

Johannes Kepler a bolygómozgás fizikájáról Forrásközlés bevezető tanulmánnyal*

I. KEPLER ÉLETMŰVE ÉS ANNAK TERMÉSZETFILOZÓFIAI ÉRTÉKELÉSE

Az *Új, oknyomozó csillagászatból* (*Astronomia nova αιτιολογητός*, Prága, 1609) vett szemelvényünk előtt szükségesnek látszik felvázolni Johannes Kepler (1571–1630) életművét és értékelni annak természetfilozófiai jelentőségét, hogy aztán ebben az összefüggésben el tudjuk helyezni az említett szöveget, szerzőnk tudománytörténetileg legnagyobb hatású művét. Az újkor talán legjelentősebb elméletalkotó csillagásza egyben matematikus, asztrológus és teológiai író is volt, aki pályájának szerény, gimnáziumi matematikatanári kezdete után előbb Tycho Brahe korszakos észlelőcsillagász asszisztense, majd a Német-római Birodalom császári matematikusa és Galilei levelezőpartnere lett, élete végén pedig a harmincéves háború császári hadvezére, Albrecht von Wallenstein hercegi matematikusaként és asztrológusaként szolgált.

A baden-württembergi Weil der Stadt sváb kisvárosban katona apától, szegény lutheránus családban született Kepler Leonbergben, latinul végezte elemi iskoláit. 1577-ben, hatévesen látta a nevezetes, Brahe által is leírt nagy üstököst.¹ 1584-ben az adelbergi alsó szeminárium (gimnázium) diákja lett, és megkezdte a görög nyelv tanulását, majd 1586-ban a maulbronni felső szemináriumban folytatta tanulmányait. Önéletrajzi írása – *Kepleri notae ad Epistolam Hafnerrefferi* (lásd lentebb) – szerint ekkor kezdett el ágostai hitvallású lutheránus létére az úrvacsora kálvini, szimbolikus értelmezésével szimpatizálni. 1589-ben lett a tübingeni egyetem hercegi ösztöndíjas hallgatója – itt kezdetben két évig hébert és (Michael Mästlintől) matematikát és csillagászatot is tanult a bölcészeti karon. Mästlintől hallott először Copernicus elméletéről; megismerte Arisztotelész *Meteorológiáját*, *Fizikáját* és Eukleidészt, Cusanust olvasott. Görögtanára a neves

* A dokumentum a következő szöveg javított változata: Johannes Kepler: *Új, oknyomozó csillagászat* (III. rész, 33. fejezet). In Vassányi Miklós – Kutrovácz Gábor (szerk.) *A világ bizonyos szimmetriája: A kora újkori csillagászat története válogatott források tükrében*. Budapest, Typotex. 2021. 135–162.

¹ *Tychonis Brahe Dani De mundi aetherei recentioribus phaenomenis* Liber Secvndvs, qvi est de illvstri stella cavdata ab elapso fere triente Nouembri Anni 1577, vsq(ue) in finem Januarij sequentis conspecta. Vranibvrgi: (1588.)

klasszika-filológus, Martin Crusius volt. Magiszteri oklevelének átvétele után, 1591-ben ugyanitt kezdte meg teológiai tanulmányait, melyek során a wittenbergi Ägidius Hunnius teológiájához vonzódott, és elnyerte a későbbi rektor, a teológus Matthias Hafenreffer jóindulatát. Már ekkor kiállt a heliocentrizmus mellett, mint az 1593-ban egyetemi disputa céljából írt *De motu Terrae* című kézírata tanúsítja (*A Föld mozgásáról*. Gesammelte Werke [GW] XX/1). 1594 nyarán megszerezte volna teológiai oklevelét, de az év elején körzeti matematikusi és matematikatanári állásajánlatot kapott a grazi protestáns iskolában, amelyet elfogadott.

1594-től 1598-ig tanított Grazban matematikát. Eközben megházasodott, és Mästlin és a tübingeni egyetem segítségével 1596-ban kiadta első művét *Prodromus dissertationum cosmographicarum, continens mysterium cosmographicum* cím alatt (*A kozmográfiai értekezések előfutára, mely a kozmográfiai misztériumot tartalmazza*. Tübingen, 1596, GW I; 2., magyarázott kiadás: Frankfurt: 1621, GW VIII). A kis kötet függeléke tartalmaz egy heliocentrizmus-védelmet is Mästlintől, valamint Georg Joachim Rheticus *Narratio prima* címen hivatkozott összefoglalását a copernicusi rendszerről (*Első beszámoló*. [Gdańsk,] 1540). A Stájerországban kezdődő protestánsüldözések folytán azonban 1598-ban megszűnt Kepler tanári állása, 1599 nyarán pedig körzeti matematikusi állása is. Kétségbeesésében Tycho Brahétól, Európa vezető észlelőcsillagászáatól kért segítséget, aki korábban jól fogadta a *Prodromus*-t, s aki 1599 júniusában lett II. Rudolf császár udvari csillagásza. Egy kezdeti konfliktus után Brahe asszisztenséül fogadta Keplert, aki így családotul Prágába, a birodalmi fővárosba költözött.

Brahe megbízásából 1600-ban írta az *Apologia Tychonis contra Ursum* címen hivatkozott rövidebb, befejezetlen kéziratot (*Tycho apológiája N.R. Ursus császári matematikus ellen*. GW XX/1), majd Ursus 1600-as, illetve Brahe váratlan és gyanús, 1601-es halála után ő lett a császári matematikus. Az úrvacsora lutheri értelmezésével kapcsolatos aggályait ekkor kezdte megosztani lutheránus teológusokkal. Prágai évei alatt írta az *Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur* című csillagászati optikai értekezést Vitellio – lengyel írásmód szerint Witelo – 13–14. századi lengyel csillagász művéről (*Kiegészítések Vitellióhoz, melyek a csillagászat optikai részét tartalmazzák*. Frankfurt, 1604, GW II); valamint Brahe megfigyelési naplói alapján az újkori csillagászat egyik alapművét *Astronomia nova αιτιολογητός seu Physica coelestis, tradita commentariis de motibus stellae Martis, ex observationibus G. V. Tychonis Brahe* cím alatt (*Új, oknyomozó csillagászat, avagy égi fizika a Mars csillag mozgásairól szóló kommentárokkal, Tycho Brahe megfigyelései alapján*. Prága, 1609, GW III), mely a bolygómozgások első két törvényét tartalmazza. Folytatta korábbi, jövedelmező asztrológusi tevékenységét, népszerű kalendáriumokat és éves prognózisokat adott ki (GW XI/2). Horoszkópjai közül nevezetese a II. Rudolf császárról (1602–1603) és a Wallenstein fővezérről írott precíz elemzések (1608 és 1625, GW XXI/2, 2), illetve a saját magáról írott, hosszú, karakterjellemző *Selbsthoroskop*, amely tanulmá-

nyi és teológiai fejlődéséről is részletesen beszámol (1597, GW XIX). 1606-ban Prágában adta ki a *De stella nova in pede Serpentarii* (Az új csillagról a Kígyótartó lábában) írott kötetét, amely egy szupernova megjelenése kapcsán foglal állást a copernicuszi modell mellett (GW I). 1609-ben örömet fejezte ki a protestáns vallásszabadságot biztosító cseh szabadságlevél, a *Majestätsbrief* II. Rudolf általi kibocsátása fölött (levél S. Gerlach-hoz, GW XVI). 1610 márciusában értesült a távcső felfedezéséről, és üdvözölte Galilei *Sidereus nuncius*-át a *Dissertatio cum Nuncio sidereo* című rövid írásával (*Beszélgetés a Csillaghírnökkel*. Prága, 1610, GW IV). Ugyanekkor adta ki az asztrológia mint alacsonyabb rendű tapasztalati tudomány védelmében írott *Tertius interveniens, Das ist, Warnung an etliche Theologos, Medicos und Philosophos... daß sie bey billicher Verwerffung der Sternguckerischen Aberglauben nicht das Kindt mit dem Badt außschuetten* című, német nyelvű vitairatát is (A harmadik vitapartner, vagyis figyelmeztetés némely teológusokhoz, orvosokhoz s filozófusokhoz, hogy a csillagkémlő babona méltó elítélése mellett ne öntsék ki a gyermeket is a fürdővízzel együtt. Frankfurt, 1610, GW IV). A távcsővel való megismerkedése nyomán *Dioptrice* cím alatt írta az európai optika első rendszeres fénytöréstanát (Augsburg, 1611, GW IV), amely tartalmazza a Kepler-féle távcső alapelvének leírását. Bár ezt az eszközt Kepler maga nem építette meg, a leírása nyomán létrehozott távcsövek – optikai előnyeik folytán – fokozatosan kiszorították az eredeti, ún. Galilei-féle távcsöveket a csillagászati használatból. Ugyanebben az időszakban keletkezett a *Strena, seu de nive sexangula* című rövid munkája (*Aján-dék, avagy a hatszögletű hóról*. Frankfurt, 1611, GW IV), amely talán elsőként ábrázolja meg a hópelyhek hexagonális alakját, valamint megfogalmazza a gömbökkel történő térkitöltésre vonatkozó ún. Kepler-sejtést, amelyet csak nemrég sikerült bizonyítani (1998: számítógépes módon; 2014: formálisan).

1612 elején felesége halála, II. Rudolf cseh királyi címről való lemondatása és I. Habsburg Mátyás trónra lépése után a felső-ausztriai rendek meghívására Linzbe költözött mint körzeti matematikus, megtartva császári matematikusi pozícióját is. Linzben újra megházasodott (1613). Esküvői előkészületek által ösztönzött művében, a *Nova stereometria doliorum vinariorum*ban (A boroshordók új térfogat-számítása. Linz, 1615, GW IX) boroshordók, azaz különböző forgástestek térfogatát számította ki Arkhimédész módszere alapján, az integrálszámítás egyik fontos előzményeként. Emellett folytatta Brahe adatainak feldolgozását, és éves bolygóállás-táblázatokat – *ephemerides* – adott ki (*Ephemerides novae motuum coelestium*. Linz, 1617–1620, GW XI/1). Megírta leghosszabb, összefoglaló jellegű művét, az *Epitome astronomiae Copernicanae usitata forma quaestionum & responsionum conscripta*t (A copernicuszi csillagászat kivonata a szokásos kérdés-felelet formában kifejtve. Linz, 1618, GW VII), valamint utolsó jelentős monográfiáját *Ioannis Kepleri Harmonices mundi libri V* címen (*Johannes Kepler öt könyve a világ harmóniatanáról*. Linz, 1619, GW VI), mely a harmadik Kepler-törvényt is előadja. 1619-ben végleg kizárták a württembergi lutheránus egyházból, mert nem volt hajlandó elfogadni a *Concordia* (Drezda, 1580) hitvallás-gyűjteményben

megfogalmazott lutheri tételt Krisztus testének mindenütt-jelenvalóságáról. Az I. Mátyás halála után, 1619-ben német-római császárrá koronázott II. Ferdinánd is fenntartotta Kepler birodalmi matematikusi állását. 1621-ben Kepler a boszorkánysággal megvádolt édesanyja védőjeként lépett fel annak stuttgarti perében (*Hexenprozess*; a vádlottat végül csupán *territio verbalis*ra, szóbeli elrettentésre ítélték, de fia közbelépése nélkül halálbüntetést kaphatott volna, GW XII). 1625-ben adta ki Tacitus *Historiae* című műve I. könyvének német fordítását (Linz, GW XII).

Keplert és családját 1626 nyarán Linzből végleg távozásra kényszerítette a harmincéves háború (1618–1648) során Felső-Ausztriában kitört parasztlázadás, melynek folyamán Linzet két hónapon át ostromolták a felkelők hadai. Kis időre Ulmba költözött, ahol – Brahe észlelési naplóinak két és fél évtizedig húzó-dó feldolgozása nyomán – végül 1627-ben kiadta a *Tabulae Rudolphinae* (*Rudolf császár asztrológiai táblázatai*, GW X) című bolygópozíció-táblázatokat és csillagkatalógust, amelyet csillagászati fő művének tartott. Ezután egy rövid prágai látogatás során találkozott Wallenstein császári főparancsnokkal, Friedland hercegével, aki szolgálatába fogadta mint matematikust, és a sziléziai Saganba hívta letelepedni. Miután Kepler még 1628 februárjában elhárította a felső-ausztriai jezsuiták katolizálási kísérletét, júniusban családotul Saganba, új patrónusa másik hercegségébe költözött. Sagani tartózkodása alatt véglegesítette s terjedelmes jegyzetekkel látta el a két évtizeddel korábban megkezdett *Somnium* (*Álomlátás*, GW XI/2) című, részben tudományos, részben fikatív elbeszélését a Hold felszínéről és lakóiról, melynek 1630-ban megkezdett kinyomtatását megakadályozta a halála. A szöveg így csak 1634-ben, Kepler fia, Ludwig kiadásában jelent meg a maga teljes egészében, két másik Kepler-művel: Plutarkhosz *Περὶ τοῦ ἐμφαινομένου προσώπου τῆς κύκλῳ τῆς σελήνης* (*De facie in orbe Lunae* – *A Hold korongjában mutatkozó arcról*) című dialógusának latin fordításával és egy *Appendix geographica, seu maris, Selenographica* (*Földrajzi, vagy ha jobban tesszük, holdrajzi függelék*) című holdrajzi tanulmánnyal egy kötetben. Amikor 1630 októberében az idős csillagász Linz felé indult, hogy behajtsa ottani tartozásait, útközben Regensburgban megbetegedett és meghalt. Az itteni protestáns temetőben nyugszik.

