

## »ASTRONOM-FILOZOF«: GENEZA KONCEPTA IN NJEGOV POMEN ZA RAZUMEVANJE KOPERNIKOVEGA DELA

MATJAŽ VESEL\*

V »Tretjem dnevu« slavnega *Dialoga o dveh glavnih sistemih sveta, ptolemajskem in kopernikanskem* intervenira Galileov *porte parole* Salviati z naslednjo pripombo:<sup>1</sup>

Zelo dobro razpravljate, ampak vedeti morate, da je glavni cilj čistih astronomov zgolj pojasniti pojave nebesnih teles ter tem in gibanju zvezd prilagoditi takšno strukturo in ureditev krogov, da ta izračunana gibanja ustrezajo prav tem pojavom; pri tem pa se ne vznemirjajo preveč in dopuščajo anomalije, ki bi bile v drugih ozirih moteče. Sam Kopernik v prvih raziskavah piše, da je obnovil astronomsko znanost skladno s Ptolemajevimi predpostavkami in popravil gibanja planetov tako, da so izračuni boljše ustrezali pojavom in pojavi izračunom, kolikor se jemlje planet za planetom. Toda, dodaja, ko je želel sestaviti celoten ustroj iz posameznih sestavin, je kot rezultat dobil pošast in himero, sestavljeno iz medsebojno neskladnih in popolnoma nekompatibilnih delov; čeprav bi to zadovoljilo astronoma zgolj kot računarja, v tem ni bilo zadovoljstva in miru za astronoma-filozofa.<sup>2</sup>

Salviatiovo pripombo lahko zgostimo v dve točki. Salviati govori najprej o nalogi »čistih astronomov« in nato o Kopernikovem nezadovoljstvu z rezultati »čiste astronomije«, ko se je nanje ozrl kot »astronom-filozof«. Pri tem ima v mislih, če se najprej posvetimo drugi točki, Kopernikov temeljni ugovor ptolemajski astronomski tradiciji, ki ga ta navaja v svojem posvetilu s polnim naslovom »Presvetemu gospodu papežu Pavlu III. Predgovor

\* Filozofski inštitut ZRC SAZU, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija.

<sup>1</sup> Članek prinaša temeljne poudarke argumenta, ki je podrobneje razvit v moji knjigi *Astronom-filozof. Nikolaj Kopernik, gibanje Zemlje in kopernikanska revolucija*.

<sup>2</sup> *Opere di Galileo Galilei*, VII, str. 369.

Nikolaja Kopernika h knjigam *O revolucijah*.<sup>3</sup> Kopernik tam pojasnjuje, da je »nov in nesmiseln koncept« gibanja Zemlje v astronomijo vpeljal, ker se astronomi ne strinjajo med seboj, pri čemer je problematično predvsem to, da ne uporabljajo »istih načel oziroma predpostavk«. Obstajata namreč dve astronomski tradiciji, homocentrična, v kateri so vse nebesne sfere koncentrične z Zemljo, in ekscentrično-epiciklična, v kateri Zemlja ni strogo središče vseh gibanj nebesnih teles. Ti dve astronomski tradiciji si nasprotujeta v izhodiščnih načelih in se torej očitno medsebojno izključujeta. Vendar to še ni vse. Poleg tega sta ti dve astronomski tradiciji, tudi če ju obravnavamo vsako samo zase, nezadostni. Pomanjkljivost homocentrične astronomije je v tem, da ne zmore zadovoljivo reproducirati vseh nebesnih pojavov, natančneje, ne zmore izdelati modelov, ki bi reproducirali oddaljevanje in približevanje planetov. To težavo poskuša reševati ptolemajska astronomija ekscentrov in epiciklov, vendar pa ima tudi ta tradicija težave. Poleg tega da krši načelo enakomernosti gibanj nebesnih teles (t. i. problem ekvanta), ji po Koperniku spodleti tudi pri bistvenem, to je, da ne more odkriti in pokazati »oblike sveta« (*mundi formam*), to je trdne, fiksne so(raz)mernosti, »simetrije« oziroma skladnosti (*symmetriam*) njegovih delov. Zato je univerzum ptolemajske astronomije *monstrum* oziroma, kot pravi Salviati, »pošast in himera, sestavljena iz med seboj neskladnih in popolnoma nekompatibilnih delov«.

Salviati ta Kopernikov ugovor ptolemajski astronomiji ekscentrov in epiciklov tudi natančno epistemološko umesti, saj potegne ločnico med nalogo »čistega astronoma« na eni strani in »astronoma-filozofa« na drugi. Medtem ko je naloga »čistih astronomov« izdelati takšne modele gibanj nebesnih teles, ki omogočajo izračunavati oziroma napovedovati njihove lege, je naloga »astronoma-filozofa« drugačna. Po Salviatiu je Kopernik najprej izboljšal ptolemajsko astronomijo »skladno s Ptolemajevimi predpostavkami«, tako da je še bolj uskladil gibanja planetov z izračuni, vendar pa ga ta računarska korekcija ni zadovoljila. Omejena je bila namreč zgolj na posamezne »dele« vesolja, ko pa je te posamezne dele (tj. modele za posamezne planete) združil, je dobil nesomerno, neskladno, neharmonično podobo sveta. Ali, če še enkrat povzamem Salviatija: napovedovanje položajev gibanj nebesnih teles, ki bi sicer »zadovoljilo astronoma kot računarja« ni zadovoljilo »astronoma-filozofa«, saj je Kopernik, ko je želel sestaviti celoten ustroj iz posameznih sestavin, kot rezultat dobil *monstrum*. Kopernik si je, kot pravi Galileo v svojih *Razmišljanjih o kopernikanskem mnenju*,<sup>4</sup> slekel obla-

<sup>3</sup> Prim. Kopernik, *O revolucijah nebesnih sfer*, str. 20–23.

<sup>4</sup> Prim. *Razmišljanja*, str. 228.

čila »čistega astronoma«, da bi se preoblekel v »opazovalca narave« oziroma »filozofa narave« (*contemplatore della natura*).

V nadaljevanju bom skušal osvetliti genezo koncepta »astronoma-filozofa« in pomen, ki ga temu konceptu pripiše Kopernik, kaj ta koncept *zanj* – poudarjam *zanj* in ne za, denimo, Galilea – pravzaprav pomeni.<sup>5</sup>

### 1. Astronomija in filozofija: Gemin

Galileo s karakterizacijo Kopernika kot »astronoma-filozofa« združi dve figuri oziroma dve vedi, za kateri je v zgodovini pisju znanosti dolgo časa veljalo, da sta bili v predmoderni dobi radikalno ločeni in strogo razmejeni.

