

ZEMPLÉN GÁBOR

Bevezetés Kepler optikai munkájához
– Kiegészítések Vitellióhoz, melyek a csillagászat
optikai részét tartalmazzák (1604)¹

Kepler termékeny író volt, több jelentős munkája is optikai fókuszú, sőt akár a modern optika megalapítójaként is tekinthetünk rá. Üdvös, hogy a hatalmas jelentőségű optikai életműből itt végre néhány oldal magyarul is elérhető. A rövid részlet értelmezése már azért sem könnyű a mai olvasónak, mert Kepler idejében egyetlen, széles körű tudományág volt az, amely ma filozófiára, szemészetre, légköri optikára és csillagászatra oszlik.

Hogyan is lehet jól, tömören összefoglalni a szerző optikáról szóló remekművét („*mea optica*”), amely 1604-ben jelent meg, benne számos bonyolult geometriai ábrával és a munka elején egy szerzői epigrammával, melyben a szem és a tudat folytat rövid beszélgetést? A könyv szerteágazó témái – a napfogyatkozásoktól a szem anatómiájáig –, a gondolatok átfogó terjedelme és bősége, valamint az olykor bonyolult latin szöveg (Keplernek kevés ideje volt a kézirat átolvasására és a megfogalmazások javítására) megnehezít bármilyen fordítást, így az első teljes (angol) fordítás is csak 2000-ben jelent meg.²

A tartalomjegyzék alapján akár ezt a munkát is gondolhatjuk csillagászati jelentőségűnek, hiszen a korai fejezetek – a fény természetéről és a fénysugarakról, a tükrözésről és fénytörésről, valamint a látásról – előkészítik és megalapozzák azt, amit a mű második és nagyobb felében Kepler kifejt az égitestek fényéről, a Föld és a Hold árnyékáról, a fogyatkozásokról és parallaxisról. Az utolsó fejezetek is tűnhetnek alkalmazott (csillagászati) optikának, hiszen itt Kepler a csillagok mozgásainak optikai alapjairól, az égitestek (a Nap és a Hold) átmérőjének és fogyatkozásainak megfigyeléséről ír.

Egy csillagászati műtől azonban elsősorban nem ismeretelméleti, észlelést érintő következtetéseket várnánk, miközben utótörténetét tekintve a látásról szóló rövid fejezet (az 5.) komoly filozófiai jelentőséggel bír. A legfrissebb – kicsit technikai, de nagy erudícióval megírt – optikatörténetben Mark A. Smith azt mutatja be, hogy

¹ Az alábbi írások kis változatásokkal a folyóirat jelen számával egy időben megjelentek a következő kötetben: Vassányi Miklós – Kutrovács Gábor: *Oknyomozó csillagászat. Szemelvények Johannes Kepler főbb műveiből tudománytörténeti tanulmányokkal*. Farkas Anna Ráchel, Fekete Luca, Frazer-Imregh Monika, Szénási Réka, Zemplén Gábor közreműködésével. Budapest, Typotex, 2024.

² Modern kritikai kiadása: JKGW/II: *Astronomiae Pars Optica* (ed. Franz Hammer, 1939). Részleges német fordítása (csak a II–IV. könyvek): Johannes Kepler: *Grundlagen der geometrischen Optik (im Anschluß an die Optik des Witelo)*. Ford.: Ferdinand Plehn. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1922. Angol fordítása: Johannes Kepler: *Optics. Paralipomena to Witelo & Optical Part of Astronomy*. Transl. William H. Donahue. Santa Fe: Green Lion Press, 2000.

Kepler modellje a középkori perspektivista alapokhoz kapcsolódott, de a traktátus közepén található néhány oldalas fejezet „radikális és végül halálos módon aláásta ezeket az alapokat.”³ Kepler a modern optika születésének kulcsfigurája, ugyanis elmélete a retinális képalkotásról veszélybe sodorta a perspektivista látásmodellt, „hiszen megszakította a szem és az agy közötti érzékelési és ismeretelméleti kapcsolatot, amelyet a perspektivisták oly gondosan kovácsoltak. Ennek eredményeképpen a fény tanulmányozása egyre inkább elszakadt a látás tanulmányozásától a kepleri optika utáni optikában, ahogyan az a XVII. század folyamán fejlődött.”⁴

Hogy értékelni tudjuk Kepler optikai szövegét, a jelen bevezető először rövid áttekintést ad az optikatörténetről Witelőig, majd értelmezi a mű címét.⁵ A thüringiai-lengyel Vitellio (másként Vitello vagy Witelo; lengy. Witelon; 1230?–1275 után és 1314 előtt) a középkori perspektivista szerzők közül a leginkább matematikai-technikai megközelítésével inspirálta Kepler munkáját és annak címét. A *Kiegészítések Vitellióhoz* bevezetéséből fordított oldalakat jelen bevezető utolsó két szakasza mutatja be, röviden értelmezve a lefordított passzusban olvasható nyelvi elemzést és Kepler természetfilozófiai fejtegetéseit.

Áttekintés a perspektivista optika kialakulásáig

Már a babiloni kultúrában megtaláljuk számos furcsa észlelés leírását, ilyen például a Kr. e. VII. századi ninivei agyagtáblán felismert probléma a horizont közelében látott nagyobb Hold.⁶ Hasonló kérdések a preszókratikusoknál is nyilvánvalóan megjelentek: Anaxagoras azt állítja, hogy a szivárvány a Nap visszfénye a felhőkön,⁷ de a jelenségek mellett a töredékek között már magyarázatokat is találunk. Nagy hatású például Empedoklés – még Homérost idéző – hasonlata:

Mint amikor valaki útra kelni szándékozván lámpást készített elő, lobogó tűz téli éjszakában világító lángját, s <a fényt> mindenféle szelektől védő lámpásokat gyújtott, amelyek szerteszórják a süvítő szelek fúvását, a kitörő fény azonban

³ Mark A. Smith: *From Sight to Light. The Passage from Ancient to Modern Optics*. Chicago and London: The University of Chicago Press, 2017, 5–6.