Vallás- és egyháztörténeti szempontból fontos a levelezése H. von Hohenburggal, C. Zehentmairral és S. Gerlach-hal (1598–1609); Johann Friedrich württembergi herceggel (1609); a stuttgarti lutheránus konzisztóriummal (1611–1612); matematikatanárával, Michael Mästlinnel (1595–1616); M. Hafenrefferrel, a tübingeni akadémia rektorával (1618–1619), P. Guldin felső-ausztriai jezsuita atyával (1628). Fontosak továbbá a stuttgarti konzisztórium belső memorandumai Kepler beadványairól; a már említett *Selbsthoroskop*; Kepler rövid, anonim tanítása az úrvacsoráról: *Unterricht Vom H. Sacrament des Leibs und Bluts Jesu Christi unsers Erlösers* (*Tanítás Megváltónk, Jézus Krisztus testének és vérének szent sákramentumáról*. Prága, 1617, GW XII); hely, név és év nélkül kiadott hitvallása: *N.*

N. Glaubensbekandtnus und Ableinung allerhand desthalben entstandener ungütlichen Nachreden (N. N. hitvallása és a vele kapcsolatban keletkezett mindenféle rosszindulatú rágalom elutasítása. (Strassburg, 1623,) GW XII); Hafenreffer tübingeni rektor leveléhez írott teológiai reflexiói: *Jo. Kepleri notae ad Epistolam D. D. Matthiae Hafenrefferi, quam is ad Keplerum scripsit* (J. Kepler jegyzetei M. Hafenreffer teológiai doktor leveléhez. Tübingen, 1625, GW XII); a felső-ausztriai rendek katolizálási utasítása Keplerhez (1627) stb.

Kepler elsősorban a *Kozmográfiai misztériumban*, *Tycho védőbeszédében*, az *Új, oknyomozó csillagászatban*, *A copernicusi csillagászat kivonatában* és *A világ harmóniatanában* ad elő tudomány- és természetfilozófiai, kozmogóniai-kozmológiai, teremtésteológiai, vallásfilozófiai eszméket. A *Kozmográfiai misztérium* (1596) – melyet Kepler egy világföldrajzi sorozat előfutárának szánt – ajánlása már korán vázolja szerzőnk teológiai keretű módszertanát: eszerint Isten azért adott az embernek elmét és érzékszerveket (*mens adiuncta sensibus*), hogy az eljusson a dolgok létének észlelésétől létük okainak megértéséig (*ad causas quare sint*). Az emberi lélek tápláléka ugyanis a természettudományos ismeret. Az előszó szerint Kepler már egyetemista korában a copernicusi napközpontú világrend híve volt, melyet azután a mű 1. fejezete részletesen bemutat és indokol: Copernicus – Ptolemaiosszal és Tycho Brahéval szemben – megismerte a látszó égi mozgások, különösen a retrogradációk okát, ami a Nap középponti helyzete a világegyetemben. A 2. fejezet Cusanusra, Platón *Timaios*-sára és Püthagoraszra hivatkozva fejti ki Kepler szentháromságtani megalapozású kozmogóniáját: Isten azért teremtette a testet (*corpus*), hogy létezzenek mennyiségek (*quantitates*), hogy ezáltal létezzen görbe és egyenes (*curvus et rectus*), amelyek révén kifejezheti a saját lényegét. A világ középpontjában elhelyezkedő Nap ugyanis az Atya, az állócsillagok szférája a Fiú, a kettő közötti tér pedig a Szentlélek képmása (*imago*), melyeket Isten a görbe felhasználásával teremtett (ezt a trinitológiai analógiát részletesebben is kifejti majd a *Kiegészítések Vitellióhoz* 1. fejezete). Isten azután az egyenes használatával alkotta meg az öt szabályos platóni testet (*quinque corpora regularia*): a hexaédert avagy kockát, tetraédert, dodekaédert, ikozaédert és oktaédert (*Timaios* 54d6–55c7; Eukleidész: *Elemek*, XIII. könyv, 13–17. tétel és különösen 18. tétel, *scholion*). Ezt az öt testet ebben a sorrendben úgy helyezte egymásba a Nap köré, hogy az őket elválasztó – körülírt és egyben beírt – gömbhéjak megfeleljenek a bolygók szféráinak: Ez magyarázza, hogy éppen hat bolygó van (az Uránuszt és a Neptunuszt csak később fedezik majd fel), és hogy azok pályái éppen ilyen távolságra vannak egymástól. A világ tehát egy olyan Isten műve, aki a geometria útján fejezi ki magát a teremtésben: *θεὸν αἰεὶ γεωμετρῶν*, „Isten mindig geométer módjára alkot” – idézi Kepler Platón kapcsán Plutarkhoszt (*Συμποσιακά* 2: Πῶς Πλάτων ἔλεγεν τὸν θεὸν αἰεὶ γεωμετρῶν – *Asztali beszélgetések*, 2. könyv: „Milyen értelemben mondta Platón, hogy az isten mindig geométer módjára alkot?”). Miután ezt a geometriai elrendezést a Szentháromság természetéből kiindulva „*a priori*, az okokból, a teremtés esz-

méjéből” – *a priori, a causis, a Creationis idea* – vezettük le, ezért az a csillagászati rendszer igaz, amelyik a Nap köré ennek megfelelően helyezi el a hat bolygót. Mivel ez a copernicusi, ezért ez a rendszer írja le a valóságot. A *Kozmográfiai misztérium* további 21 fejezete geometriai, csillagászati és fizikai érvekkel igazolja Kepler modelljét.

A tudományfilozófiai szempontból fontos forrás: a *Tycho védőbeszéde Ursus ellen* (1600) ugyanígy a kauzális összefüggések ismeretét tekinti tudománynak. A Brahe felkérésére írott szöveg 1. fejezetében – *Quid sit hypothesis astronomica? (Mit értünk csillagászati hipotézisen?)* – Kepler N. R. Ursus volt császári matematikus elfogását támadja a hipotézisekről. Ursus szerint ugyanis a hipotézis „fiktív feltevés, a világrend képzelt formájának valamiféle képzeletbeli körpályáiról alkotott vázlat” (*De astronomicis hypothesisibus – A csillagászati hipotézisek*; Prága, 1597). A csillagászati hipotézis tehát nem kell megfeleljen a világ valós szerkezetének: elég, ha az égi mozgások kiszámíthatók általa (*motuum coelestium calculus ex illis scitari possit*). Ursus itt a Copernicus *De revolutionibus*ához (1543) Andreas Osiander nürnbergi lutheránus teológus által írott anonim előszóra is hivatkozik mint auktoritásra. Kepler szerint ellenben a hipotézis egy szillogizmus bizonyított kiindulási alapja, amely valóságos kauzális összefüggéseket fejez ki: „Hipotézisnek nevezünk általában mindent, amit bármely bizonyításhoz mint bizonyosat és bizonyítottat felhozunk”; többes számban, szűkebb értelemben pedig hipotézis „egy híres mester elgondolásainak összessége, melyekből az égi mozgások teljes magyarázatát levezeti”. A fizikában nem adódhat hamis hipotézisből a tapasztalatnak vagy megfigyelésnek (*experientia seu observatio*) teljesen megfelelő következtetés; ráadásul a csillagász nemcsak az égi mozgások jóslására törekszik (*motus et situs stellarum praedicere*), hanem a világ valóságos szerkezetét akarja kikövetkeztetni (*naturae penitissimam formam concludere*). Kepler ezért idézi Osiander Copernicushoz és Rheticushoz írott magánleveleit is (1541), melyek fényében az Osiander-előszót Copernicus védelmére tett kísérletként értelmezi. A csillagász feladata végső soron olyan csillagászati hipotéziseket alkotni, amelyek magyarázzák a csillagok látszó mozgásait (*apparentes stellarum motus*); és olyan geometriai hipotéziseket alkotni, amelyekből levezethetőek e csillagászati hipotézisek.

A Mars szabálytalan mozgásait magyarázó *Új, oknyomozó csillagászat* (1609) két évezredes természetfilozófiai előfeltevéseket dönt meg. A bevezetés szerint az égi jelenségek (*coelestes apparentiae*) fizikai okait keresve három modell közül választhatunk: A ptolemaioszi, a Brahe-féle geostacionárius (a mozdulatlan Föld körül kering a Hold és a Nap, de a többi bolygó a Nap körül kering) és a copernicusi közül. Kepler célja a mozgások természetes okainak (*causae motuum naturales*) vizsgálata révén elérni, hogy a copernicusi rendszer megfeleljen a jelenségeknek. Így az arisztotelészi fizikából tagadja a testek természetes helyének tételét és a bolygókat mozgató intelligenciákat (*intelligentiae motrices*). Brahe nyomában elveti a szilárd bolygószférák elképzelését, megsejti a gravitáció kölcsönösségét (*gravitas est affectio corporea, mutua inter cognata corpora ad unitio-*

nem). Egy hosszú biblikus hermenutikai kitérőben Galileihez (*Lettera a Cristina di Lorena*, 1615) és P. A. Foscarinihoz (*Lettera sopra l'opinione de' Pittagorici e del Copernico*, 1615) hasonlóan azzal védi a copernicusi rendszer szembenállását a Biblia geocentrizmusával, hogy „a Szentírás a hétköznapi dolgokról emberi módon beszél az emberekkel” (*sacrae literae de rebus vulgaribus loquuntur cum hominibus humano more*). A Biblia tehát nem fizikatudományi kézikönyv, hanem morális tanítás (*nullum audis dogma physicum, νοϋθεσία est moralis*). A kopernikánus csillagász ezt a tanítást nem támadja, hanem az „okok felderítése révén” (*ex causarum inquisitione*) új érvekkel erősíti meg. Az első két rész ezután a ptolemaioszi rendszer elégtelenségét mutatja be, a további három rész Kepler saját hipotéziseiből kiindulva tárgyalja újra a Mars mozgásait, és igazolja, hogy a jelenségek egy módosított heliocentrikus hipotézisnek felelnek meg. A III. rész 32. fejezete fogalmazza meg a 2. Kepler-törvényt: A bolygópályák vezérsugarai egyenlő idők alatt egyenlő területeket síroznak – vagyis a bolygók napközelpont felgyorsulnak, naptávolban lelassulnak. Ez megdönti az egyenletes szögsebesség Ptolemaiosz által bevezetett posztulátumát (*Mathēmatikē syntaxis*, III/3). A 33. fejezet valószínűsíti, hogy a bolygókat mozgó erő a Nap testében van, a mágnességhez hasonló természetű, és hordozója a fény. A IV. rész 44. fejezete terjeszti elő az 1. Kepler-törvényt: A bolygók ellipszis alakú pályán (*orbita elliptica*) mozognak, melynek egyik gyújtópontjában a Nap áll. Ezzel megdől a pályák köralakjával kapcsolatos platóni-ptolemaioszi posztulátum (*Timaiosz* 39a3; *Mathēmatikē syntaxis*, III/3). Az ellipszispályák felfedezéséhez kapóra jött, hogy Kepler az *Ad Vitellionem paralipomena* IV/4. fejezetében már forradalmian új módon kezdte tárgyalni a kúpszeleteket: itt vezette be például a „fókusz” fogalmát.

A katekizis formájú, hét könyvre tagolt *Copernicusi csillagászat kivonata* (1618) a magasabb iskolák számára is érthető módon foglalja össze a javított heliocentrikus modell minden aspektusát. A csillagászatot az égi jelenségek okait kutató tudományként definiálja, amely jövőendő és elmúlt égi eseményeket egyaránt képes jósolni; egyfelől a fizikához tartozik, ennyiben tartalmazza a földrajzot, kronológiát, meteorológiát s az optika nagy részét; másfelől a matematikához is tartozik, amennyiben támaszkodik a geometriára és az aritmetikára (I. könyv, bevezetés). A csillagász feladata a megfigyelés (*observatio*); a jelenségeknek megfelelő geometriai hipotézis alkotása (*salvare apparentias coelestes*); e hipotézisek fizikai vagy metafizikai okokra való visszavezetése (*causas reddere hypothesium*); előrejelzésre alkalmas táblázatok alkotása (amilyenek Ptolemaioszéi, Alfonz királyéi, Copernicuséi, Reinholdéi és a készülőben lévő *Tabulae Rudolphinae*); és asztronómiai műszerek készítése. A csillagász mindezek révén meghatározza az egész világ valós szerkezetét (*genuinam formam et dispositionem totius mundi*), melyben a teremtető Isten nyilvánította ki saját lényegét és az ember iránti akaratát (*suam essentiam suamque voluntatem erga hominem propalavit*; uo.). Kepler az *Új, oknyomozó csillagászat*éihez hasonló érvekkel védi továbbá a heliocentrizmust a Bibliának való ellentmondás vádjával szemben, és a püthagoreus Philolaoszt és

Ekphantoszt, valamint Hérakleidész Pontikoszt és Szamoszi Arisztarkhoszt hozza fel a napközpontú modell ókori képviselőiként (I. könyv, 5. rész).