Klasično formulacijo razmerja med njima najdemo pri antičnem učenjaku Geminu,<sup>6</sup> v edinem ohranjenem odlomku iz njegovega izgubljenega dela *Povzetek Pozejdonijeve Razprave o nebesnih telesih*, v katerem opredeli vzajemno razmerje med naravoslovjem (tj. fiziko oziroma filozofijo narave) in astronomijo.<sup>7</sup> Po Geminu imata astronom in naravoslovec za predmet preučevanja pogosto ista vprašanja, kot je na primer okroglost Zemlje, vendar pri svojem dokazovanju ne ravnata na enak način:

V mnogih primerih si bosta torej astronom in naravoslovec zastavila dokazati isto stvar, na primer da je Sonce veliko ali da je Zemlja okrogla, vendar v resnici ne bosta stopala po isti poti. Naravoslovec bo namreč vsako od reči dokazoval izhajajoč iz bitnosti, zmožnosti, ali iz tega, da je tako boljše, ali pa iz nastajanja in spreminjanja, astronom pa izhajajoč iz lastnosti, ki pripadajo likom ali velikostim, ali iz količine gibanja in temu gibanju ustreznega časa. In naravoslovec bo v mnogih primerih našel vzrok z opazovanjem dejavne zmožnosti, astronom pa, ko kaj dokazuje izhajajoč iz zunanjih lastnosti, ne more opazovati vzro-

<sup>5</sup> V članku ne bom obravnaval epistemoloških problemov, ki jih odpira figura »astronoma-filozofa«. Razlikovanje med »čistim astronomom« in »astronomom-filozofom« je seveda mogoče, če omenim samo en primer, prevesti tudi v zahtevo, ki jo je Galileo postavil kardinal Roberto Bellarmino: gibanje Zemlje mora obravnavati zgolj *ex suppositione* ali *ex hypothesi*, kot pripomoček za izračunavanje leg nebesnih teles (se pravi z vidika »čiste astronomije«), ne pa kot dejansko, realno stanje stvari (se pravi ne z vidika »astronoma-filozofa«). O tem. prim. Bellarminovo *Pismo Paolu Antoniu Foscariniju* in Galileova *Razmišljanja o kopernikanskem mnenju*.

<sup>6</sup> Za osnovne podatke o Geminu prim. besedilo pred prevodom njegovega odlomka na str. 148.

<sup>7</sup> Prim. Gemin, *Povzetek Pozejdonijeve Razprave o nebesnih telesih*, str. 149–150.

ka, na primer ko opredeli Zemljo ali zvezde kot okrogle; včasih pa si niti ne prizadeva določiti vzroka, kot na primer ko razpravlja o mrku.<sup>8</sup>

Medtem ko mora filozof svoje trditve dokazovati na podlagi bistev/bitnosti teles, ki jih obravnava, mora astronom, ki »ne more opazovati vzroka«, isto stvar dokazovati izhajajoč iz zunanjih lastnosti Zemlje. Dejstvo, da je Zemlja okrogla, denimo, dokazuje filozof (naravoslovec) sklicujoč se na njeno naravno težnjo po doseganju svojega naravnega mesta v središču sveta, okoli katerega se razporedi v enakomerni razdalji, astronom pa sklicujoč se na obliko sence, ki jo vidimo na luninem disku med mrkom.

Gemin v nadaljevanju poudari, da astronom v določenih primerih – pri čemer ima v mislih matematično astronomijo – »najde in poda kot hipotezo določene načine, ob predpostavki katerih bodo [nebesni] pojavi rešeni«, pri čemer je mogoče za isto pojavno anomalijo gibanj nebesnih teles podati več hipotez oziroma modelov:

Kot na primer, zakaj se Sonce, Luna in planeti pojavljajo v nepravilnem gibanju? [Astronom bo odgovoril:] če predpostavimo, da so krogi [po katerih se le-ti gibajo] ekscentrični ali pa, da se te zvezde pomikajo po epiciklu, bo njihova pojavna nepravilnost rešena, in potrebno bo preučiti, na koliko načinov lahko pride do teh [nebesnih] pojavov; preučevanje planetov je tako podobno iskanju vzrokov po metodi možnega. Zato je nekdo prišel celo do trditve, da je mogoče pojavno nepravilnost glede [gibanja] Sonca rešiti, tudi če predpostavimo, da se Zemlja na neki način giblje in Sonce na neki način miruje.<sup>9</sup>

Vendar pa ni naloga astronoma vedeti oziroma spoznati, »kaj je po naravi mirujoče, kakšna telesa pa težijo h gibanju, ampak z uvajanjem hipotez o nekaterih [telesih] kot mirujočih in drugih kot gibajočih preučuje, s katerimi hipotezami se skladajo pojavi na nebu«. Svoja filozofska načela, izhodišča, na podlagi katerih gradi svoje hipoteze, mora astronom prevzeti od naravoslovja, ki je določilo, »da so gibanja zvezd enostavna, enakomerna in pravilna«. Na podlagi teh načel »lahko dokaže, da je obhod vseh teh [nebesnih teles] krožen in da se pri tem nekatera pomikajo po vzporednih krogih, nekatera pa po nagnjenih krogih«. Iz vsega tega je popolnoma očitno, da astronomske hipoteze za Gemina niso *vzroki*, saj se po njem astronom pri izgradnji svojih modelov oziroma hipotez ne sklicuje na notranjo naravo stvari.

<sup>8</sup> Prav tam, str. 149.

<sup>9</sup> Prav tam, str. 149–150.

Po Geminu si astronom in filozof tako sicer delno delita naloge, vendar je astronom pri svojem delu filozofu podrejen, saj lahko deluje samo na podlagi načel, ki jih vzpostavi filozofija. Medtem ko filozof odkriva *vzroke* in dokazuje na podlagi bistva/bistnosti stvari, astronom zgolj »rešuje pojave«. Astronomija na podlagi filozofskih načel rešuje nepravilnosti nebesnih gibanj, pri čemer je »nepravilnost« odmik od filozofsko vzpostavljenih načel. Ker je filozofsko načelo, da so nebesna gibanja lahko samo krožna in enakomerna, mora astronomija vse nepravilnosti, ki odstopajo od teh načel, pojasniti s takšnimi modeli, ki ju upoštevajo. To je homocentrična astronomija storila tako, da je vsa nebesna gibanja pojasnjevala s homocentričnimi sferami, ki se gibljejo z enakomerno hitrostjo, ptolemajska astronomija pa z ekscentričnimi in epicikličnimi sferami, v katerih se nebesna telesa ravno tako gibljejo enakomerno. Temu načelu bi seveda morali dodati tudi filozofsko načelo – ki ga Gemin ne navaja, verjetno zato, ker se mu zdi samoumevno –, da potekajo vsa gibanja nebesnih teles okoli Zemlje, ki miruje v središču sveta. Po Geminu astronomija torej včasih pojasnjuje iste pojave kot filozofija (npr. okroglost Zemlje), včasih pa filozofske teorije dopolnjuje, kakor v primeru planetarne teorije. Vendar pa astronomske hipoteze niso nikoli razumljene kot alternative kozmološkim spekulacijam filozofov; astronomske hipoteze nikakor ne morejo postaviti pod vprašaj filozofskih načel.

