljana 1963.
- Ptolemaj, *Ptolemy's Almagest*, prev. in op. G. J. Toomer, Princeton University Press, Princenton 1998.
- Swerdlow, N., »The Derivation and First Draft of Copernicus' Planetary Theory: A Translation of the Commentariolus with Commentary«, *Proceedings of the American Philosophical Society*, cxvii (1973), str. 423–512.
- Szczeciniarz, J.-J., *Copernic et la révolution copernicienne*, Flammarion, Pariz 1998.
- Vesel, M., »'Mathemata mathematicis scribuntur': Kopernikov predgovor h knjigam *O revolucijah*; prvič«, *Filozofski vestnik* 23 (3/2002), str. 7–23.
- Westman, R. S., »Proof, Poetics, and Patronage: Copernicus Preface to *De revolutionibus*«, v: Lindberg, D. C., in Westman, R. S. (ur.), *Reappraisals of the Scientific Revolution*, Cambridge University Press, Cambridge 1990, str. 167–206.
- Westman, R. S., »The Astronomer's Role in the Sixteenth Century: A Preliminary Study«, *History of Science* 18 (1980), str. 105–147.