⁴ Uo.

⁵ A bevezetőben támaszkodom korábbi optikatörténeti munkámra, illetve ennek bevezetőjére: Zemplén Gábor Á.: *The History of Vision, Colour, & Light Theories – Introductions, Texts, Problems*. Bern: Bern Studies in the History and Philosophy of Science, 2005. Lásd még Zemplén Gábor Á.: „Kepler, Johannes: Ad Vitellionem Paralipomena, quibus Astronomiae Pars Optica traditor” = Heinz Ludwig Arnold, ed.: *Kindlers Literaturlexikon*. Kindlers Verlag, 2009.

⁶ A Hold-illúzió történetéhez lásd: Cornelis Plug, Helen E. Ross: „Historical Review” = Maurice Hershenon, ed.: *The Moon Illusion*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1989, 5–30. A hivatkozott állítás a 9. oldalon található.

⁷ Geoffrey S. Kirk, John E. Raven, Malcolm Schofield: *A preszókratikus filozófusok*. Budapest: Atlantisz Könyvkiadó, 1998, 501.

amennyire messzenyúlóbb, <annyira> világított a küszöbön túl makacs sugaraival, akkor úgy szülte <Aphrodité> a kerek szemű pupillát, a hártyák és finom gyolcsok közé zárt ősi tüzet; ezek <a hártyák és gyolcsok> a körbefolyó víz mélyét távol tartották, ám a tüzet kieresztették, annyival messzire nyúlóbb volt.⁸

Már itt megjelenik a fény „makacssága,” egyenes terjedése, éppúgy, ahogy a szem és a látás értelmzésének kihívása, hiszen a hártyák egyfelől bent tartják az élő szervezet folyadékait, a látás tüzet azonban kiengedik. Platón nemcsak erre a metaforára épít, amikor kifejleszti szín- és látáselméletét a *Timaios*-ban,⁹ hanem már a fény „hajlításának” egyes problémáit is vizsgálja (sík és domború tükörök). Aristotelész még részletesebb észleléseleméletet dolgoz ki, valamint már geometriailag is értékelhető magyarázatát adja a szivárványnak.¹⁰

A szivárvány megjelenésének feltételeivel a meteorológia foglalkozott, a látás és észlelés kérdései a lélek tudományához kapcsolódtak, és mindezek jobb megértésében az ókortól fontos szerepet játszanak az absztrakt idealizációk, a geometriai és matematikai tárgyalásmód, amelynek alapjait már az ókori szerzők (Eukleidész és Ptolemaios) kidolgozták. Mivel az ókorban számos (optikai) illúzió jól ismert volt, a magyarázatok a legtöbb területen az anomáliák tengerében, néhány kitüntetett jelenség felől tudtak építkezni. A fény egyenes vonalú terjedése miatt a látás sok aspektusa könnyen érthető volt, mint például a látott tárgy méretének „látszólagos” csökkenése a távolság növekedésével. Bizonyos szempontból a síktükrök is könnyen kezelhetők, sőt sok esetben „érthető” alapelvekből levezethetők voltak, mint amilyen a gazdaságosság elve, hiszen a tárgy képe a legrövidebb úton jut a tükörről a szembe. A tükrök egyszerűnek tűnnek ugyan, főként, ha csak bizonyos irányokból vizsgáljuk őket, de máig számos értelemben különös objektumnak számítanak – például sok laikus nehéznek találja elmagyarázni, hogy ha szemben állunk egy tükörrel, az miért „cseréli fel” a jobb és a bal oldalt, miközben a fent és a lent nem változik tükörképünkben –, és már egy egyszerű parabolatükörben abszurd

⁸ ὥς δ' ὅτε τις πρὸ ὁδὸν νοέων ὠπλίσσατο λύχον
χειμερίην διὰ νύκτα, πυρὸς σέλας αἰθομένοιο,
ἄψα παντοίων ἀνέμων λαμπτήρας ἀμοργούς,
οἷ τ' ἀνέμων μὲν πνεῦμα διασκιδῶσιν ἀέντων,
φῶς δ' ἔξω διαθρώσκον, ὅσον ταναώτερον ἦεν,
λάμπεσκεν κατὰ βηλὸν ἀτειρέσιν ἀκτίνεσσιν.
ὥς δὲ τότ' ἐν μῆνι γῆν ἐελμένοιο ὠγύγιον πῦρ
λεπτῆσιν <τ> ὀθόνησι λοχέυσσας κύκλοπα κούρην.
αἱ δ' ὕδατος μὲν βένθος ἀπέστειγον ἀμφινάεντος,
πῦρ δ' ἔξω δῖεσκον, ὅσον ταναώτερον ἦεν.

Empedoklés, B 84 töredék = Aristotelész: *De sensu* 2, 437 B 23–32 = Kirk – Raven – Schofield: *Apreszókra-
tíkus filozófusok*, № 389. Elemzéséhez lásd Denis O'Brien: „The Effect of a Simile: Empedocles' Theories
of Seeing and Breathing” = *The Journal of Hellenic Studies* 90 (1970), 140–179.