Delitev nalog in epistemološkega dometa med astronomijo in filozofijo, ki jo je formuliral Gemin, je ostala v določeni meri relevantna tudi v srednjem veku in renesansi ter v zgodnjem novem veku. Delitev je bila lepo razvidna iz *curricula* univerz, in tudi iz karier učiteljev ene ali druge vede. Obe znanosti, tako filozofija narave (naravna filozofija) kot astronomija, sta sicer raziskovali nebo, vendar so bile njune naloge različne: naloga astronomije je bila izdelava matematičnih modelov, s katerimi je lahko napovedovala položaje nebesnih teles, naloga filozofije narave je bila, da odgovori na splošna vprašanja *o naravi neba* in *vzrokih* nebesnih gibanj. Razlika med eno in drugo znanostjo je bila tudi hierarhična. Astronomija, ki je sodila v skupino štirih matematičnih ved kvadrivija, je bila hierarhično nižja znanost od filozofije narave, ki je bila najpomembnejša od tako imenovanih »treh filozofij«. Hierarhično višji položaj filozofije narave je pomenil, da mora astronomija izhajati iz načel, ki jih domisli filozofija narave, in ne obratno. Filozof je tisti, ki mu je pripadala naloga, da prek filozofije narave določi načela, s pomočjo katerih poskuša astronom z geometrijskimi konstrukcijami »rešiti (nebesne) pojave.«

## 2. *Astronomija in filozofija: Peurbach in Regiomontan*

Vendar je postalo razmerje med astronomijo in filozofijo narave že v srednjem veku ter renesansi precej bolj zapleteno, kot bi lahko sklepali na podlagi rečenega. Če nanj pogledamo v perspektivi dejstva, da je Galileo status »astronoma-filozofa« pripisal šele Koperniku, pa tudi presenetljivo.

Naj to nekoliko podrobneje osvetlim preko dela dveh največjih poznosrednjeveških (ali renesančnih, če kdo želi) astronomov Regiomontana in njegovega učitelja Peurbacha iz druge polovice 15. stoletja. Za splošno zgodovino pisje znanosti sta to seveda dve dokaj neznani imeni, komajda vredni omembe, vendar sta bila v 16. stoletju oba izjemno vplivna in cenjena astronoma. Peurbach je napisal nadvse popularen učbenik astronomije *Theoricae novae planetarum*,<sup>10</sup> ki je izšel v več kot petdesetih izdajah, Regiomontan pa je celo veljal za »drugega Ptolemaja«. Ta laskavi naziv si je prislužil predvsem z *Epitomom Ptolemajevega Almagesta* (njegov avtor je bil tudi Peurbach),<sup>11</sup> ki predstavlja vrhunec srednjeveške in renesančne matematične astronomije, in je bil eden osnovnih Kopernikovih delovnih pripomočkov. *Epitom* je po svoji naravi popolnoma matematično delo, kar pomeni, da so vsi njegovi modeli geometrijske skice nebesnih gibanj, da se v teh modelih poti planetov sekajo med seboj itd. Vendar to ni edino Regiomontanovo astronomsko delo. Že nekaj časa je znano, da je Regiomontan vse svoje življenje upal, da bo obnovil homocentrično astronomijo, in da je celo izdelal homocentrična modela za Sonce in Luno.<sup>12</sup>

Vprašanje, ki se ob tem popolnoma naravno zastavlja, je seveda, zakaj je to počel? Zakaj je »drugi Ptolemaj« želel obuditi konkurenčno homocentrično astronomijo, če pa je ptolemajska astronomija, kot je priznaval kasneje še Kopernik, dovolj dobro zadovoljevala zahtevo po natančnem izračunavanju in napovedovanju položajev nebesnih teles. Regiomontanove homocentrične aspiracije so dobile smisel, ko je pred nekaj leti M. Shank objavil delno analizo nekaterih ključnih mest Regiomontanovega neobjavljenega dela *Obramba Theona proti Georgu iz Trapezeuta*.<sup>13</sup> To obsežno, polemično in eklektično delo

<sup>10</sup> Prim. G. Peurbach, *Theoricae novae planetarum Georgii Purbachii astronomi celebratissimi*.

<sup>11</sup> J. Regiomontanus [in G. Peurbach], *Epytoma* [...] *In Almagestum Ptolemei*.

<sup>12</sup> O tem. prim. M. H. Shank, »The 'Notes on al-Bitruji' Attributed to Regiomontanus: Second Thoughts«; »The Classical Scientific Tradition in Vienna«; »Regiomontanus and Homocentric Astronomy« in N. Swerdlow, »Regiomontanus's Concentric-Sphere Models for the Sun and Moon«.

<sup>13</sup> Delo se je ohranilo samo v enem rokopisu. O tem. prim. M. Shank, »Regiomontanus on Ptolemy, Physical Orbs, and Astronomical Fictionalism: Goldsteinian Themes in

povezuje neka rdeča nit, ki je za naše raziskovanje geneze in pomena koncepta »astronoma-filozofa« zelo pomenljiva. Regiomontan namreč na več mestih izraža zaskrbljenost zaradi »filozofskih« (fizikalnih in kozmoloških) vprašanj, ki jih mora po njegovem prepričanju obravnavati vsak astronom.