A *világ harmóniatana* (1619) elutasítja a ptolemaioszi rendszert, tolerálja a Tycho Brahe-félét, de igaznak kizárólag a copernicusit tartja. Ebben kozmogóniai szerepet játszik az öt tökéletes platóni test, melynek tárgyalása számos új megítélést tartalmaz az egyébként kiterjedt hagyományhoz képest – Kepler egyebek mellett felfedezi itt a csillagötszögekből felépülő csillagpoliédereket. A platóni testek több módon is kifejeznek ugyan harmonikus arányokat (V. könyv, 2. fejezet), de a bolygópályák közötti távolságok arányai nem vezethetők le csupán belőlük. A Teremtő, a „geometria forrása,” aki az „örök geometriát műveli” (*Creator, Geometriae fons ipsissimus, aeternam exercens Geometriam*), tökéletes arányosságba állította bármely két bolygó pályahosszait és keringési időit is. Ezt fejezi ki a 3. bolygótörvény: Két bolygópálya fél nagytengelyeinek köbei úgy aránylanak egymáshoz, mint a két bolygó keringési időinek négyzetei (V. könyv, 3. fejezet, viii). Ilyen elrendezésben harmonikusak a két-két bolygópálya szélső pontjai közötti távolságok arányai és a bolygók itteni kerületi sebességei. Kepler szerint e harmonikus arányok bizonyára észlelhetők valamilyen érzékelés (*sensorium*) számára, amely a Napban mint a mozgatóerők kiindulási pontjában helyezkedik el (V/4). A bolygók harmonikus mozgásában ugyanis örök kozmikus összhang nyilvánul meg, amely nem hallható, hanem értelmi természetű (*perennis quidam concentus, rationalis, non vocalis*), de tárgyalható a „szférák zenéje”-ként, melyet Kepler a matematikai harmóniatan zenei hagyományát – különösen Ptolemaiosz *Harmóniatanát* – követve bolygónként le is kottáz (V/7). Az egyes bolygók szabálytalan mozgásai (*eccentricitates*) abból fakadnak, hogy Isten az öt szabályos test mint konstrukciós elv mellé felvette a harmonikus arányokat is, így hozott létre egyetlen univerzális harmóniát az ég tökéletes archetípusának megteremtése révén (*perfectissimum archetypum coelorum*; V/9). A mű utolsó fejezete, az *Epilógus a Napról* sejtés formájában, az újplatonikus Proklosz Nap-himnuszát idézve tételezi fel, hogy a Nap egy elme székhelye, mely észleli a bolygómozgások kozmikus összhangját (*in Sole intellectum simplicem, πῶρ νοερόν, seu νοῦν habitare*). Isten korlátlan teremtmőereje folytán lehetséges továbbá, hogy a Napnak is vannak tüzes testű lakói (*igneae hic habitare corpora, mentium simplicium capacia*; V/10). A mű Isten emelkedett dicsőítésével ér véget.

Kepler hatalmas életműve lényeges pontokon igazította ki a copernicuszi modellt, több síkon (biblikus hermenutika, geometria, légköroptika, fizika) meggyőzően érvelve amellet. Ptolemaiosz matematikai világszemlélete helyett mindig a fizikai okokat, illetve egyáltalán az okokat kereste. Három bolygótörvényével egyrészt új fogalmi alapokra helyezte a bolygómozgások tárgyalását, másrészt a korábbiaknál lényegesen pontosabb leírásokat és előrejelzéseket tett lehetővé, s végül megnyitotta az utat a newtoni gravitáció elméletének felfedezése és bizonyítása felé. Az arisztotelészi fizika helyett platonikus-püthagoreus alapelveket vett fel: Ilyen mindenekelőtt a fizikai természetet meghatározó ará-

nyosságok és harmóniák, a számok mint valóságkonstituáló princípiumok gondolata, a geometriai formák archetipikus jelenléte a természet mozgásaiban. Kepler a kézműves Isten mint geométer platóni gondolatát ötvözte a trinitológiai modellel, a természet könyvéből Isten természetét olvasta ki – és fordítva: a természet könyvébe Isten természetét látta bele. Végtelen precizitással elemezte a megfigyelési adatokat (*Új, oknyomozó csillagászat*); a karteziánus módszertant előlegezte meg azzal, hogy tekintélyek elfogadása helyett mindent saját maga ellenőrzött, így haladva meg a korábbi modelleket. Ugyanez jellemezte teológiai gondolkodását: Lutheránus létére a krisztusi hústest mindenütt-jelenvalóságának kérdésében magának Luthernek sem hitt csak azért, mert mások hittek Luthernek. Gondolkodása ugyanannyira természettudományos, amennyire teológiai: E két látásmód nem kioltja, hanem megtermékenyíti egymást benne.

II. AZ *ÚJ, OKNYOMOZÓ CSILLAGÁSZAT* KELETKEZÉSTÖRTÉNETE ÉS TARTALMA

Az *Astronomia nova αἰτιολογητός* Kepler talán legfontosabb műve, melyben a szerző kimondja a később róla elnevezett, a bolygómozgásokra vonatkozó első két törvényét.² E törvények, melyek majd Newton munkássága nyomán nyerik el a ma őket illető figyelmet és elismerést, utat nyitottak az égi mozgások minden addiginál pontosabb³ és fizikai elvekre visszavezetett leírásához.

Az 1609-ben megjelenő mű nagyjából egy évtizednyi megfeszített munka eredménye. Kepler 1600-ban érkezett Prágába, hogy a császári csillagász, Tycho Brahe segédjeként közreműködjön annak eldöntésében, hogy a Tycho és munkatársai által évtizedek során felhalmozott, minden addiginál átfogóbb és precízebb észlelési adatbázis alapján melyik csillagászati modell írja le a legpontosabban az égitestek mozgását. Míg Tycho azt remélte, hogy az adatok a saját elméletét, az ún. geo-heliocentrikus modellt támasztják alá (amelyben a bolygók a Nap körül mozognak a Copernicus által leírt módon, ám a Nap maga is mozog a csillagos égbolt centrumában mozdulatlanul elhelyezkedő Föld körül), addig Kepler meg volt győződve Copernicus heliocentrikus kozmoszának igazságáról.

Kepler azonban eddigre már több ponton is továbblépett Copernicus eredeti elméletéhez képest. Első, 1596-ban megjelent művében, a *Mysterium cosmographicum*-ban olyan kérdésekre igyekszik választ keresni, melyek Copernicuskál még nem merültek fel explicit módon: magyarázatot kíván nyújtani a bolygók

² A Kepler-törvények felfedezésével kapcsolatban lásd Wilson 1968; Aiton 1969, 1978; Whiteside 1974; Donahue 1993; Kozhamthadam 1994 (valamint a 3. törvényről pl. Gingerich 1975), az utóéletről Russell 1964; Wilson 1970; Baigrie 1987.

³ Ennek mértékét érdemes hangsúlyozni: a neves Kepler-kutató, Eric John Aiton szerint „csaknem két nagyságrendnyi javulást” (azaz közel százszor pontosabb adatokat) hoztak a Rudolf-táblázatok a bolygópozíciók előrejelzésében, lásd Kepler 1981. 253. 3. j.

számára, Naptól mért távolságaira és mozgásainak sebességére.⁴ Ehhez egyfelől kidolgozza az egymásba ágyazott poliédereken alapuló híres-hírhedt modelljét, melyhez egyébként – a modell pontatlansága ellenére – később is ragaszkodik.⁵ Másrészt azt vizsgálja, hogy mi a bolygók mozgásának oka:⁶ úgy véli, hogy a keringések nem pusztán a Nap körül, hanem egyúttal a Nap által is történnek, mert a Nap a forrása annak a hatásnak, mely e mozgásokat eredményezi. Bár az itteni magyarázat-kísérletei még kezdetlegesek és bizonytalanok, az őket ösztönző igény – a bolygómozgások geometriájának és sebességének magyarázata fizikai okok alapján – szintén állandó eleme marad Kepler munkásságának s annak részeként az *Astronomia nova* gondolatmenetének.⁷

Ez a mű a Mars pályáját kívánja meghatározni, ugyanis Tycho Brahe ezt a feladatot bízta Keplerre, sőt csak a Mars adatait bocsátotta Kepler rendelkezésére.⁸ A választás azért kézenfekvő, mert a bolygók közül a Mars pályája a legszabálytalanabb az egyenletes körmozgáshoz képest,⁹ így várható volt – s mint kiderült, joggal –, hogy rajta keresztül fejthető fel a mozgások valódi geometriája. Kepler ezt a nehéz feladatot páratlan szorgalommal és lenyűgöző szakértelemmel végzi el: Magabiztos matematikai kompetenciája, zsenialitásáról tanúskodó elemzési fortélyai, valamint állhatatos és lankadatlan erőfeszítései egyaránt kivívták az utókor csodálatát.

Ugyanakkor, ha mai szemmel tekintünk rá, akkor ez a mű nemcsak szokatlan, hanem igen nehéz olvasmány is, mivel szerkezete és stílusa merőben eltér a modern tudományos prózáétól. Kepler nem az eredmények analitikus bemutatása és alátámasztása köré szervezi a felépítést, hanem az általa (állítólag) bejárt tekervényes kutatási labirintuson kalauzolja végig az olvasót. Ez a felépítés retorikai célt szolgál, egy olyan potenciális közönséget megszólítva, amely technikai felkészültségét tekintve képes ugyan megbirkózni a mű részleteivel,

⁴ A műről, keletkezésének körülményeiről és főbb novumairól lásd Kutrovátz–Vassányi 2019 bevezetőjét.

⁵ Lásd pl. az *Epitome astronomiae Copernicanae* című tankönyvében (1617–1621) a IV. könyv 3. fejezetét, vagy a *Harmonices mundi* című művének (1619) V. könyvét, vagy a *Mysterium cosmographicum* második, jegyzetekkel bővített kiadását (1621).

⁶ Főleg a mű vége felé, a XX–XXII. fejezetekben. Bár a konkrét fizikai mechanizmus korábban nem volt legitim kérdés, abban hallgatólagosan egyetértettek a szerzők – pl. Arisztotelész alapján –, hogy a bolygókat a szférák hordozzák. Kepler azonban legalább ötször hivatkozik a műben arra, hogy Tycho üstökösmérései cáfolták a szilárd szférák létezését, így természetes módon felmerül a mozgás okának kérdése.

⁷ Ahogy a mű teljes címe egyértelműen hirdeti, a mű az *égi fizika* (*physica coelestis*) kifejtését tartalmazza – radikálisan szembehelyezkedve az arisztoteléanus hagyomány égi (szupralunáris) és földi (szublunáris) régiók közti dichotómiájával.

⁸ Bár Tycho 1601-ben bekövetkezett halála után, és az örököseivel folytatott jogi huzavonát követően Kepler végül a teljes adatbázishoz hozzájutott, ez a mű csak a Marssal folytatott „harcának” eredményeit tartalmazza.

⁹ Pontosabban a Merkúré még szabálytalanabb, ám ez a bolygó mindig olyan közel tartózkodik a Naphoz, hogy nehezen és ritkán észlelhető, így a róla szerzett szórványos és bizonytalan adatok aligha lettek volna elegendők a kitűzött probléma megoldásához.

ám előfeltevéseiben és elvárásaiban gyökeresen szemben áll azzal, amit Kepler képvisel.¹⁰ Ahelyett tehát, hogy rögvést a mondandója lényegére térve szembesítené az olvasókat olyan állításokkal, melyek azonnal elrémíszthetnék azok jelentős hányadát, szerzőnk csak fokozatosan, gondosan felépített zsákutcákon keresztül botorkálva, az alagút végén felragyogó fényként kínálja fel szokatlan elgondolásait.¹¹ Ennek a briliáns szellemi útvesztőnek azonban a modern olvasó a kárvallottja, hiszen érdeklődése és háttere gyökeresen eltér az eredeti célközönségtől, s nem is hagyatkozhat a tudományos szövegek azon átlátszóságára, azonnali áttekinthetőségére, amelyet megszokott és elvár.