⁹ 45 A–46 C, 67 C–68 D.

¹⁰ *De anima*, 417 A–419 A. Empedoklés hasonlatát is bemutatja a *De sensu* 436 A–440 B, az atmoszférikus
optikai jelenségeket és a szivárványt a *Meteorologia* tárgyalja (338 A–390 B).

eredményekre vezethet, ha a „legrövidebb út” alapján próbáljuk megérteni a tükröződést.¹¹ A geometriai idealizációk tehát már bizonyos tükröformák esetén is problematikusnak bizonyultak, és a fénytörő közegek, lencsék vizsgálata is nehézségekbe ütközött, hiszen már egy evező töröttnek tűnik, ahogy a vízbe mártjuk, nem beszélve az égi *baló*król, a szivárványról és számos egyéb színjelenségről a pávák irizáló farktollától kezdve a napszivárványig.

Az ókori optikai hagyományt az arab közvetítők sora (al-Kindī, al-Haytām) és a középkori perspektivista tradíció számos ponton fejlesztette, módosította. A szemből kiáradó fény elmélete (*extramissio*) helyett – mely a korábban említett Empedoklésnél, valamint Platónnál megjelenik – általánosan elfogadottá vált, hogy a külvilágból szembe jutó fény révén látunk, és al-Kindī (الكندي, Abū Yūsuf Yaʿqūb ibn Ishāq aṣ-Ṣabbāḥ al-Kindī, lat. Alkindus; 801–873) után elterjedt az idealizált (matematikai) sugarak használata. Al-Haytām (لاهيتم, Abū ʿAlī al-Ḥasan ibn al-Ḥasan ibn al-Haytām, lat. Alhazen; cca 965–cca 1040) nagy szintézise¹² pedig már nemcsak a fény terjedése vagy a homorú tükrök esetén lépett túl az ókori elődökön, hanem az egyik legvilágosabb értekezést kínálta a lencsék megértéséhez. Üveggömbökben terjedő fényt modellezve már számot adott a szférikus abberációról. A középkori perspektivista hagyomány ehhez képest bizonyos pontokon egyértelmű *visszalépést* jelentett: például az említett észrevételt – a gyújtógömbökről szóló traktátus 17. proposícióját – a fordítások rossz ábrái miatt félreértették, és idővel elferdítették.¹³

Noha a technikai tárgyalás a konvex lencsék és konkáv tükrök kapcsán nem mentett át minden arab tudást, a középkori Európa kiterjedt oktatási rendszerében fokozatosan teret nyert az optika a quadrivium részeként. Már Albertus Magnus (kb. 1200–1280) használta az arab optikát Aristotelés értelmezésekor.¹⁴ Robert Grosseteste (kb. 1168–1253) pedig részletesen kidolgozza a „fénymetafizikát,” amelyben a fény (*lux*) a legtisztább testi forma (*De luce*, 1220-as évek), összekapcsolva a teremtetést, az optikát és a *theophaniát*.¹⁵

¹¹ A korai történethez lásd Wilbur R. Knorr: „Archimedes and the Pseudo-Euclidean Catoptrics: Early Stages in the Ancient Geometric Theory of Mirrors” = *Archives Internationales d’Histoire des Sciences* 35 (1985), 27–105. A parabolatükrök problémáját ábrával is ismerteti Zemplén Gábor Á.: *Törékeny spektrum: Newton érvei és az autoritás képződése balózatokban*. Budapest: Typotex, 2015, 45 (II.5 ábra).

¹² Abdelhamid Ibrahim Sabra: *The Optics of Ibn al-Haytham: Books I–III: on Direct Vision*. London: Warburg Institute, University of London, 1989. Az abberáció leírása előtt al-Haytām atmoszférikus optikai kérdésekkel foglalkozik, mint a horizont közelében megnövekedett látszólagos méret.

¹³ Smith: *From Sight to Light*, 221–222.

¹⁴ Michael W. Tkacz: „Albertus Magnus and the Recovery of Aristotelian Form” = *The Review of Metaphysics*, 64/4 (2011), 735–762. Peter Theiss – Otto-Joachim Grüsser: „Vision and Cognition in the Natural Philosophy of Albert the Great (Albertus Magnus)” = *Documenta ophthalmologica* 86 (1994), 123–151. Mark A. Smith: „Getting the Big Picture in Perspectivist Optics” = *Isis* 72/4 (1981), 568–589. Lukáš Lička: „What is in the Mirror? The Metaphysics of Mirror Images in Albert the Great and Peter Auriol” = Brian Glenney – José F. Silva, eds.: *Senses and the History of Philosophy*. London: Routledge, 2019, 131–148.

¹⁵ Jeremiah Hackett: „Roger Bacon’s New Metaphysics (1260–1292): The Integration of Language Study and Natural Science With Metaphysics and Morals” = *Revista Española de Filosofía Medieval* 28/1 (2021),