Po Regiomontanovem prepričanju naloga (*officium*) astronoma ni toliko razpravljati o ravninskih krogih, po katerih se gibljejo planeti, temveč mora obravnavati realne mehanizme gibanj nebesnih teles, kar je ravno nasprotno od tistega, kar je kot nalogo astronomije določil Gemin. Po Regiomontanu ima astronom pravzaprav filozofsko nalogo, vendar je ta filozofska naloga, če jo primerjamo s tistim, o čemer piše Gemin, določena nekoliko specifično. Regiomontan namreč v razpravo vpelje element, ki smo ga do sedaj omenjali bolj mimogrede. Namesto dvodimenzionalnih likov mora astronom obravnavati realne, tridimenzionalne, telesne sfere. Po Regiomontanu obstaja v astronomiji namreč ločnica med dvodimenzionalno astronomijo Ptolemajevega *Almagesta* in resnično nalogo astronoma (obravnavati realne, tridimenzionalne mehanizme gibanj nebesnih teles), ki je – v njegovih očeh – posledica dejstva, da Ptolemaj tega v *Almagestu* ni storil, čeprav je to od astronomije tudi sam zahteval.<sup>14</sup>

Po Regiomontanu – pod to bi se z veseljem podpisal tudi Kopernik – je naloga astronomije, da pri nebesnih gibanjih ohrani dvoje: na eni strani »prvotno in notranjo enakost« in na drugi strani »pojavnno neenakost« oziroma nepravilnost. Enakost ali enakomernost gibanja nebesnih teles je fizikalno načelo, povezano z naravo nebesnih teles. To pomeni, da je astronomija pri ohranjanju te »enakosti« zavezana filozofskim načelom oziroma da mora pri njenem ohranjanju uporabiti nekakšno kombinacijo enakomerno gibajočih se sfer. Za rešitev druge naloge, ohranjanje pojavnne neenakosti oziroma nepravilnosti gibanja nebesnih teles, po Regiomontanu zadoščajo zgolj dvodimenzionalni krogi in to je Ptolemaj v *Almagestu* opravil z odliko. Ptolemaju pa je, kljub temu da je »enakost« oziroma enakomernost gibanj nebesnih teles navedel kot načelo, spodletelo pri izpolnjevanju prve naloge, tj., pri ohranjanju »primarne in notranje enakosti« oziroma enekomernost. Naloga astronoma je, da združi oboje.

Regiomontan razume ta dva pristopa historično, kot dve etapi v zgodovini astronomije, ki pa ju nedavni razvoj astronomije povezuje. Prvi, starejši

---

the 'Defense of Theon against George of Trebizond'«. Regiomontanovo delo v nadaljevanju povzemam po navedkih iz Shankovega članka.

<sup>14</sup> Kot vemo, je ta Regiomontanov očitek Ptolemaju neupravičen, saj je Ptolemaj realne mehanizme nebesnih gibanj obravnaval v svojih *Planetarnih hipotezah*, česar pa Regiomontan ni mogel vedeti (to je postalo znano šele v drugi polovici prejšnjega stoletja).

astronomski pristop je dvodimenzionalen, njegova glavna pomanjkljivost je zanemarjanje filozofskega oziroma fizikalnega, naravoslovnega vidika astronomije. Drugi, kasnejši astronomski pristop je tridimenzionalen: opisuje telesne sfere in govori o njihovi substanci ter problemih, kot so vakuum, kolizija in prediranje teles. Medtem ko so »stari« astronomi izpeljali napovedi iz dvodimenzionalnih dokazov, brez sklicevanja na »tečaje ali osi«, so »kasnejši« astronomi obravnavali »naravo nebesnih teles«, tj. tridimenzionalnih sfer, ki imajo fizične lastnosti, vključno z zmožnostjo nositi planete. Tako je Ptolemaj Soncu pripisal zgolj ekscentričen *krog* (in ne ekscentrično *sfero*), kasnejši astronomi pa so spoznali, da to ne zadošča, da krogi ne morejo biti nosilci, prenašalci nebesnih teles, zato so kroge nadomestili z realnimi, telesnimi sferami oziroma sferičnimi lupinami.

V odlomku, ki ga parafraziram, je še posebej zanimiv Regiomontanov poudarek na prisili, ki v tradiciji »kasnejše« astronomije usmerja gibanje Sonca, v nasprotju z njegovim hipotetičnim »tavanjem skozi eterično območje« v tradiciji »starejše« astronomije. Regiomontan tu namreč implicitno kritizira dejstvo, da pušča pristop »dvodimenzionalne«, ptolemajske astronomije Sonce v vzročni nedorečenosti, tridimenzionalni pristop, ki se opira na telesne sfere, pa odgovarja na vprašanje, kaj sili Sonce, da se giblje, kot se, kaj je dejanski, fizični *vzrok* njegovega gibanja. Ta fizična, fizikalna oziroma filozofska komponenta »nedavnih astronomov« je še bolj poudarjena s tem, da Regiomontan navaja probleme vakuuma in zgoščevanja, do katerega pride pri prenosu dvodimenzionalnih modelov v tridimenzionalne.

Za kaj gre pri tem problemu? Kot pravi Regiomontan, so kasnejši astronomi spoznali naravo nebesnih teles in presodili, da nosilci zvezd niso samo geometrijski krogi, temveč telesne sfere oziroma sferične lupine, ki nosijo nebesna telesa. Soncu so tako namesto geometrijskega kroga pripisali sfero oziroma sferično lupino vseskozi enake debeline. Prvi korak je bil torej prehod z dvodimenzionalnega kroga na sferično lupino. Vendar pa ta rešitev za astronome še ni bila dovolj dobra. Materializacija ekscentra v nebesni substanci, etru, je namreč predstavljala določene težave za aristotelско filozofijo narave. Ekscentrična sfera Sonca se od središča odmika, zato se tudi njeni deli pri kroženju od središča vesolja odmikajo neenako(merno), kar pomeni, da pri svojem kroženju naleti na eter, ki jo obdaja, in mu s tem, da ga odmika in zgoščuje, »dela silo«. Prenos Ptolemajevega dvodimenzionalnega modela v tridimenzionalnega ima torej posledice, ki so za aristotelovsko filozofijo narave nesprejemljive: razmikanje, razdelitev in zgoščevanje etra na eni strani in vakuum na drugi.

Rešitev, ki so jo astronomi razvili, da bi se izognili tem filozofskim težavam, je bila dokaj preprosta. Tej sferični lupini so dodali še dve sferi nee-



nakomerne debeline, tako da imajo vse tri sfere skupno središče s svetom, se pravi, da je celotna sfera Sonca koncentrična z Zemljo.