Ráadásul a műben mindvégig különböző megközelítések keverednek egymással: egyfelől jelen van a hagyományos geometriai csillagászat a maga ősi technikáival, másfelől előtérbe kerülnek az ehhez kapcsolódó, ám újabb keletű kozmológiai kérdések (Copernicus, majd Tycho modelljei kapcsán), összekötve mindezt a precíz észlelőcsillagászat kialakulóban lévő számítási technikáival, és végül átszőve az egészet sajátos fizikai és metafizikai gondolatmenetekkel. Eme – korábban gyakran összeférhetetlennek tartott – különböző tárgyalásmódok relatív hangsúlya változik a mű mentén, és az olvasó akár egy fejezeten belül is kapkodhatja a fejét a matematikai és fizikai kifejtések dinamikája láttán.

Az itt fordított fejezet a mű III. Részének részét képezi. Miután az I. Rész felvázolja a három vizsgált elmélet (ptolemaioszi, copernicuszi és tychoói) viszonyát és újraértelmezi azokat, a II. Rész pedig arra használja fel Tycho mérési adatait, hogy a lehető legpontosabb modellt illessze rájuk az ókori elvek és technikák segítségével, a III. Rész a Föld mozgását írja le a Mars megfigyelései alapján, hogy tovább tökéletesíthesse a mű mentén folyamatosan alakuló modellt. Ebbe ékelődik bele egy olyan fejezetsorozat (32–39.), amely a bolygómozgások okainak tárgyalásán keresztül fejti ki Kepler aktuális fizikai elképzeléseinek jelentős részét. Ezen elképzelések általános jellemzése meghaladja e bevezető ambícióit és kereteit.¹² Ehelyett rövid vázlat gyanánt felsoroljuk azokat az alapelveket vagy „axiómákat,” melyeket a szerző – az addigiak összefoglalásaként – a fizikai fejezetsor utolsó elemének (39.) elején leszögez:¹³

1. Egy bolygó teste önmagától arra törekszik, hogy nyugalomban maradjon ott, ahova helyezik.
2. A bolygót a Napból származó erő mozgatja egyik hosszúsági helyzetéből a másikba.

¹⁰ A mű retorikáját vizsgálja a célközönség kontextusában Voelkel 2001. 211–253.

¹¹ Jellemzőek a nehezen áttekinthető kitérések, a gondosan felépített álláspontok későbbi visszavonása vagy elvetése, a körben járás és az ismétlések vagy a szórszálhasogatásnak tűnő elmerülés egyes részletekben. Mindezt a szerző érzelmi megnyilvánulásai kísérik, a bizonytalanságtól a bosszúságon vagy örömmön át az elkeseredésig vagy megkönnyebbülésig.

¹² Kepler fizikájáról (és a csillagászati érvelések részleteiről) ajánlható pl. Stephenson 1987 (kifejezetten az *Astronomia nova* elemzése a 21–137. oldalon olvasható) és Barbour 2001. 264–351. A művel kapcsolatban általában hasznos forrás Voelkel 2001.

¹³ GW III, 256.

3. Ha a bolygó távolsága a Naptól nem változna, akkor a pályája szabályos kör volna.
4. Ha ugyanaz a bolygó két különböző távolságra lenne a Naptól, és azokon egy-egy teljes kört befutna, a periódusidők a távolságoknak, azaz a pályák méreteinek négyzetével volnának arányosak.
5. Az a pusztta erő, mely a bolygók testében lakozik, önmagában nem elegendő ahhoz, hogy helyről-helyre mozgassa a testét, mivel nincs lába, szárnya vagy tolla, amellyel nyomást gyakorolhatna az *aether*-mennyre.
6. A bolygó közeledése a Naphoz vagy távolodása tőle abból az erőből származik, mely a bolygó sajátja.

A későbbi fizikán nevelkedett olvasó talán nehezen barátkozik meg az itt kifejtett elvekkel, hiszen szinte semelyikük sem tekinthető ma elfogadottnak. Ahogy rögtön az első pontból kiderül, Keplernél még nem jelenik meg a tehetetlenség mai fogalma, és főleg nem a mozgásmennyiség megmaradásának elve (mint majd Descartes-nál vagy Newtonnál és bizonyos mértékig Galileinél). Ez pedig alapvető akadálya a mozgás helyes oksági magyarázatának, hiszen szemben a newtoni paradigma tudósaival, Kepler még a mozgás okait, nem pedig a mozgás megváltozásának okait keresi. A mozgítás felelősségének oroszlánrészét a központi Napra hárítja, ám a szabálytalannak tekintett komponensek forrását maguknak a bolygóknek tulajdonítja. A negyedik pontban megfogalmazott, az elvekből a priori módon levezetett kvantitatív mozgástörvény pedig – helytelenül – egy négyzetes összefüggést állapít meg ott, ahol egy évtized múlva a harmadik törvény másfelek hatványt talál majd érvényesnek.¹⁴

Kepler elképzelései mégis a modern tudomány előszobáját jelentik, miután szakítanak a bolygómozgások tárgyalásának antik gyökerű hagyományával. A mozgás okának kérdése fizikai problémává válik, melyet fizikailag tekintett testek – a Nap és a bolygók – anyagi természetű kölcsönhatása határoz meg. E kölcsönhatás kepleri jellemzései a távolható erő (*actio in distans*) fogalmának talán első fizikai vizsgálatát kínálják. Ezzel összhangban Kepler – talán ismét csak elsőként – nem a bolygómozgásokat modellező geometriai konstrukciókra, hanem az erőhatások eredményezte pályára, azaz az égitest által befutott térgörbére összpontosít. Ebben pedig végső döntőbírája egyrészt a tapasztalat, vagyis az égitestek mozgását leíró pontos, részletes észlelési adatok, másrészt pedig a matematika, azaz a komplex, magas szintű és fáradságos számítások.

Ami a részleteket illeti, lásd a továbbiakban a szöveget, valamint magyarázó jegyzeteinket.

¹⁴ Tegyük hozzá, hogy ez a törvény különböző bolygók mozgásának összehasonlítására vonatkozik, és mivel Kepler ebben a művében csak a Mars pályáját vizsgálja, ezen a téren nem segítették a pontos észlelési adatok. Az összefüggésről lásd a későbbi jegyzeteinket, valamint Erdei-Kutrovácz-Vassányi 2019 magyarázó jegyzeteit.

Johannes Kepler: Új, oknyomozó csillagászat

III. rész, 33. fejezet¹⁵

A BOLYGÓKAT MOZGATÓ ERŐ A NAP TESTÉBEN VAN

Miután tehát a fentebbi fejezetben bizonyítottuk, hogy a bolygó időzései¹⁶ az excentrikus kör [*circuli eccentrici*]¹⁷ egyenlő részein – vagyis az *aether*-menny¹⁸ egyenlő tereiben – úgy viszonyulnak egymáshoz, ahogyan ugyanezen terek távolságai arányulnak kölcsönösen egymáshoz attól a ponttól mérve, melytől az

¹⁵ (Johannes Kepler:) *Astronomia nova αιτιολογητός, seu Physica coelestis, tradita commentariis de motibus stellae Martis, ex observationibus G. V. Tychonis Brahe: Jussu & sumptibus Rudolphi II. Romanorum Imperatoris &c: Plurimum annorum pertinaci studio elaborata Pragae, a S[acr]ae C[aesare]ae M[ajesta]tis S[uae] Mathematico Joanne Keplero, cum ejusdem C[aesare]ae M[ajesta]tis privilegio speciali Anno aerae Dionysianae MDCIX, 167–172* = Johannes Kepler: *Astronomia nova*. München, C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 1937. 236–242 (Gesammelte Werke, Bd. III) < <http://publikationen.badw.de/de/002334739> >.

¹⁶ *morae*: Kepler terminusa arra az időtartamra, amelyre egy bolygónak szüksége van a pályája kis ívelemének befutásához. A fogalom effektíve a sebességet váltja ki (annak inverze), amely Keplernél még nem volt alapvetően fontos (lásd Stephenson 1987. 210).

¹⁷ A mozgáspálya excentricitásának jelentése itt ambivalens. Kepler ún. 1. törvénye közismerten kimondja, hogy a bolygók elliptikus pályán mozognak a Nap mint egyik fókuszpont körül. Ugyanakkor a mű ezen pontján még nem merül fel az ellipszis lehetősége, hanem Kepler azt csak a 47. fejezettől kezdi el vizsgálni, és az 59. fejezetben szögezi le határozottan (ott is csak a Mars esetére). Ráadásul a mű kézírata már jórészt elkészült, amikor Kepler felfedezte az elliptikus mozgás törvényét (lásd Kepler 1992. xi–xii), és feltehető, hogy a jelen 33. fejezetben kifejtett megállapítások is megelőzték az utóbbi felismerést. A mű korábbi részeiben, mint a hivatkozott előző fejezetben is, Kepler a hagyományos értelemben használja az excentricitás fogalmát, azaz olyan körpályára utal vele, melynek geometriai középpontja eltér a fizikai – avagy más okból vonatkoztatási alapként szolgáló – „valódi” centrumtól.

¹⁸ Kepler ezt a terminust (*aura aetherea*) használja a bolygók közti tér megnevezésére (lásd Kepler 1992. 21). E tér természete problémás. A geocentrikus hagyomány szerint a szférák – bár vastagok – hézagmentesen kitöltik a Hold feletti világot, vagyis e régió anyaga megegyezik a szférákéval (legyenek azok szilárdak vagy folyékonyak, de mindenképpen „éteriek”). Kepler azonban kétféleképpen is szembehelyezkedik ezzel a nézettel: Egyfelől – ahogy említettük – Tycho alapján elveti a szilárd (vagy bármilyen hagyományos értelemben vett) szférák létezését; másfelől Copernicus elméletét követve a bolygók pályái között jelentős hézagokat tételez fel. Ezért e megnevezés hátterében a bolygóközi tér egészen újszerű koncepciója rejlik, főleg miután e térrészt fizikai hatások közvetítő közegeként képzei el. Bár ahogyan Stephenson (1987. 27, 8. j.) megjegyzi, Kepler sohasem fejtette ki, pontosan milyen tulajdonságokkal rendelkezik ez a közeg, mindazonáltal elszórt megjegyzésekből ismerhetjük néhány tulajdonságát – lásd pl. e fejezet utolsó mondatát.

excentricitást számítjuk;¹⁹ vagy egyszerűbben: minél távolabb van a bolygó attól a ponttól, melyet a világ középpontjának tekintünk, annál gyengébben ösztönződik mozogni ama pont körül;²⁰ szükséges tehát, hogy e gyengülés oka vagy magában a bolygó testében legyen, valamint az abban bennerejlő mozgatóerőben,²¹ vagy magában a világ feltételezett középpontjában.

Az egész természetfilozófiában teljesen általánosan használt axióma mármost az, hogy két dolog közül, melyek egyszerre és ugyanolyan módon történnek, és mindenütt ugyanazokat a mértékeket veszik fel, az egyik a másik oka, vagy mindkettő ugyanazon ok hatása. Ahogyan itt a mozgás megerősödése [*intentio*] és alábbhagyása a világ központjához való közeledéssel, illetve az attól való távolodással arányaiban örökké egybeesik. Minél fogva vagy e gyengülés lesz az oka annak, hogy a csillag²² eltávolodik a világ középpontjától; vagy az eltávolodás lesz gyengülés oka; vagy mindkettőnek valamilyen közös oka lesz. De nem lehet úgy vélekedni, hogy valamely harmadik dolog játszik közre, ami e két jelenség közös oka; és a következő fejezetekben világossá fog válni, hogy nem kell ilyesmit kitalálnunk, mivel ez a kettő elégséges egymás számára.

¹⁹ Ez Kepler ún. második törvénye, melyet precízen a 32. fejezetben mond ki először: a bolygó által a pályáiv adott hosszszemlének befutásához szükséges idő egyenesen arányos a valódi középponttól mért távolsággal. Ennek valamivel ismerősebb, a területre vonatkozó megfogalmazásával az 59. fejezetben találkozhatunk. Fontos megjegyezni, hogy amint említettük, Kepler ennek felismerésekor még nem fedezte fel a mozgás elliptikus természetét, így a „második törvény” mind a mű kifejtésében, mind a felfedezés sorrendjében megelőzi az „első törvényt”. Ahogy a 32. fejezetben olvasható bizonyításból is világos, ez a törvény itt még excentrikus körmozgásra vonatkozik, és csak a későbbiekben vonatkoztatja az elliptikus mozgásra – ezért csak az 59. fejezetben mondja ki a területi sebesség állandóságát, mert az szigorúan véve csak ellipszis esetén érvényes, excentrikus körnél pedig csupán közelítőleg. Ha a mozgástörvények legáltalánosabb és a mai olvasó számára legérthetőbb megfogalmazását keressük Keplernél, akkor azt az *Epitome astronomiae Copernicanae* című mű 3. kötetében találjuk (Linz, 1621; V. könyv, 1. rész, 3–4. fejezet, GW VII, 372–379).

²⁰ Ahogy ebből a megfogalmazásból és az előző, 32. fejezet címéből is világos („A bolygót körben mozgató erő a forrásától távolodva csökken”), Kepler ezt a törvényt azonnal fizikai kontextusban értelmezi. Sőt, magának a törvénynek a felfedezését eleve fizikai megfontolások motiválták (lásd pl. a *Mysterium cosmographicum* 22. fejezetét), és a 32. fejezet geometriai bizonyítása csak később született.