Az optika kialakulása során az ókortól egészen Kepler koráig a látásmélet központi szerepet töltött be, hiszen a megismerőt a külvilággal az észlelési lánc köti össze a látható sugárzás legalacsonyabb szintű felfogásától a tárgyi források fogalmi és intellektuális megragadásáig.¹⁶ A perspektivista optikai hagyomány így a XIII. századtól kezdve a skolasztika világképének stabil, fontos és igen nagy technikai tudást is igénylő területe volt, mely a szemtől a tudatig követte a teljes észlelési folyamatot. Mivel a fény terjedésre törekszik, miközben mindenhová képeket juttat el a formákról, a skolasztikában általánossá vált a „kis képecskék” tana, és Roger Bacon (kb. 1215–1292) már egész traktátust szentelt a témának (*De multiplicatione specierum*, 1260-as évek).¹⁷ A három híres perspektivista szerző közül (Roger Bacon, John Peckham [kb. 1225–1292], Vitellio [kb. 1230–1275 után])¹⁸ leginkább Vitellio kapcsolódott a klasszikus matematikai hagyományhoz. Érdekes, hogy míg al-Haytám gyakorlati problémákhoz illő matematikai apparátus-használata a *De aspectibus*-ban opportunistának tekinthető, addig Vitellio az összes fejezetét átírta definíciókkal és posztulátumokkal dolgozó eukleidési formába, így az ő *Perspectivája* másfélszer olyan hosszú lett, mint az összefoglalt, eredetileg sem rövid munka.

Kepler elsősorban ehhez a munkához kíván hozzáadni a könyve címe alapján. Bár a műre adott azonnali reakciók nem voltak elsőprőek (néhány dicsérő levél és kritikai észrevétel Johann Georg Brengger [1559–1637 után] és Thomas Harriot [1560–1621] részéről), a vaskos kötet a század második negyedétől kezdve egyre jelentősebb mértékben járult hozzá a további tudományos ismeretekhez, és hatására a XVII. század folyamán a fény tanulmányozása fokozatosan elvált a látás tanulmányozásától.

Megjegyzések a címhez: Kiegészítések Vitellióhoz

Érdemes a címlap teljes feliratát tanulmányozni: *Ad Vitellionem Paralipomena, Quibus astronomiae pars optica traditur; Potissimum de artificiosa observatione et aestimatione diametrorum deliquiorumq<ue> Solis & Lunae. Cum exemplis insignium eclipsium. Habes hoc libro, Lector, inter alia multa noua, Tractatum luculentum de modo visionis, & humorum oculi usu, contra Opticos & Anatomicos, Authore Ioanne Keplero, S<uae> C<aesareae> M<aiestatis> Mathematico.*

149–171. Bacon szivárvány-magyarázata ugyanakkor nehezen tekinthető progresszívnek, lásd David C. Lindberg: „Roger Bacon’s Theory of the Rainbow: Progress or Regress?” = *Isis* 57 (1966), 235–248.

¹⁶ A nagy összefoglaló történeti tabló természetesen vitatható, lásd pl. Isidoros Katsos: „Chasing the Light: What Happened to the Ancient Theories?” = *Isis* 110/2 (2019), 270–282.

¹⁷ Ennek világos összefoglalását lásd Tóth Zita Veronika: „Hogyan szabaduljunk meg a repülő képecskéktől – avagy Descartes *Dioptrique*-ja és a középkori ismeretelmélet” = *Világosság* 11–12 (2008), 37–58.

¹⁸ David C. Lindberg: „Lines of Influence in Thirteenth-century Optics: Bacon, Witelo, and Pecham. = *Speculum* 46/1 (1971), 66–83.

Kiegészítések Vitellióhoz, melyekben a csillagászat optikai része adatik át; leginkább a Nap és a Hold átmérőinek és fogyatkozásainak szakszerű megfigyeléséről és becsléséről. Nevezetes fogyatkozások példáival. Ebben a könyvben, Olvasó, sok más újdonság mellett világos értekezést kapsz a látás módjáról és az okuláris folyadékok használatáról, az optikusok és anatómusok [nézeteivel] szemben, Johannes Keplernek, Ő Császári Felsége matematikusának tollából.

A munka fizikai-optikai része a csillagászat ősi problémáival foglalkozik: az egyenes úthoz képest a csillagok fénysugarai a légkörben megtörnek, de pontosan hogyan határozhatók meg a fénytörés szögei? A fogyatkozások – távoli gömbök – vizsgálataval gyakorlati problémákhoz is kapcsolódik, számos esetben érintve a kúpszeletek geometriáját (melyet Apollónios tárgyalt a Kr. u. II. században),¹⁹ miközben a reneszánszban elterjedő lyukkamerával (*camera obscura*) is kapcsolatban van.

Kepler a szem anatómiájáról is ír. Először magyarázza a rövidlátást a fénysugarak fókuszálásával. Hangsúlyozza a retina fontosságát a látás szempontjából, megvizsgálja a szemlencsét és a szem optikai tulajdonságait, elsőként írja le helyesen a sugár útját a szemben, és levonja a következtetést, hogy a retinán a kép mindig fordítva jelenik meg. Sokatmondó, hogy – szemben az optikusokkal és anatómusokkal – önmagát matematikusként definiálja, aki ekként is hozzájárulhat az észlelések értelmezéséhez.²⁰

Kepler esetében – akár Galileinél – a „geometriai tárgyalás” magasabbrendű a jelenségek pusztá leírásánál, és *kiterjeszthető* olyan területekre is, amelyeket korábban más szakértelem terrénjának tekintettek. Ahhoz azonban, hogy az optikai elmélet kiterjeszthető legyen, először tovább kellett fejleszteni azt a nyelvet, melyet az optika használ. Kepler ezért számos technikai fogalmakat tisztáz, mint amilyen a prizma, a lencse és a meniszkusz. Így jelenik meg a matematika ott is, ahol korábban még az észlelőt sejtették. A szem üvegteste évszázadokig *lelki* funkcióval bírt, hiszen a látvány észlelése már itt elkezdődött, míg Kepler pusztán optikai fénytörő közegként tekint rá. Miközben korábban magát az üvegtestet kapcsolták az észleléshez (hiszen már egy vízzel töltött üveggömb megmutatja, hogy benne megjelenik a környezet látványa), Kepler kiüzi innen a szellemet. A szem egy optikai rendszer, amelynek egyik végpontján a fény bejut, a másik végén pedig létrehozza a látványt: a külvilág kicsinyített mását. A *camera obscura* a fényképezőgép és számos