*Ekscentrična sfera v modelu Sonca iz Peurbachovega učbenika Theoricae novae planetarum.*

Rešitev, ki jo tu navaja Regiomontan, mu je bila zagotovo poznana iz že omenjenega Peurbachovega učbenika *Theoricae novae planetarum*. Vendar pa tudi ta rešitev, ta kompromis med ptolemajsko astronomijo in aristotelsko fiziko, ni popoln, ni izpeljana do konca, zato ni bila nikoli splošno sprejeta. Model »treh sfer« sicer zagotavlja, da je celota sferičnih lupin, ki pojasnjujejo gibanje posameznega nebesnega telesa, koncentrična z Zemljo, odpravlja vakuum, do katerega bi prišlo, če bi se ekscentrični deferent obračal v nebesni materiji, ne da bi bil pri tem obdan z zunanjo in notranjo sfero itd., vendar pa nekatere druge kršitve načel aristotelske filozofije narave kar prezre. Tako se ekscentrične in epiciklične nebesne sfere gibljejo okoli središč, ki ne sovpadajo z Zemljo; gibanje planetov po epiciklu bi moralo pomeniti spremembo njihove opazljive velikosti itd. Za »puristične« aristotelike, ki jih na latinskem zahodu simbolizira Averroes in njegovi zagovorniki, averroisti, je tudi ta kompromis ptolemajske astronomije in aristotelske fizike (t. i. »aristotelsko-ptolemajski kompromis«) še vedno kršil nekatera načela aristotelske filozofije narave. Zato so se skozi ves srednji vek in renesanso pojavljali vedno novi in novi poskusi obuditve koncentrične astronomije, ki so izhajali iz zahtev aristotelovske filozofije narave in skušali na njihovi podlagi razviti astronomijo, ki bi bila sposobna reproducirati gibanja nebesnih teles.

Regiomontanove homocentrične poskuse in upe je mogoče razumeti v

tem kontekstu. Regiomontan težave ptolemajske astronomije namreč vse- skozi razume in opisuje kot filozofske in ne astronomske. Tako npr. argu- ment zagovornika homocentrične astronomije Henrika Hesseja, da bi morali Luno zaradi njenega gibanja po epiciklu v določenem položaju videti štiri- krat večjo kot v drugem, označi kot problem za tiste, ki hočejo filozofirati (*philosophari*). Na tem ozadju so popolnoma razumljivi tudi njegovi poskusi vzpostavitve homocentrične astronomije, ki izhaja iz sprejetih filozofskih načel. Regiomontan je trdno prepričan, da astronomija in filozofija ne so- dita v različna svetova, temveč ravno nasprotno: naloga astronoma je, da pri izgradnji astronomije upošteva fizikalne premisleke. Kljub nedavnemu razvoju fizikalne astronomije ptolemajske tradicije, ki jo je najbolj izpopolnil njegov učitelj Peurbach, za Regiomontana to še ni dovolj. Takšna fizikalna oziroma filozofska astronomija še ne dosega idealnega stanja, saj tudi v tej »filozofski« obliki krši nekatera načela aristotelovske fizike. Zato ostaja za Regiomontana – nikoli doseženi – ideal homocentrična astronomija.

### 3. *Kopernik in averroisti*

Kaj to pomeni za Kopernika in njegov status »astronoma-filozofa«?

Na podlagi Peurbachovega in Regiomontanovega astronomskega dela lahko izpostavimo tri momente, ki so bili značilni za stanje astronomije v drugi polovici 15. stoletja. Tedaj je obstajala (i.) čisto matematična ptole- majska astronomija (*Almagest*, *Epitom Almagesta*), ki pa je imela tudi svojo hrbtno stran. Ta ista matematična astronomija ekscentrov in epiciklov je bila v *Theoricae novae planetarum* razumljena kot (ii.) realizirana v modelih kom- binacij realnih sfer, ki so predstavljali določen kompromis med aristotelско filozofijo in ptolemajsko astronomijo. Kljub temu pa je bila vseskozi prisotna (iii.) tudi averroistična kritika le-te, ki je silila nekatere astronome, da so po- skušali vzpostaviti homocentrično astronomijo, ki bo na ravni svojega poj- ma. Za razumevanje Kopernikovega projekta je pomembno to, da je obstajal isti vzorec temeljnih značilnosti astronomije in njenih bojov, tudi v obdobju njegovega šolanja in pisanja *Revolucij*. Pri tem je ključno predvsem to, da uspešen naskok in zavzetje univerz Peurbachovih *Theoricae novae* ni pomenil tudi konca averroističnih kritik ptolemajske astronomije.<sup>15</sup>

V času Kopernikovega šolanja je bil eden takšnih kritikov denimo Albert iz Brudzewa, učitelj astronomije v Krakovu. Naslednji je bil »drugi Aristotel«, Aleksander Achillini, ki je leta 1498 v Bologni, ravno v času, ko je

<sup>15</sup> O tem prim. P. Barker, »Copernicus and the Critics of Ptolemy«.

Kopernik tu študiral medicino, zavračal Ptolemajsko astronomijo, ker vpečuje nesprejemljivo veliko število središč sveta, fizično odvečna telesa itd. Kritika ptolemajske astronomije in poskusi vzpostavitve homocentrične pa so se nadaljevali tudi v obdobju, ko je Kopernik že pisal *De revolutionibus*. Tudi v tem obdobju sta poskušala dva Italijana, oba študenta Univerze v Padovi, ki je bila znana po svojem averroizmu, vzpostaviti homocentrično astronomijo. Prvi, Amico, v delu *De motibus corporum coelestium iuxta principia peripatetica sine eccentricis et epicyclis* (*O gibanjih nebesnih teles skladno s peripatetičnimi načeli brez ekscentrov in epiciklov*) iz leta 1536, drugi, Girolamo Fracastoro, pa v *Homocentrica* iz leta 1538. Za naš namen je izjemno zanimiv predvsem Fracastoro, ki je svoje delo posvetil papežu Pavlu III., to je istemu papežu, kateremu je leta 1542 napisani predgovor namenil tudi Kopernik.

To je izjemno zanimivo naključje, ki omogoča Kopernikov projekt postaviti v novo perspektivo. Natančnejše branje obeh predgovorov namreč pokaže, da Kopernik ni bil zgolj seznanjen z omenjenimi averroističnimi kritikami ptolemajske astronomije, kar je mogoče sklepati na podlagi njegove študijske poti, temveč tudi to, da je predgovor h knjigam *O revolucijah* pravzaprav njegov tihi odgovor na Fracastorov poskus, da bi pridobil papeževo zaščito za svojo astronomsko reformo.<sup>16</sup> Poglejmo si, kaj kaže na to.