²¹ Kepler erőfogalmának pontos jelentését, valamint annak változatait és változásait itt nincs lehetőségünk részletezni, hiszen hatalmas téma. Csak annyit jegyzünk meg, hogy a három legfontosabb terminus a *virtus*, a *vis* és az *anima* (ezek közül ezen a szöveghelyen a *vis* szerepel). Bár a *virtus* legszorosabb jelentésében az a képesség, amely kifejti a *vis*-t (tehát a *vis* a megnyilvánuló erő, míg a *virtus* ennek forrása), Kepler számtalan helyen felcserélhetőként használja eme fogalmakat, így mindkettőt fordíthatjuk „erő”-ként. Az *anima* („lélek”) kifejezés a mozgatás szellemi vetületére utal: A testnek „tudnia” kell, merre haladjon az erő hatására. (Ahogyan Kepler egyre nagyobb szerepet tulajdonít a Napnak a mozgatásban, úgy a bolygók „lelke” egyre inkább háttérbe szorul.) Barbour (2001. 274) szerint ha valakit érdekel az erő fogalmának megjelenése a fizikában, akkor az *Astronomia nova* a legfontosabb szöveg, amit tanulmányoznia érdemes.

²² *sidus*: A görög csillagászati terminológiát követve a latin *sidus*, *stella*, *astrum* szavak egyaránt jelölhetnek állócsillagot vagy bolygót a kora újkori forrásokban. A pontos jelentést vagy a szöveghatározat, vagy e terminusok jelzői határozzák meg.

Nem egyezik továbbá a természettel, hogy a hosszúsági mozgás²³ erőssége vagy gyengesége legyen a középponttól való távolság oka. A középponttól való távolság ugyanis előbbrevaló a hosszúsági mozgásnál úgy az elgondolhatósága [*cogitatione*], mint a természete révén. A hosszúsági mozgás természetesen sohasem független a központtól mért távolságtól, mivel szüksége van a térre, amelyben megtörténhet; a középponttól mért távolság ellenben elgondolható a mozgás nélkül. Ezért a távolság lesz a mozgás heveességének [*vigoris*] oka; a nagyobb, illetve kisebb távolság pedig a hosszabb, illetve rövidebb időzésé.

S miután a távolság a viszonyban álló dolgok ama nemébe tartozik, melynek léte a határpontokból ered; a viszonynak ellenben önmaga révén – a határpontok tekintetbevétele nélkül – semmilyen hatékonysága sem lehet; ezért következik, amit mondtunk: hogy a két határpont valamelyikében rejlik a mozgás változó heveességének oka.

A bolygó teste azonban magától nem válik sem nehezebbé az eltávolodása folytán, sem pedig könnyebbé a közeledése folytán.²⁴

Azt pedig, hogy egy életerő [*animalem... vim*] – mely úgy ad mozgást az égitestnek, hogy a bolygó mozgó testében székel – elfáradás és megöregedés nélkül mindannyiszor megfeszül és alábbhagy, talán még mondani is abszurd. Tedd hozzá, hogy érthetetlen, hogy ez az életerő miként viszi át a testét a világ terein keresztül, ha egyszer nincsenek szilárd szférák [*orbes*], mint Tycho Brahe bebizonyította; de se szárnyak, se lábak nem állnak a gömb alakú test rendelkezésére, melyek mozgatása révén a lélek ezt a testet az *aether*-mennyen keresztül úgy szállíthatná, mint a légen át repülő madarak a levegőre való valamiféle támaszkodás és a légellenállás révén.²⁵

²³ A hosszúság szerinti (longitudinális) mozgás az égitest mozgásának azon komponense, mely az ekliptika (a Nap látszó égi útja) mentén valósul meg. A szélesség szerinti (latitudinális) mozgás az ekliptikától való kitérést jelenti. Mivel a bolygók mozgásai nagyjából az ekliptika mentén, attól csak néhány fokkal kitérve mennek végbe, a csillagászati hagyomány a hosszúság szerinti mozgást tekintette a bolygók alapvető mozgásának, és a szélesség szerinti mozgást csak másodlagosként, a hosszúságira ráépülő komplikációként kezelték (lásd Ptolemaiosz *Syntaxis*-ának és Copernicus *De revolutionibus*-ának utolsó – XIII. illetve VI. – könyvét). Bár mai elvárásaink alapján feleslegesnek gondolhatnánk Kepler részéről, hogy ezt a hagyományt követi, hiszen minden bolygó mozgása leírható (külön-külön) síkbeli mozgásként, szerzőnknek mégis két fontos oka van a különbségtétel fenntartására. Az egyik technikai, hiszen a mozgó Földről leírt Mars-pálya esetén elválik az ekliptika mentén észlelhető elmozdulás (melyet befolyásol a Föld mozgása) az erre merőlegestől (amelyet nem). A másik fizikai, ugyanis a bolygómozgásokat a forgó Napból kiáradó örvénylő hatás okozatának tartja (34. fejezet), ami alapján azt várhatnánk, hogy azoknak egy közös síkban kell megvalósulniuk, tisztán longitudinális irányban. Ezért a szélesség szerinti mozgásokat, melyek itt még problémát jelentenek a magyarázata számára, majd csak az V. részben veszi módszeresen figyelembe, és a 63. fejezetben nyújt külön fizikai magyarázatot rájuk.

²⁴ Értsd: nem azért gyorsul a középponthez közeledő test, mert könnyebbé válik, és nem azért lassul a távolodó, mert nehezebbé válik – így fel kell tennünk, hogy a mozgató hatás nagysága nem állandó, hanem a távolsággal változik.

²⁵ Ahogy a bevezetőben láthattuk, ezt a plasztikus érvet Kepler megismétli a 39. fejezet elején, ahol a mozgás „axiómáit” foglalja össze: A bolygó nem okozhatja saját mozgását, mert

Az marad tehát, hogy e gyengülés és erősödés oka a másik határpontban van, tudniillik magában a világ felvett középpontjában, melytől a távolságokat számítjuk.²⁶

Ha tehát a világ központjának távolodása a bolygó testétől lassúságot ad a bolygónak, a közeledése pedig gyorsaságot, akkor a mozgatóerő forrásának [*fons virtutis motricis*] a világ ama feltételezett középpontjában kell lennie. Ha ugyanis ezt feltesszük, akkor az ok működésmódja is világossá válik. Elvégre ennek alapján megértjük, hogy a bolygók szinte a mérleg vagy az emelő módjára mozognak. Mert ha egy bolygó annál nehezebben (vagyis lassabban) mozgattatik a középpont ereje által, minél messzebb van attól, akkor az pontosan olyan, mint ha azt mondanám, hogy minél távolabb helyezkedik el egy súly az emelő alátámasztásától, annál nehezebbé válik; nem önmaga által, hanem az őt ilyen távolságban fenntartó kar ereje folytán. Hiszen mindkét esetben – úgy itt a mérlegnél vagy emelőnél, mint ott a bolygók mozgásában – ez a gyengülés a távolságokkal arányos.

Hogy pedig melyik test van a középpontban – vajon semelyik se, mint Copernicus véli, amikor számol, s amint részben Tycho gondolja; vagy a Föld, mint Ptolemaiosz és részben Tycho szerint; vagy végül maga a Nap, ami az én véleményem, s Copernicusé is, midőn elmélkedik²⁷ –, ezt az Első Részben fizikai érvek alapján [*rationibus Physicis*] kezdtem tárgyalni. Ott ugyanis az alapelvek közéttem fel azt, ami már a 32. fejezetben nyilvánvalóan és geometriai módon bizonyítást nyert: hogy a bolygó lassan mozog, amikor távolodik attól a ponttól, melytől az excentricitását számítjuk.²⁸

nincsenek mozgásszervei, melyeket kihasználva mozgásba hozhatná magát a közeg révén (5. axióma, lásd a bevezetőnkét). Az angol fordító, Donahue ebben Newton 3. törvényének (erő–ellenérő) előképét látja (Kepler 1992. 377. 1. j.), és a koncepciót – az önmozgató módját illetően – Arisztotelész *Az állatok mozgásáról* írott műve 1–2. fejezetére utalja vissza (698 A 10–699 A 11).

²⁶ Tegyük hozzá: a bolygómozgások oka a Napban található ugyan (lásd alább), a sebesség változásának oka pedig a Naptól mért távolság megváltozása; de ez utóbbit, a naptávolság változását nem maga a Nap okozza, hanem a bolygók. Ha csak a Nap hatása érvényesülne, akkor a bolygók szabályos heliocentrikus körmozgást valósítanának meg, ám a bennük található ellenálló erő ezt eltorzítja (lásd a mű 38–39. és 57. fejezetét). Ezért itt fontos megjegyezni, hogy Kepler szerint a Nap szerepe nem kizárólagos a bolygópályák megformálásában, bár ez a fejezet csak ezt az aspektust vizsgálja.

²⁷ Copernicus időnként (főleg a kvalitatív leírásokban) valódi heliocentrikus megfogalmazást alkalmaz, máskor pedig (főleg a számításokban) a Nap helyét megkülönbözteti a tényleges középponttól, azaz a földpálya centrumától (lásd a problémáról a *De revolutionibus* III/25, majd V/4. fejezetét). Kepler ezt már a *Mysterium cosmographicum*-ban „korrigálja,” és a Nap központi helye már ott is fizikai szerepre tesz szert, ám az *Astronomia nova*-ban ez centrális jelentőségű tézissé válik.

²⁸ Ez az elv már Ptolemaiosz ún. ekvánszpontjának (*Syntaxis* IX/2) is következménye, hiszen a mozgás ott sem egyenletes, hanem változó sebességű a pericentrum (ahol a leggyorsabb) és az apocentrum (ahol a leglassabb) között. Bár Copernicus ezt a technikát elveti (pl. *De revolutionibus* IV/2), és egy matematikailag majdnem ekvivalens, másodlagos epiciklusos mozgással helyettesíti (pl. *De revolutionibus* IV/3) – és ebben Tycho Brahe is követi –, Kepler

Ebből az elvből kiindulva valószínűségi alapon úgy érveltem, hogy inkább a Nap – vagy Ptolemaiosz számára a Föld – van abban a pontban, a világ középpontjában, semmint valamely más, testetlen pont.²⁹ Hadd térjek vissza ebben a fejezetben is – miután már bizonyítottam ezt az alapelvet – ugyanehhez a valószínűségi érvhez. Emlékezni fogsz továbbá, hogy a Második Részben bebizonyítottam, hogy e jelenségek kevéssel az éjjelek kezdete és vége táján szépen bekövetkeznek, ha tekintetbe vesszük a Mars szembenállásait a Nap látszó helyzetével;³⁰ ha ezt megtettük, akkor az excentricitást és a távolságokat egyaránt a Naptest középpontjától magától határozzuk meg; úgyhogy így ismét maga a Nap kerül – Copernicus számára – a világ középpontjába, vagy legalábbis – Tycho számára – a bolygórendszer központjába. De e két érv egyike a fizikai valószínűségekre támaszkodik, másika a lehetőségből következtet a valóságra.³¹ Ezért – nehezen érthető volta miatt – harmadik lépésben az 52. fejezetre halasztottam annak bizonyítását a megfigyelések alapján [*ex observatis*], hogy nem tehetünk mást, mint hogy a Mars bolygót a Nap látszó helyeihez viszonyítjuk,

az I. Rész 4. fejezetében inkább visszatér az ekvánshoz, sőt Ptolemaiosznál is nagyobb jelentőséget tulajdonít neki, mert ez tisztábban fejezi ki azt az intuíciót, hogy a bolygó sebessége a fizikai középponttól mért távolságától függ. A mű nagy részében az ekvánssal a jogossága mellett érvel, és csak a végére váltja fel ezt az ellipszissel.

²⁹ Kepler a mű I. Részében, különösen annak 5–6. fejezeteiben amellet érvel, hogy a Mars mozgásában megjelenő azon komponens, mely a Nap pozíciójával összhangban változik – a Mars és a külső bolygók esetében ez az ep ciklus mentén megvalósuló mozgás, a belső bolygók esetében pedig a deferens mentén végbemenő mozgás volna – nem a Nap ún. középmozgásával, azaz átlagos haladásával korrelál, mint ahogyan Ptolemaiosz, Copernicus és Brahe feltételezte, hanem a Nap valódi, egyenetlen sebességű mozgásával. Ez arra utal, hogy amennyiben a heliocentrikus leírást alkalmazzuk, akkor a valódi Napnak kell a mozgások középpontjában lennie, nem pedig a „középnaphnak”, vagyis egy, a Nap közelében elhelyezkedő fiktív pontnak (Copernicus szerint a földpálya köre középpontjának, amely kb. 3 napátmérőnyire helyezkedik el a valódi Nap középpontjától). Az érv ezen a ponton még azért valószínűségi, mert bizonytalan fizikai megfontolások vezérlik, nem pedig az észlelési adatokra alapozott geometriai bizonyítások, melyeket Kepler csak a II. Részben alkalmaz.