¹⁹ Például a fénytöréssel foglalkozó 4. fejezet 4. alfejezetében, ahol teljesen újszerű, az általános matematikátörténet szempontjából is jelentős módon tárgyalja ezeket a görbéket: nem különböző nyílásszögű kúpok metszeteiként vagy esetleg azonos kúp különböző irányú metszeteiként, hanem a fókuszpont (melynek fogalmát ő és itt vezeti be) vándorlásával egymásba folytonosan átalakítható alakzatokként, előrevetítve a projektív geometria szemléletét. Lásd Andrea Del Centina: „On Kepler’s System of Conics in *Astronomiae pars optica*” = *Archive for History of Exact Sciences* 70/6 (2016), 567–589. (Kutrovácz Gábor jegyzete.)

²⁰ Ez azért is nagy teljesítmény, mert mindezt a fénytörés szinusz törvényének megfogalmazása nélkül éri el. Lásd Carlos Alberto Cardona Suárez – Juliana Gutiérrez Valderrama: „The Law of Refraction and Kepler’s Heuristics” = *Archive for History of Exact Sciences* 74/1 (2020), 45–75.

más optikai eszköz (pl. a XVII. századi helioszkóp)²¹ legfontosabb elődje maradt, és a kép megfordítása tette a lyukkamerát a látás legfontosabb metaforájává a XVII. és XVIII. században. Ebben alapvető Kepler jelentősége, de a „világos” előrelépés elmaradt az ismeretelméleti kérdés kapcsán, hiszen a sugarak útját a szemben modellezve Kepler meggyőzően érvelt a botrányos, de igaz tény mellett: a szem fenekén a kinti világ *fordítottan* tükröződik.

Míg a könyv kritikával illeti a korábbi szerzőket, például Aristotelést vagy Vitelliót, addig új megfigyelésekkel és mérésekkel is szolgál, és ez könnyen megtévesztheti a felületes olvasót. Miközben régi elméletek kritikáját adja elő saját fogalmi keretben, a technikai tárgyalást kortársai és a korábbi generációk munkái tették lehetővé. Meghatározó szerepet játszottak Kepler retinális képalkotási modelljében – úgy is fogalmazhatunk, hogy *lehetővé tették* azt – azok a XVI. századi erőfeszítések, amelyek a homorú tükrökről való visszaverődés és a domború lencséken keresztül történő fénytörés megértésére irányultak.²²

Miért nyelvészkedik Kepler?

A definíciókat megelőző bevezető oldalak – melyek fordítását közöljük – az optikai jelenségek alapvető csoportosítását érintő nyelvi problémákkal indulnak. A látszólag nyelvészkedésbe belevesző Kepler diszciplináris lehatárolásokat végez itt, és elkezd bevezetni saját szakterminológiáját.

A kifejezések keveredése gyakran megnehezíti a görög tudományos terminológia világos megértésére (vagy akár lefordítására) irányuló erőfeszítéseinket. A korábbi szerzők esetében a legtöbbet vizsgált az *ἀνακλασις*, *anaklasis* kifejezés, amelyet például Aristotelés elméletének leírásában használnak. Ezt ma tükrözésnek vagy reflexiónak fordítanánk, de a latin *refractio* és *reflectio* kifejezéseket is felváltva használták több évszázadon át, még William Gilbert (1544–1603) is a XVI. században. Ez a fogalmi zűrzavar szembeötlő például a középkori szivárvány-magyarázatoknál.²³ Hogy jobban értsük a problémát, érdemes figyelembe vennünk, hogy Aristotelés különbséget tesz a reflexió (*anaklasis*) típusai között (*Meteōrologia* III/3–4, 372 B 16–373 B 32). A jelenségcsoport egyik végpontján vannak a jól tükröző felületek, mint a vízfelszín, azonban vannak esetek, amikor csak a szín tükröződik, és a szögek egyenlősége

²¹ A helioszkóp a Nap észlelésére szolgáló eszköz, amely a Nap képét vetíti ki a távcsőből.

²² Arianna Borrelli – Giora Hon – Yaakov Zik, eds.: *The Optics of Giambattista Della Porta (ca. 1535–1615): A Reassessment*. New York: Springer International Publishing, 2017, 1–123. Arianna Borrelli: „Thinking with Optical Objects: Glass Spheres, Lenses and Refraction in Giovan Battista Della Porta’s Optical Writings” = *Journal of Early Modern Studies* 1 (2014), 39–61. Arianna Borrelli: „Optical Diagrams as ‘paper tools.’ Della Porta’s Analysis of Biconvex Lenses from *De refractione* to *De telescopio*” = *The Optics of Giambattista Della Porta*, 57–96.