Eden močnejših znakov, da je imel Kopernik, ko je pisal svoj predgovor k *Revolucijam*, pred očmi Fracastorovo besedilo, predstavlja ravno Kopernikov oris ptolemajske astronomije kot *monstruma*, se pravi stališče, ki ga je Salviati pripisal njegovi poziciji »astronoma-filozofa«. Popolnoma enako stališče glede ptolemajske astronomije je namreč v posvetilu razvil tudi Fracastoro. Po Fracastoru so za vsakega resničnega filozofa ptolemajske sfere »monstruozne«, ker je ontološko in fizikalno nemogoče, da bi obstajale v območju »božanskih in najbolj dovršenih [nebesnih] teles«, ki imajo lahko samo eno središče gibanja (to je središče sveta, ki je Zemlja). Zato je »proti njim vsa Filozofija in še več, celo sama narava; pravzaprav se do danes ni našel noben Filozof, ki bi si drznil te 'monstruozne' sfere umestiti med božanska in izjemno dovršena telesa«. Fracastoro meni, če povem čisto na kratko, da je ptolemajska astronomija »monstruozna« zaradi ekscentrov in epiciklov.

Kot smo videli, je tudi Kopernik v svojem posvetilu oziroma predgovoru ptolemajsko astronomijo označil za *monstrum*. Podoba sveta, ki izhaja iz ptolemajske astronomske teorije, je – če imamo pred očmi verze Horacijeve

<sup>16</sup> O tem prim. M. A. Granada in D. Tessicini, »Copernicus and Fracastoro: The Dedicatory Letters to Pope Paul III, the History of Astronomy, and the Quest for Patronage«.

*Ars poetica*,<sup>17</sup> ki je Kopernikova delna predloga pri tem opisu –, podobna pesnitvi, v kateri se motajo »prividi ko bolnega sanje, takšni, da noga ne glava ni del jim oblike enotne«. Vendar pa Horacij v besedilu nikoli ne uporabi besede *monstrum*. To bi lahko že bil prvi indic, da Kopernik, ko je pisal te vrstice, pred očmi ni imel samo Horacija, temveč tudi Fracastorov opis »monstruozne« ptolemajske astronomije. Z njim se Kopernik celo delno strinja, Ptolemajska astronomija je res *monstrum*, vendar se od njega takoj tudi distancira – ptolemajska astronomija ni *monstrum* zaradi ekscentrov in epiciklov, temveč zato, ker ne more podati najvažnejšega: harmoničnega »ustroja sveta« kot celote, tj., zaradi napačne ureditve sfer planetov, v katerih so razporejeni ekscentri in epicikli.

Vtis, da je imel Kopernik ob pisanju *Predgovora* pred očmi Fracastorovo posvetilo, se še bolj potrdi ob natančnejši primerjavi obeh besedil. Kopernik namreč ob predstavitvi težav astronomije skoraj dobesedno sledi predstavitvi njenega kritičnega stanja, kot sta ga v svojih delih opisala Amico in predvsem Fracastoro. Oba sta, ob ponovitvi Averroesovih ugovorov proti ptolemajskim ekscentrom in epiciklom, izpostavila predvsem konfliktno stanje med dvema različnima alternativnima modeloma in se tako oddaljila od nekaterih zgodnejših averroistov, ki so bili osredotočeni na filozofsko zavrnitev ptolemajske astronomije. Medtem ko so Averroes, Albert iz Brudzewa in Achillini kritizirali nevzdržne fizikalne posledice ptolemajske astronomije, sta Amico in Fracastoro predstavila homocentrično astronomijo kot kredibilno alternativo Ptolemajskim ekscentrom in epiciklom zaradi tega, ker je obstajala »stara razprava med astronomi in filozofi o vzrokih gibanj planetov«. To je, ali so vzroki njihovih gibanj ekscentri in epicikli ali homocentri. Konflikt in neusklajenost homocentričnih in ekscentričnih hipotez sta pri teh dveh avtorjih predstavljena kot konflikt med astronomskimi modeli in filozofskimi načeli, ki jih kršijo ekscentri in epicikli, pri čemer je rešitev homocentrična astronomija. Fracastoro problem predstavi takole:

Bili sta dve poti za razlago teh vzrokov, ali s tistimi sferami, ki so jih imenovali Homocentrične, ali s tistimi, ki so jih imenovali Ekscentrične, obema pa so njihove težave, njihove kleči to preprečile. Če so uporabili Homocentre, niso dokazali Pojavov; če pa Ekscentre, se je zdelo, da bolje dokazujejo [Pojave], vendar pa so tako o onih božanskih telesih razmišljali krivično in brezbožno in jim dajali mesta in like, ki sploh ne ustrezajo nebu.<sup>18</sup>

<sup>17</sup> Horacij, *Pismo o pesništvu*.

<sup>18</sup> *Homocentrica*, uvod.

Kopernikova predstavitev težav in prednosti astronomije, dveh astronomskih tradicij, je tako po izbiri besed kot po argumentaciji skoraj identična Fracastorovi: kjer eden model zgreši, nastopi drugi, ki sicer reši prve težave, vendar ima zopet svoje, drugačne, težave:

Nekateri uporabljajo samo homocentre, drugi ekscentre in epicikle, s katerimi pa vseeno ne dosežejo v celoti tistega, kar so želeli. 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 vmes vendarle dopustiti veliko stvari, za katere je videti, da so v nasprotju s prvotnimi načeli o enakomernosti gibanja, čeprav so z ekscentri, kot se zdi, podali ustrezne številčne podatke za velik del pojavnih gibanj.<sup>19</sup>

Analizo bi seveda lahko še nadaljevali. Tudi drugače je namreč mogoče pokazati, da Kopernik v predgovoru pravzaprav odgovarja Fracastoru. Vendar pa je po mojem mnenju na podlagi tega mogoče potegniti tudi daljnosežnejše sklepe za razumevanje Kopernikovega projekta, kot je ta, da se je Kopernik s Fracastrom boril za papeževo pokroviteljstvo.

Dejstvo, da je bila ptolemajska astronomija tudi v različici »aristotelско-ptolemajskega kompromisa« realnih, tridimenzionalnih sfer, ki jih je kot *vzroke* gibanj nebesnih teles razumel tudi Kopernik, nenehno izpostavljena averroistični kritiki, ki ji je očitala, da ni skladna s postulati aristotelске filozofije narave, postavlja Kopernikovo heliocentrično in geokinetično astronomijo in njegov status »astronoma-filozofa« v novo, drugačno luč od običajne, ki vidi v njem nasprotnika Ptolemaja.<sup>20</sup> Nasprotno, Kopernik je prej Ptolemajev zaveznik kot njegov nasprotnik. Kako je to mogoče?