³⁰ Kepler a II. Részben az ókori geometriai technikák felhasználásával megkísérli a Mars mozgásának minél pontosabb modelljét adni az észlelési adatok alapján. Ha az előző rész tanulságát figyelembe véve az ún. második egyenlőtlenséget (azaz ep ciklikus mozgást) nem a Nap középmozgásával, hanem annak látszó pozíciójával korrelálja, akkor sikerül egy olyan modellt megalkotnia, amely a Mars oppozíciójakor, azaz Nappal szemközti helyzetében bekövetkező jelenségeket (pl. esti kelés, reggeli nyugvás) nagy pontossággal leírja. A III. Rész által megoldandó probléma az lesz, hogy a szembenálláson kívüli helyzetek leírására ez a modell pontatlan, ami arra utal, hogy nem a Mars mozgásának modellje a rossz, hanem a Föld mozgásának (ill. a ptolemaioszi felfogásban a Nap mozgásának) a modellje – ott majd ezt fogja pontosítani. A felhasznált trükk abban áll, hogy ha a Mars észlelési adatai közül csak az oppozícióban mérteket veszi figyelembe, akkor ilyenkor a bolygó heliocentrikus hosszúsága megegyezik a geocentrikus hosszúságával (a Földről és a Napról nézve ugyanarra látszik), azaz a Föld mozgásának bizonytalanságaitól eltekinthetünk. Ezért foglalkozik Kepler a szembenállások jelenségeivel.

³¹ *procedit a posse ad esse.*

s apszisainak vonalát,³² amely kettéosztja az excentert, magán a Nap testén keresztül húzzuk meg; hacsak nem akarunk esetleg olyan excentert felvenni, amilyet semmiképpen sem tesznek lehetővé az éves pálya parallaxisai.³³ Ha valaki a késlekedést nehezebben tűri, az olvassa el erről a dologról az 52. fejezetet; s ha elolvasta, akkor végül így folytassa itt az olvasást. Ott ugyanis semmi feltevessel nem élek, hanem csupán megfigyelésekkel. Hasonló bizonyítást fogsz találni az Ötödik Részben a szélességekre [*latitudinum*] alapozva.³⁴

Miután tehát a Nap illik a rendszer középpontjába, ezért a mozgatóerő forrása a már bizonyítottak alapján a Naphoz tartozik, mivel immár e forrást magát is a világ központjában találtuk meg.

Kétségtelen, hogy ha ezt a dolgot, amelyet már *a posteriori* (a megfigyelések-ből) hosszadalmas levezetéssel bebizonyítottam, ha tehát ezt a dolgot – mondom – *a priori* (a Nap méltóságából és kiválóságából) akartam volna levezetni: hogy ugyanaz a világ életének forrása (mely életet a csillagok mozgásában szemlélhetünk), mint ami a fény forrása is (miáltal az egész gépezet ékessége egyben marad), és ami továbbá a hő forrása is (miáltal mindenek élnek), akkor, úgy vélem, megérdemeltém volna, hogy ugyanilyen figyelmesen hallgassanak.

³² Az excentrikus kör apszisvonala az az átmérője, amely átmegy a kör saját középpontjától különböző „valódi” középponton is (Kepler megfogalmazásában: azon a ponton, amelytől az excentricitást számítjuk). Tehát erre a vonalra esik a pálya napközeli és naptávoli pontja is (perihéliuma, illetve aphéliuma). Az 51–52. fejezetekben Kepler hosszas számításokkal támasztja alá, hogy ha erre a vonalra szimmetrikusan elhelyezkedő pozíciókat veszünk szemügyre, akkor azt látjuk, hogy ezek páronként azonos távolságra vannak a Naptól, s így a Napnak az apszisvonalon kell lennie – azaz feltehetőleg a valódi középpontban (lásd a következő jegyzetet).

³³ Az „éves pálya parallaxisa” az a szög, amennyivel egy, a Nap körül keringő Földről megfigyelt égitest pozíciója maximálisan torzul ahhoz képest, amerre a Naptól nézve látszana. Más szóval ez az a szög, amely alatt a Föld–Nap távolság látszana a kérdéses égitestről (a Napnál mért) merőleges rálátás esetén. Ez nagyjából azt is megadja, hogy az adott (külső) bolygó pályája nagyságában hogyan aránylik a Föld pályájához, ám mivel mindegyik bolygó pályája excentrikus (különböző irányokban), így a pályák relatív helyzeteit csak több ilyen parallaxisérték határozza meg, Kepler itt feltehetőleg azt állítja, hogy az észlelt pozícióadatokra lehet illeszteni egy olyan pályát is, ahol a Nap nem a valódi középpontban van, ám a Mars így kapott pályájának (a Földéhez viszonyított) nagysága nem lesz összhangban az ettől függetlenül meghatározott parallaxisértékekkel. A távolságokra Kepler csak az 53. fejezetben tud majd kielégítő modellt adni.

³⁴ 67. fejezet. Ahogy korábban említettük, Kepler főleg az ekliptika mentén történő (hosszúsági) mozgásra koncentrál, és erre mondja ki híres törvényeit is. Miután a IV. Rész végére eljut az elliptikus pályával megfogalmazott pontos modelljéhez, mindezt utólag kiegészíti és megerősíti a szélesség szerinti mozgások vizsgálatával, beleértve azok fizikai magyarázatát is.

Ám lássa maga Tycho Brahe vagy aki csak az ő általános hipotézisét akarja követni a második egyenlőtlenségről,³⁵ hogy mekkora valószínűséggel tudja ezt a fizikai összhangot [*Physicam concinnitatem*], melynek legfontosabb részét már elfogadta (mert a Nap – a látszó helyének figyelembevételére folytán – Tycho Brahe szerint is a bolygórendszer középpontjába esik) részlegesen ismét eltávolítani a saját hipotéziséből!

A mondottakból ugyanis kiderül, hogy a következő két dolog egyike elkerülhetetlenül igaz: vagy az, hogy a Napban székelő erő, mely minden bolygót mozgat, a Földet is mozgatja; vagy az, hogy a Nap és a hozzá az ő mozgatóereje révén kapcsolódó bolygók valamely más, a Földben lévő erő által vitetnek a Föld körül.

Mert a szférák [*orbium*]³⁶ valóságosságát maga Tycho vetette el; én viszont kétséget nem tűrően bizonyítottam e Harmadik Részben, hogy van ekváns a Nap vagy a Föld elméletében;³⁷ amiből az következik, hogy magának a Napnak

³⁵ A „második egyenlőtlenség” a bolygó egyenletes haladásától való olyan eltérés, melynek periódusa megegyezik a Nappal való szembenállás gyakoriságával (Stephenson 1987. 212) – az „első egyenlőtlenség” ezzel szemben olyan eltérés az egyenletes körmozgástól, amely a Nap helyzetével nem korrelál. Az előbbi Ptolemaiosz szerint a Mars epicikluson történő keringésének felel meg, Copernicus szerint egy látszólagos mozgáskomponens, amely a Föld (és vele a megfigyelő) Nap körüli keringésének következménye, Tycho hipotézise alapján pedig a bolygók mozgásrendszerének középpontjául szolgáló Nap Föld körüli keringéséből származik. Kepler a mű elején (a 4–5. fejezetekben) kimutatja, hogy a három leírás matematikailag ekvivalenssé tehető. Ezért is akar fizikailag különbséget tenni köztük.

³⁶ Bár az *orbis* terminus eredetileg kört jelent, a csillagászati hagyományban leginkább szférát szoktak vele jelölni (Kepler 1981. 14; valamint Dobrzycki 1978. 333–334). Kepler kontextusában érdemes ezt szembeállítani az *orbita* terminussal, amely az *Astronomia nova* lapjain kb. 138 alkalommal fordul elő (bár az itt fordított fejezetben nem). Goldstein–Hon (2005) amellett érvel, hogy a Kepler nevéhez kötődő forradalmi újítások közül az egyik legfontosabb, ám legkevésbé tárgyalt az a konceptuális novum, amely az *orbita* fogalmához a „pálya” mai jelentését társítja: egy folytonosan mozgó test által befutott, erőhatás által meghatározott térbeli görbe. Ez a fogalom – bármennyire is magától értetődőnek tűnik a modern olvasó számára – Kepler előtt nem létezett. Az átdefiniálás már a *Mysterium cosmographicum*-ban megkezdődik (22. fejezet), ám a valódi áttörés az *Astronomia nova* oldalain valósul meg. Kepler tehát a fenti passzusban az *orbium* terminussal a hagyományos szféra koncepciójára utal.

³⁷ Míg Ptolemaiosz ekvánspontot használt a bolygók mozgásának leírására, addig a Nap mozgásának esetén megelégedett egy ennél egyszerűbb modellel (*Syntaxis mathēmatikē* III/4), amely szerint a Nap egyenletesen halad a Föld körüli excentrikus körén. Copernicus (*De revolutionibus* III/16) ezt a modellt gyakorlati változtatás nélkül vette át, azzal az értelmezéssel, hogy immár a Föld Nap körüli keringését írta le. Így azonban Copernicus elméletében a Föld mozgása egyszerűbb volt, mint a többi bolygóé, amelyek ha nem is ekváns körül, de ahogy említettük, azzal szinte ekvivalens másodlagos epicikluson is haladtak. Egyébként pontosan ennek következménye az is, hogy az ún. „második egyenlőtlenség” az egyenletesen haladó középnappal, nem pedig az egyenetlen valódi Nappal korrelált. Kepler ezt *a priori* módon is gyanúsak találta (miért ne érvényesülne a Föld mozgására az az összefüggés távolság és sebesség között, amelyet az ekváns fejez ki a többi bolygó esetén?), és aztán *a posteriori* módon is cáfolta a III. Részben. Itt a Föld mozgását pontosította a Mars megfigyelései alapján oly módon, hogy olyan észlelési adatokat vett csak figyelembe, amelyeket pontosan a Mars keringési ideje (687 nap) vagy annak többszöröse választott el

a mozgása is – amennyiben a Nap mozog – gyorsabb, illetve lassabb, aszerint, hogy közelebb van a Földhöz, vagy távolabb van attól; és ez azt eredményezné, hogy a Napot a Föld mozgatja. Ha ellenben a Föld mozog, akkor őt is a Nap fogja mozgatni, éspedig gyorsabban vagy lassabban, aszerint, hogy közelebb van ahhoz, vagy távolabb van attól, miközben a Nap testében lévő erő [*virtute*] mindig változatlan marad. Ezért a két elgondolás között nincs közbülső harmadik.

Én Copernicusban nyugszom meg, és elviselem, hogy a Föld egy a bolygók közül.

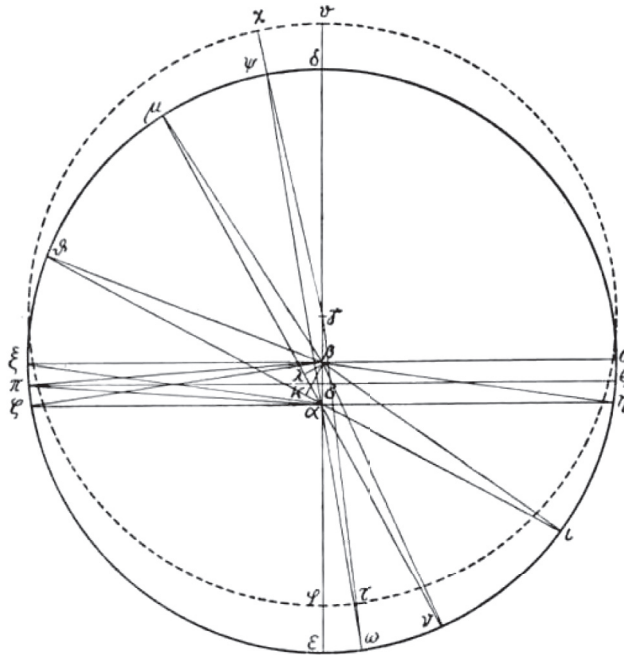
S bár a Hold kapcsán ugyanazt lehet Copernicus ellen vetni, amit én vetettem Tycho ellen az öt bolygó kapcsán: hogy tudniillik lehetetlennek tűnik, hogy a Holdat a Föld mozgatja, s hogy továbbá úgy tartozik és kapcsolódik a Földhöz, hogy másodlagosan a Nap forgatja a Nap körül; mégis inkább akarom megengedni, hogy a Földben székelő erő – mely azonban kiterjed a Nap irányába, amint nem sokkal később, a 37. fejezetben el fogom mondani³⁸ – az egy, Földdel rokon Holdat mozgassa testének hajlama [*dispositione*] révén (mint azt az *Optiká*-ban bizonyítottam),³⁹ mintsem hogy ugyanezen Földnek átadjam még a Nap s az ahhoz kapcsolódó összes bolygó mozgásait is.