²³ David C. Lindberg: „The Cause of Refraction in Medieval Optics” = *The British Journal for the History of Science* 4/1 (1968), 23–38. Lásd még Carl B. Boyer: *The Rainbow: From Myth to Mathematics*. New York – London: Thomas Yoseloff, 1959.

nem feltétlenül áll fenn. A tükrözésnek (vagy fénytörésnek?) e szabálytalan típusába akár a fényszóródás is beletartozik, amikor a fény részecskékről verődik vissza, és az ember színeket lát (mint például az ég kékjét), de képet nem. A víz már képződése során (köd, felhő) is *jobb* tükrő, mint a levegő, és így az aristotelési elméletben a szivárvány megjelenéséhez szükséges fizikai tényezők: egy fényforrás (a Nap), egy sötét esőfelhő és a megfigyelő szeme. A sötét felhő olyan felületként szolgál, amelyen *szabálytalan tükröződés* történhet, és Aristotelés szerint „az ilyen tükrőkben csak <a tárgy> színe jelenik meg, az alakja ellenben nem világosan” (373 B 18–19).

Túlzás, hogy a terminológiai tisztázással Kepler valami nagyon újat alkotott volna.²⁴ Az ősi optika mellett ugyanis már Alexandriai Hérón (*fl.* kb. Kr. u. 62) külön kötetben tárgyalta a *Katoptrikát*, vagyis a tükrözések tanát, és az *Optikát* író Klaudiosz Ptolemaios (kb. 100 – kb. 175) részletes méréseket végzett, hogy a fénytörés kapcsán a belépési és a törési szögek viszonyát megállapítsa. Vagyis Kepler idejére a hármas *optika*, *katoptrika*, *dioptrika* tagolás bevetté vált. Ahogy a reneszánsz időszakában is megszokott volt, a tudományos vagy a természetfilozófiai újítók nemcsak új ismereteket osztottak meg a közönséggel, hanem számos szerző próbált a tudásterületek hierarchiájában is változásokat előidézni. Kepler már műve első könyvében javasol egy negyedik, új vizsgálati irányt, ez azonban a mai olvasónak szokatlan: a „kommunikált” fény optikája (I. könyv, 17. és 22. tétel) többek között a színes tárgyak értelmezését teszi lehetővé mind a mechanikai, mind a geometriai tárgyalás számára.

Kepler kísérlete az optika egy új ágának bevezetésére csupán egyetlen megnyilvánulása²⁵ annak az innovatív – ám némiképp eklektikus – modellezési gyakorlatnak, amit a következő szakasz mutat be.

A gömb és a mágnes: a geometriai és mechanikai analógiák

Hagyományosan a szublunáris szférára jelentősen más tárgyalásmód vonatkozott az európai szerzők esetében, mint a Hold feletti szférára,²⁶ és Kepler bevezetőjének egyik legfontosabb jellemzője ezek összemosása. Mivel elkötelezett kopernikánusként érvénytelennek tekintette a Hold alatti és feletti régiók közötti radikális különbségtételt, ezért ez az összemosási törekvés számos más munkáját is áthatja: kitüntetetten figyeli a Hold feletti szférában a változót, a nem állandó jelenségeket

²⁴ Vitatható például, hogy az ókori *anaklasis* használata nagyon zavaros volt, lásd pl. Peter Kingsley: „Empedocles’ Sun” = *The Classical Quarterly* 44/2 (1994), 316–324, 7. l. És amíg Aristotelésnél a víz még a szabályos tükröződés példája, Kepler a vizet már – a tükrökkel szembeállítva – a fénytöréshez (*infractus*) kapcsolja.

²⁵ Máshol is túllép a hagyományon, hiszen a perspektivisták által is ismert virtuális kép (*imago*) mellett bevezeti a valódi képeket (*pictura*), mint amelyek a sötétkamrában vetülnek a belső falra. Lásd Alan Shapiro: „Images: Real and Virtual, Projected and Perceived, from Kepler to DeChales” = *Early Science and Medicine* 13/3 (2008), 270–312.

²⁶ Barbora Kocánová: „The Sublunary Phaenomena as a Subject of Medieval Academic Discussion: Meteorology and the Prague University *Disputationes de Quolibet*” = *Early Science and Medicine* 22/1 (2017), 72–102.

(pl. üstökösök, az 1604-es nóva), és tekinthetjük őt a földi életet az égi szférákra is kiterjesztő vitalistának.²⁷ Ráadásul sokszor inkább *égi fizikát* művel, mint *matematikai asztronómiát*.²⁸ Kepler korára az optika már más területeken is megjelent, Giovanni Battista della Porta (1535–1615) például számos optikai megfigyelését a természetes mágiához sorolta. Ahogy a Napban „a fénynek nevezett képesség” számunkra is láthatóvá válik: „a Napot utánozza minden egyéb, ami részesül a fényben.”²⁹

A bevezető második része egyfelől jól mutatja, milyen eklektikus Kepler: nemcsak egy vallásos világképű, gyakran arisztotelianus terminológiát használó szerző, hanem egy erőterekkel és láthatatlan – vagy épp látható – képességekkel teli, animált világban élt és alkotott.³⁰ A geometria révén a világ számos jelensége – akár az égben, akár a földön, akár a testünkön belül – érthetővé válik: „A gömb a fény, sőt a világ ösképe [*archetypus*].” A legegyszerűbb geometriai forma, a gömb a keresztény világképhez akkomodált (hiszen megjelenik benne a Szentháromság), és ezen felül a fény alaptulajdonságaként is feltűnik (gömbi terjedés).³¹ Vagyis Kepler bőven épít a korábbi századok fénymisztikájára is, miközben rendszeresen hangsúlyozza a fény matematikai tárgyalását, és már mechanikai-dinamikai (testek mozgásával foglalkozó) elemzést ad. Ahogy ígéri, „minden filozófus és optikus bizonyos módon egymás mellé állítja a fizikai testeket és azok mozgásait, valamint a fényt – amit mi egy kicsit szélesebb körben fogunk elvégezni.”