#### 4. Kopernik: »astronom-filozof«

Kakor v Regiomontanovem času tudi v času Kopernikovega šolanja in pisanja *Revolucij* glavni boj v astronomiji ni potekal med »čistimi astronomi«, ki jih je zanimalo zgolj »reševanje pojavov«, nič ali malo pa filozofska vprašanja nebesne realnosti, in »filozofi«, se pravi tistimi, ki so menili, da naloga astronomije ni zgolj »reševanje nebesnih pojavov«, temveč tudi podajanje

<sup>19</sup> Kopernikov predgovor k *O revolucijah nebesnih sfer*, str. 21–23.

<sup>20</sup> Največ zaslug za to perspektivo ima seveda Galileov dialog *O dveh glavnih sistemih sveta, ptolemajskem in kopernikanskem*.

realne, fizične stvarnosti ustroja vesolja, ampak med »filozofsko« nastrojenimi astronomi. Veliko vprašanje astronomije je bilo, kateri sistem nebesnih sfer najboljše predstavlja fizično, »filozofsko« stvarnost – povsem koncentričen sistem ali kombinacija koncentričnega in ekscentričnega sistema. Astronomija v Kopernikovem času torej ni bila matematični formalizem. Vsi astronomi so bili na neki način tudi »astronomi-filozofi«, ki so imeli na razpolago dve vrsti »realistične« astronomije, ki sta obe imeli za nalogo podati *vzroke* nebesnih pojavov. Na eni strani averroistično, homocentrično astronomijo, ki je temeljila na sprejeti filozofiji narave, in poskušala zadostiti tudi zahtevi po natančnih izračunih leg nebesnih teles, a tega ni bila sposobna uresničiti, in ptolemajsko astronomijo, katere modeli so omogočali ustrezne, z opazovanji skladne napovedi leg nebesnih teles, ni pa zmogla, kljub poskusu z »aristotelovsko-ptolemajskim« kompromisom, v celoti zadostiti strogim zahtevam po skladnosti s sprejetimi načeli filozofije narave.

Kopernikov *Predgovor*, pa tudi njegov celoten astronomski projekt obnove astronomije, lahko razumemo kot specifičen ptolemajski odgovor na nenehne averroistične kritike ptolemajske astronomije in poskuse oživitve homocentrične astronomije v 16. stoletju. Ker je bila za Kopernika, kakor za večino njegovih sodobnikov, edina ustrezna tehnična astronomija astronomija ptolemajske tradicije, je vsak averroističen napad na Ptolemaja postavljaj pod vprašaj legitimnost matematične astronomije nasploh. Zato je Kopernik povzel program vzpostavitve filozofsko neoporečne astronomije, ki bi bila istočasno uspešna tudi pri natančnem napovedovanju leg nebesnih teles. Vendar pa je bil ta najbolj obči program tudi vse, kar ga je družilo z zagovorniki homocentrične astronomije. Z Amicom in Fracastorom se ni strinjal niti glede tega, kaj so dejanske »filozofske« težave ptolemajske astronomije, niti glede tega, kako naj skupni cilj dosežejo. Medtem ko sta Amico in Fracastoro filozofske težave ptolemajske astronomije in njeno »monstruoznost« videla v ekscentrih in epiciklih, je bila za Kopernika ptolemajska astronomija v težavah in »monstruozna« zato, ker ni omogočala podati harmonične ureditve sveta oziroma zato, ker je bila kozmološko nekonsistentna. Tudi rešitev »filozofskih« težav astronomije je bila različna. Za doseganje istega cilja (filozofsko neoporečne astronomije, ki je istočasno zmožna izračunavati lege nebesnih teles) so ponujali različna, pravzaprav kar konkurenčna programa: Amico in Fracastoro astronomijo homocentrov, brez ekscentrov in epiciklov, Kopernik astronomijo ekscentrov in epiciklov, prenovljeno s konceptom gibanja Zemlje. Namesto Fracastorovega homocentričnega projekta, ki ni mogel biti uspešen z vidika napovedovanja položajev nebesnih teles, je bilo po Koperniku treba ureditev planetarnih sfer, ki jih tvorijo ekscentri in epicikli, iz geocentrične spremeniti v heliocentrično.

V tej perspektivi Kopernikov astronomski »realizem« ali »filozofska naravnost«, filozofska drža – ki pri njem ne pomeni samo obstoja realnih nebesnih sfer, temveč tudi in predvsem, da mora astronomija podati razlago realnega ustroja vesolja in s tem *uzročno* pojasniti gibanja nebesnih teles – ni predstavljal bistvene nevarnosti za ptolemajsko astronomijo. Prej nasprotno. Kopernik je s svojimi heliocentrično organiziranimi astronomskimi modeli na svoj način odgovoril na averroistično kritiko ptolemajske astronomije. Averroiste je želel premagati v njihovi lastni igri, vendar znotraj ptolemajske tradicije ekscentrov in epiciklov. Kopernik je samega sebe razumel kot dediča ptolemajske astronomske tradicije, pri čemer je želel z uporabo ptolemajškega konceptualnega aparata, obogatenega z izboljšavami, ki so jih razvili arabski astronomi, in z gibanjem Zemlje, zagotoviti takšen astronomski sistem, ki bo omogočal tako napovedovanje položajev nebesnih teles, hkrati pa bo filozofsko neoporečen – kot je filozofsko neoporečnost razumel Kopernik.

Kopernik je bil torej »astronom-filozof«. Nalogo astronomije – enako kot Regiomontan, Amico in Fracastoro – je razumel »filozofsko«. To je dovolj jasno izrazil v *Predgovoru*, v katerem pravi, da »ve, da so razmišljanja filozofa oddaljena od presoje ljudstva« in zatrjuje, da se bodo umni in učeni matematiki strinjali z njim, »če bodo le hoteli spoznati in pretehtati – ne površno, ampak v celoti, kar ta filozofija prvenstveno zahteva«. To je nena zadnje dovolj jasno tudi iz celotne prve knjige *O revolucijah*: Kopernik izpolnjuje program »filozofske« in ne zgolj matematične, »računarske« astronomije.

Ta njegova filozofska naravnost, kot smo videli, ni bila brez precedensov. Kopernik nikakor ni bil prvi astronom, ki je naloge astronomije razumel »filozofsko«. Kakor mnogi drugi astronomi je tudi on verjel, da astronomija more in mora podati *uzroke* za gibanja nebesnih teles, le da je bil – v nasprotju s Regiomontanom, Amicom, Fracastorom in drugimi »averroisti« na eni strani in tradicionalnimi »ptolemajci« na drugi – prepričan, da je edina astronomija, ki to lahko stori, heliocentrična in geokinetična različica ptolemajske, ekscentrične in epiciklične astronomije. Samo heliocentrična astronomija zmore odgovoriti na zahteve po natančni napovedi leg nebesnih teles, in je obenem tudi filozofsko ustrezna, se pravi, da podaja *nujni* in ne arbitrarni ustroj sveta.