De haladjunk tovább e Napban székelő mozgatóerő szemlélésében, és lássuk most már annak rokonságát a fénnnyel!

egymástól, s így a Marsra ugyanazon helyzetében tekintett a Föld eltérő helyzeteiből – azaz valójában mintha a mozdulatlan Marsról mért volna rá a mozgó Földre.

³⁸ Az említett fejezetben Kepler csak tömören tárgyalja a Hold mozgását, és megelégszik annak kimutatásával, hogy bár nyilvánvalónak tűnik, hogy a Holdat a Föld mozgatja, a Hold mozgásában is megjelenik a Nap mozgása (a variációnak nevezett egyenlőtlenység miatt, melyet Tycho fedezett fel). Érdekes, hogy a mű bevezetőjében hosszasan vizsgálja a *gravitatio* problémáját, és ott a földi tengerek árapály-jelenségeit a Hold vonzásának tudja be, ám ezeket a belátásokat sajnos nem köti össze a bolygók mozgatásának kérdésével és annak matematikai-fizikai elemzésével (GW III, 24–28). A Hold mozgatásának egy részletes, ám az érettebb fizikai elképzelései mentén kifejtett elméletét nyújtja az *Epitome astronomiae Copernicanae* című művének 4. és 6. könyvében.

³⁹ Az *Ad Vitellionem paralipomena* (Frankfurt, 1604) 6. fejezete a Hold jelenségeit tárgyalja, miközben 2. szakaszában kifejti, hogy a Hold anyagában hasonlóknak tűnik a Földhöz. A problémáról lásd részletesebben Kutrovátz–Suszta–Vassányi 2019 jegyzeteit.



Hisz miután a hasonló szabályos alakzatok, sőt a körök kerületei úgy viszonyulnak egymáshoz, mint ezen alakzatok sugarai, ezért ahogyan $\alpha\delta$ viszonyul $\alpha\epsilon$ -hoz, úgy viszonyul a δ -n át α körül leírt kör kerülete az ugyanezen α pont körül ϵ ponton át leírt kör kerületéhez.⁴⁰ Ahogyan pedig $\alpha\delta$ az $\alpha\epsilon$ -hoz, úgy viszonyul fordítottan az erő nagysága [fortitudo virtutis] az ϵ pontban a δ pontban fellépő erő nagyságához, a 32. fejezetben bizonyítottak alapján. Amiként tehát a δ kör a szűkebb ϵ körhöz, úgy viszonyul – fordítottan – ϵ erő a δ erőhöz; azaz amennyivel szétterültebb az erő, annyival gyengébb; és viszont: amennyivel összevontabb, annyival erősebb. Ebből megértjük, hogy éppen annyi erő van a δ -n átmenő kör teljes kerületében, amennyi az ϵ -n átmenő, szűkebb kör kerületében; amit a Csillagászat optikai részében, az első fejezetben teljesen ugyanilyen módon

⁴⁰ Az ábra és a magyarázó szöveg összevetésekor úgy tűnhet, mintha ez az ábra nem ehhez a demonstrációhoz készült volna: egyrészt szükségtelenül bonyolult, hiszen számos olyan részlete van, amelyre a szöveg egyáltalán nem utal és a bizonyítás szempontjából irreleváns, másrészt a szöveg által megnevezett objektumok némelyike (pl. az első mondatban leírt körök) nem szerepel rajta. Kepler ezt az ábrát valójában két korábbi helyen is felhasználja (a 29. és a 32. fejezetben), ahol egészen más gondolatmeneteket illusztrál a segítségével, vagyis ez az ekvánsponttal kapcsolatos belátások megmutatásának általános eszközüll szolgál. α a világ középpontja (a Föld vagy a Nap az aktuális modellnek megfelelően), β a bolygót (vagy az epiciklust) hordozó excentrikus kör középpontja, γ pedig az ekvánspont. A folytonos vonalon haladó egyenletes mozgás olybá tűnik, mintha a szaggatott vonalon haladó egyenletes mozgásba vetülne. Kepler az előző fejezetben ezen az ábrán bizonyítja „második törvényét”.

a fényről is bizonyítottam.⁴¹ Úgyhogy minden oldalról, minden attribútum tekintetében összhangban van egymással a fény és a Napból jövő mozgatóerő.

S bár a Nap e fénye nem lehet maga a mozgatóerő, mégis vizsgálják meg mások, hogy a fény vajon nem úgy viselkedik-e, mint talán valamiféle eszköz vagy hordozó, melyet a mozgatóerő felhasznál.

Úgy tűnik, ennek a következők mondanak ellent: először is, a fényt akadályozzák a kevéssé átlátszó dolgok [*opacis*]; ezért ha a mozgatóerő a fényt használná szállítóeszközüül, akkor a sötétség következménye a mozgatható dolgok nyugalma lenne;⁴² továbbá, a fény egyenesek mentén gömbszerűen [*orbiculariter*] árad ki, a mozgatóerő pedig egyenesek mentén ugyan, de körkörösén [*circulariter*]; vagyis a világnak csupán egyetlen régiója felé, nyugatról keletre törekszik, ellenkező irányba nem, a pólusok felé nem stb.⁴³ De a legközelebbi fejezetekben talán képesek leszünk válaszolni ezekre az ellenvetésekre.

Végül mivel épp annyi erő van a tágas és távolabbi körben, mint amennyi a szűkebben és közeliben, ezért semmi sem veszett el ebből az erőből a forrásától kezdve megtett út során, semmi sem szóródott szét a forrás és a mozgó dolog között. A kiáradása tehát – miként a fényé is – anyagtalan [*immateriatus*]; nem úgy, mint a szagoké, melyek kiáradása anyagmennyiségük [*substantiae*] csökkenésével jár; nem úgy, mint a hő a forró kemencéből, illetve más, hasonló dolgoké, amelyek feltöltik a középen lévő dolgokat [*media*].⁴⁴ Az marad tehát, hogy ami-

⁴¹ *Ad Vitellionem paralipomena*, 1. fejezet 9. tétel. Ugyanakkor a hivatkozott tétel ugyanezt gömbök felszínére mondja ki (helyesen), míg az itteni szöveg körök területére (helytelenül). Ez utóbbinak előzményét megtaláljuk a *Mysterium cosmographicum* 20. fejezetében (GW I, 71), amely kijelentéshez aztán Kepler egy korrigáló jegyzetet fűz a 2. kiadásban (Kepler 1981. 202–204, 6. szerzői jegyzet; lásd még a fordító 6. jegyzetét a 249. oldalon). Tehát Kepler ekkor már tudta, hogy a síkbeli változat téves, ám mégis ezt alkalmazta, mert úgy vélte, hogy szemben a fénnel, amely térben terjed, a mozgatóerő síkban fejti ki hatását – lásd erről még az alább olvasható második ellenvetést, valamint a jelen mű 36. fejezetét, ahol ezt a problémát igyekezik kezelni.

⁴² A 35. fejezet a fedés (okkultáció) problémáját vizsgálja: ha egy adott égitest éppen kitakarja a Nap fényét egy másik számára (mint az a fogatkozásoknál történik), akkor vajon miért nem szűnik meg a beárnyékolt testek mozgattatása? Ott az egyik válasz erre az, hogy a mozgatóerő ebben a tekintetben inkább a mágnesességre hasonlít, amelyet nem tartóztat fel az útjába kerülő test.

⁴³ Ezt az ellenvetést, melyet Kepler jóval súlyosabbnak tart, a 36. fejezet vizsgálja, lásd erről az iménti jegyzetünket. Mivel ott az erőt a mágnesesség „rostjaihoz” hasonlítja, melyek eleve rendelkeznek térbeli irányítottsággal (lásd az iránytű működését), és ráadásul az egész „erőtér” forog is, ami kitüntet egy síkot (a forgás egyenlítőjét), így meg tudja indokolni, hogy a térben kiáradó mozgatóerő miért síkban, és azon belül is körkörösén fejti ki a hatását.

⁴⁴ Az *Ad Vitellionem* 1. fejezetének 3. tétele kimondja, hogy a fény testetlen, így a végtelenbe terjed ki, és a 7. tétel szerint sugarai hosszirányban nem ritkulnak (csak oldalirányban). Tehát bármekkora térrészen hatol is át, ez az áthatolás semennyit sem vesz el belőle – elmentében a testi hatásokkal, melyeket csökkent minden olyan térrész, amelyet kitöltenek. Tegyük hozzá, hogy Kepler itt a hőt – a fénnel szemben – anyagi jellegűnek tartja, míg az említett mű 32. tételében a fény tulajdonságaként írja le, s a 33. tételben expliciten anyagatlannak állítja.

ként a fény, amely megvilágít minden földi dolgot, anyagtalan formája [*species*]⁴⁵ ama tűznek, mely a Nap testében van, úgy ez az erő is, mely a bolygók testét átfogja és hordozza, anyagtalan formája azon erőnek, mely magában a Napban székel, s felbecsülhetetlen hatóerejű [*vigoris*], sőt a világ minden mozgásának első működése [*actus primus*].⁴⁶

Miután tehát az erő e formája – pontosan a fény formájának módjára (amiről lásd a *Csillagászat optikai részének* 1. fejezetét) – nem tekinthető úgy, mint ami a köztes térben, a forrása és a mozgatható test között szét van szórva, hanem csak úgy, mint ami a mozgatható dologban gyűlt össze annyira, amennyit a mozgatható dolog elfoglal a kerületből; ezért ez az erő (vagy forma) nem valamely mértani test lesz, hanem úgyszólván egyfajta felület, akárcsak a fény; mivel egyetemes jelenség,⁴⁷ hogy az anyagtalanul előjövő dolgok formái ezen előjövétel folytán még nem terjednek ki a test dimenzióiba, bár egy testtől (mint e formák a Nap testétől) keletkeznek; ez persze az önmagában nem⁴⁸ behatárolt kiáradás [*defluxus*] törvénye révén van így; de mégis amiként a megvilágítandó dolgok felületei azt teszik, hogy a fényt úgyszólván valamely felületnek tekintjük, mivel ezek befogadják és behatárolják annak kiáradását, úgy a mozgatható dolgok teste is – úgy tűnik – azt teszik, hogy e mozgatóerőt úgyszólván valamely mértani testnek tekintjük, mert teljes testi mivoltukkal behatárolják vagy befogadják a mozgató forma e kiáradását; minthogy emez sehol az egész világon nem tud létezni vagy fennállni, hacsak nem a mozgatható dolgok testében magában; s nincs a forrása és a mozgatható dolog közötti köztes térben, hanem úgyszólván csak *volt* ott, épp ahogy a fény is.⁴⁹

⁴⁵ *species* – Bár a kifejezés elsődleges jelentése a „(látható) fajta,” sűrű filozófiai és tudományos előtörténetének köszönhetően – Platón, Arisztotelész idő-fogalmának latin fordítása lévén – itt eléggé sajátos jelentéssel bír, olyannyira, hogy az angol fordítás meghagyja ezt a terminust latin eredetiben (e döntés magyarázatához és a részletesebb etimológiához lásd Kepler 1992. 23–24). Keplernél a kifejezés értelme egy olyan megnyilvánulásban (formában) áll, amelyik a forrásként szolgáló test felszínéről leválva terjed szét és fejt ki hatást. A következő fejezet elején archetípusnak is nevezi ugyanezt (mivel a teremtéssel helyezettett a neki megfelelő anyagrészbe – Kepler archetípus-fogalmáról lásd Martens 2000), majd részletesebben is tárgyalja a természetét. A *Mysterium cosmographicum* angol kiadása (Kepler 1981) *emanation*-nek („kiáradás”) fordítja, míg az *Epitome* részleges angol fordítása (Kepler 1995) *form*-nak („forma”), a Kepler fizikáját elemző Stephenson (1987. 68, 57. j.) pedig *image*-nek („kép”).

⁴⁶ Hogy a világ mozgásainak összessége végeredményben egyetlen okra volna visszavezethető, Arisztotelész „mozdulatlan mozgató” vagy „első mozgató” fogalmával teljes összhangban áll (*Metafizika* XII. 6–10).

⁴⁷ *Ut hoc universum sit*: Donahue *ut final*-nak fogja fel a kötőszót („to generalize this” – Kepler 1992. 382), de Kepler kötőmóddal kauzális értelemben is használ *ut*-ot, és ez a jelentés jobban illik az érvelésbe.

⁴⁸ Editio princeps, 171, tévesen: *seipso non interminati*; GW III, 240, javítva: *seipso non terminati*.

⁴⁹ Miközben tehát Kepler analógiába állítja a fényt és a mozgatóerőt, jelentős különbségek is kirajzolódnak köztük: amellett, hogy a fény térben szétáradva nyilvánul meg, míg a mozgatóerő síkban fejt ki a hatását (lásd fentebb), most az is kiderül, hogy míg a fény felületként viselkedik, mert felületre hat, és felületen jelenik meg, addig a mozgatóerő testként

S itt egyszersmind megválaszolható egy bizonyos ellenvetés is. Mondottuk ugyanis fentebb, hogy ez a mozgatóerő kiterjedt a világ tereiben, s hol szétterültebb, hol összevontabb, mely állapotait egyben a bolygók mozgásának erősödése, illetve gyöngülése is követi.⁵⁰ Mondtuk már azonban, hogy ez az erő a maga forrásának anyagtalan formája, és hogy semmi sem fogadja be, csak egy mozgatható alany, mint például egy bolygó teste. Ellentmondásnak tűnik azonban, hogy anyagtalan, és mégis geometriai dimenziókat ölt;⁵¹ hogy szétárad a világ szélességében, és még sincs másutt jelen, mint ott, ahol mozgatható dolog van.