A bevezető tehát már-már anyagnak tekinti a fényt (ahogy a modernitásban megszokottá válik), hiszen visszaidézi azokat az analógiákat, amelyek a fényt fágakként írják le (ἡλαδός), valamint az első tétel geometriai testről beszél, amikor azt állítja, hogy a fény mint egy testről leváló felület „kiáramlik vagy kivetül forrásától

²⁷ Patrick J. Boner: *Kepler's Cosmological Synthesis: Astrology, Mechanism and the Soul*. Leiden – Boston: Brill, 2013, 11–38 („I. Kepler's Vitalistic View of the Heavens: Some Preliminary Remarks”).

²⁸ Pietro D. Omodeo: „The 'Impiety' of Kepler's Shift from Mathematical Astronomy to Celestial Physics” = *Annalen der Physik* 527/7–8 (2015), A71–A75. Lásd még Kutrovázt Gábor: *Kozmikus időutazás baladónak*. Budapest: Typotex, 2023, 258.

²⁹ Az ebben a szakaszban szereplő idézetek – hacsak másképp nem jelezzük – az alant közölt fordításból származnak. A rövid kozmogóniai bevezető sok eleme megjelenik a *Kozmográfiai értekezések előfutára* 2. fejezetében, valamint a Mästlinhez írt levelekben (1695, JKGW 13, 28–38) is, ám itt hangsúlyos a *dinamika*, a pont kiterjedése gömbbé. Ugyanez a kérdéskör fontos szerepet játszik az *Új, oknyomozó csillagászat* 33. fejezetében, lásd Vassányi – Kutrovázt: *A világ bizonyos szimmetriája*, 149–162, különösen 158–162. A kontextusról lásd még A kontextusról lásd még Vassányi Miklós – Kutrovázt Gábor: *Oknyomozó csillagászat. Szemelvények Johannes Kepler főbb műveiből tudománytörténeti tanulmányokkal*. Budapest: Typotex, 2024, 123–124 és 191–195.

³⁰ Patrick J. Boner: „Life in the Liquid Fields: Kepler, Tycho and Gilbert on the Nature of the Heavens and Earth” = *History of Science* 46/3 (2008), 275–297. A mágnes fontos kiindulópontja volt az analógiás modellezésnek, ami Kepler kapcsán – ma már úgy látjuk – oktatási relevanciával is bír: Dedre Gentner – Sarah Brem – Ronald W. Ferguson – Arthur B. Markman – Björn B. Levidow – Phillip Wolff – Kenneth D. Forbus: „Analogical Reasoning and Conceptual Change: A Case Study of Johannes Kepler” = *The Journal of the Learning Sciences* 6/1 (1997), 3–40.

³¹ A gömbi terjedés alapvető lesz később Huygens fényelméletében is: Christiaan Huygens: *Traité de la lumière*. Leiden: chez Pierre van der Aa, 1690.

egy távoli hely felé” (1. tétel), miközben mégis fenntarja, hogy a fény immateriális (3. tétel), és terjedése nem időbeli (5. tétel). Amikor a látás értelmezésekor kísérleteket végez, Kepler összekapcsolja a szemet, a „vízgömböt,” és a hosszú nyakú vízelettartó edényt, és közben még mindig az érthető világ részeként kezeli a fényt, a színt és a látványt. A remélhetőleg valamikor magyarul is olvasható munkában igen merész modellezési próbálkozások kapcsolódnak geometriai bizonyításokhoz, és gyakran egy-egy Eukleidészhez vagy al-Haytámmal köthető állítás cáfolatához, miközben Kepler azzal is tisztában van, hogy a geometriai *idealizációk* sokszor nagyon eltérhetnek a vizsgált esetektől.³²

Bár az alkotó Istent „minden dolog természete ki kellett fejezze,” ám ez csak korlátozottan jelenhet meg a világban: „amennyire ez az adott dolog lényegének alkata alapján lehetséges volt.” S ugyanígy, bár Kepler a geometriáról azt írja, hogy „ez a testi világ igazi, legalkalmasabb képmása,” itt is felkészíti az olvasót az ellenpéldákra, amennyiben a geometria „vagy minden megszorítás nélkül, vagy valamilyen tekintetben” alkalmas hű képet adni. További szűkítésként lehet érteni, hogy a gömb azon dolgokat modellezi jól, melyek „a testi teremtmények közül a legnagyobb fokú teljesültségre” törekszenek. Bár Kepler esetében ez inkább kiterjesztést jelent: az égitestek is közel gömb alakúak, így teljességre törekvők.

Zárszó

Kepler műve két évezred optikai hagyományára épített, és alapvetőnek tekinthető az egyik legfontosabb tudományág, a modern optika kialakulásában.³³ Neve számos olyan újításhoz köthető, ahol eltávolodott a gömb tökéletességétől, és sikeresen

³² Az ilyen, problémacentrikus modellezési hagyomány gyökereihez lásd Ivor Thomas: *Selections Introducing the History of Greek Mathematics II: from Aristarchus to Pappus*. London: William Heinemann – Cambridge, MA: Harvard University Press, 1941. Az optikai munkákban több a hivatkozás Apollóniosra, illetve Archimédészre, mint a csillagászati munkákban, erről lásd: Ann Elisabeth L. Davis: „Kepler’s Unintentional Ellipse – a Celestial Detective Story” = *The Mathematical Gazette* 82/493 (1998), 37–43. Itt előfordul, hogy Kepler tudatosan kikerülte a nem-euklidészi megközelítéseket. Ann Elisabeth L. Davis: „The mathematics of the area law: Kepler’s Successful Proof in *Epitome astronomiae Copernicanae* (1621)” = *Archive for History of Exact Sciences* 57 (2003), 355–393.