Med njim in homocentrično usmerjenimi astronomi, ki so jih skrbeli filozofski problemi ptolemajske astronomije, pa je obstajala še ena, bolj temeljna in odločilnejša razlika, ki jo je mogoče lepo izpostaviti, če se še enkrat spomnimo Galileove kvalifikacije Kopernika kot »astronoma-filozofa«. Tudi za Fracastora in druge averroiste bi lahko uporabili oznako »astronoma-filozo-

fa«, le da bi morali zamenjati vrstni red besed v sintagmi. Fracastoro je bil »filozof-astronom«, šele Kopernik pa je bil pravi »astronom-filozof«. Medtem ko je videl Fracastoro homocentrično astronomijo kot rešitev za prilagoditev neprimernih geometrijskih modelov (homocentričnim) fizikalnim oziroma filozofskim načelom, je Kopernik ponudil nasprotno možnost: ohranil je modele, ki so bolje napovedovali lege nebesnih teles, in jim poiskal ustrezna fizikalna oziroma filozofska načela. Po Fracastoru je bila izbira planetarnih modelov odvisna od fizikalnih predpostavk, za Kopernika so bile fizikalne predpostavke odvisne od astronomskih modelov. Kopernik je postal, kot se je nekje posrečeno izrazil M. Clavelin, »sam svoj filozof«. Tudi v tem pogledu je bil na neki način nadaljevalec »ptolemajske tradicije«, saj je bila tudi v »sistemu treh sfer« aristotelovska filozofija narave v določeni meri prilagojena ptolemajskim astronomskim modelom ekscentrov in epiciklov. Vendar je Kopernik storil še en, usodni korak več, ko je zaradi zahtev svoje filozofske razumljene matematične astronomije prilagodil oziroma preobrnil temeljno postavko aristotelovske filozofije narave – negibno Zemljo je pognal v »nenaravno« gibanje, jo vrgel iz njenega »naravnega« mesta v središču sveta in s tem pognal v tek znanstveno revolucijo.

#### Literatura:

- Aristotel, *Aristotelis omnia quae extant opera* [...] *Averrois Cordubensis in ea opera omnes commentarij*, Benetke 1562–1574.
- Amico, G. B., *De motibus corporum coelestium iuxta principia peripatetica sine eccentricis et epicyclis*, Benetke 1536.
- Barker, P., »Copernicus and the Critics of Ptolemy«, *Journal for the History of Astronomy* 30 (1999), str. 343–358.
- Bellarmino, R., »Pismo Paolu Antoniu Foscariniju«, *Filozofski vestnik* 29 (1/2008), str. 219–221.
- Fracastoro, G., *Homocentrica, sive De stellis*, Benetke 1538.
- Galileo Galilei, *Opere di Galileo Galilei*. Edizione nazionale sotto gli auspicii di sua maestà il re d'Italia, ur. A. Favaro, Giunti/Barbera, Firenze 1964–1968.
- , *Razmišljanja o kopernikanskem mnenju*, prevedla M. Mihelič, *Filozofski vestnik* 29 (1/2008), str. . 225–241.
- Gemin, *Povzetek Pozejdonijeve Razprave o nebesnih telesih*, prevedla J. Marušič, *Filozofski vestnik* 29 (1/2008), str. 149–152.
- Granada, M. A., in Tessicini, D., »Copernicus and Fracastoro: The Dedicatory Letters to Pope Paul III, the History of Astronomy, and the Quest for



- Patronage«, *Studies in History and Philosophy of Science* 36 (2005), str. 431–476.
- Horac, *Pismo o pesništvu (De arte poetica epistula ad Pisones)*, v: K. Gantar (ur.), *O pesništvu*, Mladinska knjiga, Ljubljana 1963, str. 75–89.
- Kopernik, N., *De revolutionibus orbium coelestium libri VI*, Nürnberg 1543.
- , *O revolucijah nebesnih sfer, prva knjiga*, latinsko-slovenska izdaja, prevod, opombe in spremna študija M. Vesel, Založba ZRC, Ljubljana 2003.
- Lloyd, G. E. R., »Saving the Appearances«, v: isti, *Methods and Problems in Greek Science*, Cambridge University Press, Cambridge 1991, str. 248–277.
- Peurbach, G., *Theoricae novae planetarum Georgii Purbachii astronomi celebratissimi*, Nürnberg 1472.
- , angleški prevod v: E. J. Aiton, »Peurbach's 'Theoricae novae planetarum': A Translation with Commentary«, *Osiris* (3/1987), str. 5–44.
- Ptolemaj, *Almagesti Cl. Ptolemaei Pheludiensis Alexandrini [...] opus [...] omnes caelorum motus continens*, arabsko-latinski prevod Gerarda Kremonskega, Benetke 1515.
- , *Almagestum seu magnae constructionis mathematicae opus [...] Latina donatum ab Georgio Trapezuntio*, grško-latinski prevod Georga iz Trapezeuta, Benetke 1528.
- , *The Almagest*, prevod in opombe G. J. Toomer, Princeton University Press, Princeton 1998.
- Regiomontan, J., [in Peurbach, G.], *Epytoma [...] In Almagestum Ptolemei*, Benetke 1596.
- Shank, M. H., »The 'Notes on al-Bitruji' Attributed to Regiomontanus: Second Thoughts«, *Journal for the History of Astronomy* 23 (1992), str. 15–30.
- , »The Classical Scientific Tradition in Vienna«, v: J. Ragep, S. Ragep in S. Livesey (ur.), *Tradition, Transmission, Transformation*, Brill, Leiden 1992, str. 115–136.
- , »Regiomontanus and Homocentric Astronomy«, *Journal for the History of Astronomy* 29 (2/1998), str. 157–166.
- , »Regiomontanus on Ptolemy, Physical Orbs, and Astronomical Fictionalism: Goldsteinian Themes in the 'Defense of Theon against George of Trebizond'«, *Perspectives on Science* 10 (2/2002), str. 179–207.
- Swerdlow, N., »Regiomontanus's Concentric-Sphere Models for the Sun and Moon«, *Journal for the History of Astronomy* 30 (1/1999), str. 1–23.
- Vesel, M., *Astronom-filozof. Nikolaj Kopernik, gibanje Zemlje in kopernikanska revolucija*, Založba ZRC, Ljubljana 2007.