Erre a következőképpen felelek: bár a mozgatóerő nem valamely anyagi dolog, mégis mivel az a rendeltetése, hogy az anyagot, vagyis egy bolygó testét hordozza, ezért – legalábbis a hordozás ezen anyagi működése miatt – nem mentesül a geometriai törvények alól. Nincs is itt szükség sok szóra. Látjuk ugyanis, hogy e mozgások helyen és időben mennek végbe, s hogy ez az erő a forrásából kiindulva a világ terein keresztül árad ki és szóródik szét – e dolgok pedig mind geometriaiak. Úgyhogy kétségkívül még a többi geometriai szükségszerűségnek is alá van vetve ez az erő.

S hogy ne tűnjön úgy, hogy túl szokatlan módon filozofálok, az olvasó elé terjesztem a fény teljesen valóságos példáját, mivel ő is a Nap testében fészkel, s onnét tör elő e mozgatóerő kíséretjeként az egész világba. Ki mondaná – kérdelem én –, hogy a fény valami anyagi? Mégis hely szerint fejti ki működését és szenved el ebből fakadó hatásokat, visszaverődik és megtörik, és mennyiségeket vesz fel; annyira, hogy tud sűrű vagy ritka lenni, és felületnek tűnhet ott, ahol valamely megvilágítható dolog befogadja. Mert ahogyan az *Optikában* mondtam, a fény sincs jelen – amiként e mozgatóerő sem – a forrása és a megvilágítható dolog közötti köztes térben, még ha át is ment azon, hanem ott úgyszólván csak *volt*. És bár a fény maga idő nélkül árad ki,⁵² míg e mozgatóerő időben mozgat; mégis ha helyesen veszed fontolóra a dolgot, akkor mindkettő magyarázata pon-

viselkedik, mert testre (értsd: annak minden porcikájára) hat, és abban jelenik meg. Az *Ad Vitellionem paralipomena* 1. fejezetének 10. tétele kimondja, hogy a fény kétdimenziós, tehát csak felületre tud hatni (mert ugyanolyan fajta), míg egy testre csak háromdimenziós hatás tud érvényesülni. Megjegyzendő, hogy Newton *Általános magyarázatának* végén a gravitáció nagyon hasonló jellemzését találjuk, szembeállítva a mechanisztikus hatásokkal, melyek felületre hatnak (az érintkezés elvén), és nem hatolnak be a test minden egységébe, mint a gravitáció (lásd Erdei–Kutrovátz–Vassányi 2019. 110).

⁵⁰ Az „erősugarak” szétterülése és így sugárirányban történő ritkulása nemcsak egy adott bolygó sebességének változásaira ad magyarázatot (amely jelenséget „Kepler második törvénye” fejez ki), hanem arra a megfigyelésre is, hogy az egyes bolygók átlagos sebessége a Naptól távolodás sorrendjében egyre kisebb, vagyis a Nap mozgató hatása tőle távolodva egyre kevésbé érvényesül. Ez utóbbi jelenséget majd csak „Kepler harmadik törvénye” fejezi ki pontos alakban, amely a *Harmonice mundi*-ban jelenik meg (1619), ám az összefüggés felfedezett matematikai alakját Keplernek nem sikerül a fizikai elveivel megindokolnia.

⁵¹ Az arisztotelianus fizika szerint a dolgok anyag és forma egységei, tehát formája (geometriai dimenziója) csak annak lehet, ami anyagi test.

⁵² Az *Ad Vitellionem paralipomena* I/5. tétele szerint „a fény mozgása nem időben, hanem a pillanatban történik”, azaz a fény végtelenül gyorsan terjed.

tosan ugyanaz. A fény a sajátos működéseit pillanat alatt végzi el; ha anyagba ütközik, az idő révén is működik. A felületeket pillanat alatt világítja meg, mivel itt az anyagnak nem kell elszenvednie semmit, hiszen minden megvilágítás felületek révén vagy úgyszólván felületek révén történik, nem pedig a testi mivolt révén annyiban, amennyiben az testi mivolt [*corpulentia*]. Ezzel szemben a színeket bizonyos idő alatt fehériti ki, mivel itt az anyagra annyiban hat, amennyiben az anyag; s felmelegíti azt úgy, hogy kiűzi az ellentétes hideget, mely az anyag belsejében rögzült, nem a felületén. Ugyanígy e mozgatóerő is örökké és időintervallum nélkül megy oda a Napból, ahol van egy alkalmas mozgatható dolog, hiszen nem vesz át semmit a mozgatható dologtól ahhoz, hogy megjelenjen annál. Ugyanakkor azonban időben mozgat, mivel a mozgatható dolog anyagi természetű [*materiatum*].

Vagy ha jónak látod, végezd így az összevetést: amint a fény viszonyul a megvilágításhoz, bizonyosan úgy viszonyul az erő a mozgáshoz. A fény mindent elvégez, ami csak elvégezhető a lehető legnagyobb fokú megvilágításhoz, de azt mégsem képes elérni, hogy a szín a legnagyobb mértékben kivilágosodjon. Mert a szín a maga formáját összevegyíti a fény világosságával, és valami harmadikat hoz létre. Ugyanígy a mozgatóerő is késedelem nélkül törekedik arra, hogy egy bolygónak akkora sebessége legyen, mint amekkora a mozgatóerőnek van; de ettől még nem akkora a bolygó sebessége,⁵³ mert vagy ellenáll neki a köztes tér – tudniillik az aether-menny valamiféle anyaga –, vagy a mozgatható dolog nyugalomra való hajlama (mások azt mondanák: súlya, amit én nem fogadok el megszorítás nélkül,⁵⁴ akkor sem, ha a Földről van szó); amely dolgok kellő vegyülése a mozgatóerő fáradozásaival alakítja ki egy bolygó periódusidejét.⁵⁵

⁵³ A következő fejezet alapján nem a mozgatóerő kiáradása – mely végtelenül gyors – mozgatja a bolygót, hanem e kiáradó hatás (azaz a Nap) tengely körüli forgása – mely véges sebességű. Ám azért véges a forgási sebesség, mert ellenkező esetben végtelenül gyorsan keringenének a bolygók, ami anyagi test számára lehetetlen. Tehát az ellenállásuk anyagi mivoltukból származik.

⁵⁴ Editio princeps, 172: *me non probante*; GW III, 242: *me non simpliciter probante*.

⁵⁵ A következő, mindezt szervesen folytató fejezetben Kepler kifejti, hogy a Nap mágnes, amely tengely körüli forgást végez. A mágnes fogalma gazdagítja a mozgatóerő természetére irányuló belátásokat, mert immár nemcsak a fény jelenségeinek segítségével tárgyalhatjuk, hanem a mágnesesség effektusain keresztül is. E tekintetben Kepler fő ösztönzője William Gilbert *De magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete Tellure* című műve volt (London, 1600), amely nagy hatást fejtett ki általában a korra is, és többek között azt állította, hogy a Föld maga egy mágnes. Kepler ezt viszi tovább a Nap esetére. A mágnesesség nemcsak ebben a művében játszik jelentős szerepet (lásd kifejezetten az 57. fejezetet), hanem az *Epitome astronomiae Copernicanae* érettebb fizikai elképzeléseinek is szerves részét képezi. – A Nap forgásának állítása amiatt érdekes, mert ezt a jelenséget Kepler csak spekulatív bocsátja elő, fizikai nézetei következményeként, ám a mű megjelenését közvetlenül követő években használatba veszik a távcsövet, amely (a napfoltok felfedezésén keresztül) empirikus módon igazolja ezt a feltevést. Erre a forgásra Keplernek azért van szüksége, mert a mozgató hatásnak azonos irányúnak kell lennie, mint az okozott mozgásnak, tehát a kiáradó erőnek egyszersmind forognia is kell az őt kibocsátó Nap körül (amit ebben a formában a későbbi fizika elutasított, így Kepler feltevése „véletlen ráérzésnek” bélyegezhető). Ezt a forgó és

IRODALOM

- Aiton, Eric J. 1957. The Vortex Theory of the Planetary Motions – I. *Annals of Science*. 13. 249–264.
- Aiton, Eric J. 1969. Kepler's Second Law of Planetary Motion. *Isis*. 60. 75–90.
- Aiton, Eric J. 1978. Kepler's Path to the Construction and Rejection of his First Oval Orbit for Mars. *Annals of Science*. 35. 173–190.
- Baigrie, Brian S. 1987. Kepler's Laws of Planetary Motion, before and after Newton's Principia, An Essay on the Transformation of Scientific Problems. *Studies in History and Philosophy of Science*. 18. 177–208.
- Barbour, Julian B. 2001. *The Discovery of Dynamics: A Study from a Machian Point of View of the Discovery and the Structure of Dynamical Theories*. Oxford, Oxford University Press.
- Caspar, Max et al. (szerk.) 1938–2017. Johannes Kepler Gesammelte Werke. Band I–XXII. München, C. H. Beck. Online: <https://kepler.badw.de/kepler-digital.html> [= GW]
- Dobrzycki, Ferzy (szerk.) 1978. *Nicholas Copernicus on the Revolutions*. Vol. 2. London and Basingstoke, The Macmillan Press Ltd.
- Donahue, William H. 1993. Kepler's First Thoughts on Oval Orbits: Text, Translation, and Commentary. *Journal for the History of Astronomy*. 24. 71–100.
- Erdei Ildikó – Kutrovácz Gábor – Vassányi Miklós 2019. Isaac Newton: Általános Magyarázat – Forrásközlés bevezető tanulmánnyal. In Olay Csaba – Schmal Dániel (szerk.) *Értelem és érzelem az európai gondolkodásban: Tanulmányok a 60 éves Boros Gábor tiszteletére*. Budapest, Károli Gáspár Református Egyetem és L'Harmattan. 99–112.
- Gingerich, Owen 1975. The Origins of Kepler's Third Law. *Vistas in Astronomy*. 18. 595–601.
- Goldstein, Bernard R. – Giora Hon 2005. Kepler's Move from Orbs to Orbits: Documenting a Revolutionary Scientific Concept. *Perspectives on Science*. 13. 74–111.
- Kepler, Johannes 1981. *Mysterium cosmographicum – The Secret of the Universe*. Ford. Alistair M. Duncan. New York, Abaris Books.
- Kepler, Johannes 1992. *New Astronomy*. Ford. William H. Donahue. Cambridge, Cambridge University Press.
- Kepler, Johannes 1995. *Epitome of Copernican Astronomy & Harmonies of the World*. Ford. Charles G. Wallis. New York, Prometheus Books.
- Kozhamthadam, Job SJ 1994. *The Discovery of Kepler's Laws: The Interaction of Science, Philosophy, and Religion*. Notre Dame, University of Notre Dame Press.
- Kutrovácz Gábor – Suszta Laura – Vassányi Miklós 2019. Galilei Csillaghírnöke mint óvatos kiállítás az új világrend mellett. Forrásközlés bevezető tanulmánnyal. *Világtörténet*. 9/1. 93–131.
- Kutrovácz Gábor – Vassányi Miklós 2019. Michael Mästlin Előszava Rheticus Első beszámolója elé: Forrásközlés bevezető tanulmánnyal. *Kaleidoscope*. 2019/19. 147–179.
- Martens, Rhonda 2000. *Kepler's Philosophy and the New Astronomy*. Princeton, Princeton University Press.
- Russell, John L. 1964. Kepler's Laws on Planetary Motion: 1609–1666. *British Journal for the History of Science*. 2. 1–24.

kiáradó erőhatást a 38. fejezetben indirekt módon, a mű bevezetőjében pedig kimondottan egy örvényhez hasonlítja – ezzel előrevetítve a Descartes örvénymélete mögötti szemléletet (GW III, 25 és 255; lásd még Aiton 1957. 249–250).

- Stephenson, Bruce 1987. *Kepler's Physical Astronomy*. New York, Springer Verlag.
- Voelkel, James R. 2001. *The Composition of Kepler's Astronomia Nova*. Princeton, Princeton University Press.
- Whiteside, Derek T. 1974. Keplerian Planetary Eggs, Laid and Unlaid, 1600–1605. *Journal for the History of Astronomy*. 5. 1–21.
- Wilson, Curtis 1968. Kepler's Derivation of the Elliptical Path. *Isis*. 59. 5–25.
- Wilson, Curtis 1970. From Kepler's Laws, So-called, to Universal Gravitation: Empirical Factors. *Archive for History of Exact Sciences*. 6. 89–170.