³³ Így természetesen a legtöbb optikatörténetben is kiemelt helyet foglal el. Van, ahol Kepler az arab optika európai átültetési folyamatának, illetve az antik hagyománynak a végpontja, pl. David C. Lindberg: *Theories of Vision from al-Kindi to Kepler*. Chicago: University of Chicago Press, 1976; Robert A. Crone: *A History of Color: the Evolution of Theories of Light and Color*. Dordrecht – Boston – London: Kluwer, 1999; David Allen Park: *The Fire Within the Eye*. Princeton: Princeton University Press, 1997; továbbá Oliver Darrigol: *A History of Optics from Greek Antiquity to the Nineteenth Century*. Oxford: Oxford University Press, 2012. Van azonban, ahol Kepler csak mellékszereplő, és csupán egy-egy felismerését mutatják be, pl. Joseph Priestley: *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light, and Colours*. London: Printed for J. Johnson, 1772; Arthur Zajonc: *Catching the Light: the Entwined History of Light and Mind*. New York: Bantam Books, 1993. Lásd még Zemplén Gábor Á.: „Throwing New Light on Kepler’s Contribution to Optics” = *Metascience* 29 (2020), 237–240, doi.org/10.1007/s11016-020-00505-3.

alkalmazott ennél kevésbé tökéletes formákat, így gyakran fordult a kör helyett az ellipszishez és egyéb kúpszeletekhez. Két évezredes hagyományon lép túl, amikor a tükrözésnél megjelenő képek kapcsán nemcsak cáfolja az elődöket, hanem új – nehezebb – matematikai problémaként vizsgálja a nem merőleges nézési szögeknél fellépő képek megjelenését. A kor bevett elképzelésének (az ún. *cathtetus*-szabálynak) a megcáfolása átalakította a tükrök tanát,³⁴ a katoptrika szerkezetét is.

A modern tudomány születésében Kepler nevét hordozza a „csillagászati,” két domború lencsét tartalmazó távcső, amely csillagászati célokra jobban alkalmazható a Galilei-féle távcsőnél, annak ellenére, hogy fordított állású képet adott. Ennek elve az 1611-es *Dioptrice* című munkájában jelent meg, amely úttörő módon tárgyalja az optikai lencsék tulajdonságait és használatát.

Kepler után a látás és a látott kép felfogása jelentősen átalakult, de ő számos esetben csak *elkezdte* a munkát. Az újfajta (Kepler-féle) távcsövet könnyű végterméknek látni, miközben Kepler matematikai munkáinak produktív továbbfejlesztését látjuk megjelenni a XVII. század számos matematikai szövegében.³⁵ Az olasz szerzetes-matematikos, Bonaventura Cavalieri (1598–1647), akinek a vékony lencsékkel kapcsolatos műve levezeti a paraxiális sugarak fókuszpontjait, vagy Gregory, aki a képi helymeghatározás matematikáját fejlesztette tovább, jól mutatják Kepler hatását Itáliától Angliáig. Newton és mentora, Isaac Barrow (1630–1677) még mindig a Kepler által csupán részben megoldott problémákkal küszködtek, mint amilyen a képpontok meghatározására a gömbfelületen.³⁶

A Kepler előtti és utáni világkép alapvetően összeegyeztethetetlennek tűnik. Éppen ezért olyan érdekes Kepler, aki bőven elegendő technikai kompetenciával rendelkezett ahhoz, hogy kora egyik kiemelkedő szakértőjét lássuk benne, noha világképében még *virtusok*, geometriai formák és erők keverednek a skolasztikus nyelvhasználattal és mechanikus analógiákkal. Forradalmi modellje, amelynek alapja a retinális kép, lerombolja a régi perspektivista modellt, miközben még részben annak fogalmaiból építkezik.

³⁴ A perspektivisták (is) kitüntetetten kezelték a merőlegesen beeső sugarakat, amelyek alatt gyakran „látott” sugarakat is értettek. A *cathtetus* (görög *κάθητος*, „merőleges”) szerepe azonban sokáig megmarad. Sven Dupré: „The Making of Practical Optics: Mathematical Practitioners’ Appropriation of Optical Knowledge between Theory and Practice” = Lesley B. Cormack – Steven A. Walton – John A. Schuster, eds.: *Mathematical Practitioners and the Transformation of Natural Knowledge in Early Modern Europe*. Cham: Springer, 2017, 131–148. Arianna Borrelli: „The Eye Stays in the Picture: Virtual Images in Early Modern and Modern Optics” = *Perspectives on Science* 31 (2023), 1–40 (megjelenés előtt).

³⁵ Antoni Malet: „Kepler’s Legacy: Telescopes and Geometrical Optics, 1611–1669” = Albert Van Helden – Sven Dupré – Rob van Gent – Huib Zuidervart, eds.: *The Origins of the Telescope*. Amsterdam: KNAW Press, 2010, 281–300; valamint Fokko Jan Dijksterhuis: *Lenses and Waves: Christiaan Huygens and the Mathematical Science of Optics in the Seventeenth Century*. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2004.

³⁶ Antoni Malet: „Isaac Barrow on the Mathematization of Nature: Theological Voluntarism and the Rise of Geometrical Optics” = *Journal of the History of Ideas* 58/2 (1997), 265–287.