

Kutrovátz Gábor

Kozmikus időutazás haladóknak

Kutrovátz Gábor

KOZMIKUS
IDŐUTAZÁS
HALADÓKNAK



A könyv a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával készült.



Szakmai lektor: Forgácsné dr. Dajka Emese

© Kutrovátz Gábor, Typotex, Budapest, 2023
Engedély nélkül semmilyen formában nem másolható!

ISBN 978 963 493 232 1

Kedves Olvasó!
Köszönjük, hogy kínálatunkból választott olvasnivalót!
Újabb kiadványainkról, akcióinkról a www.typotex.hu
és a facebook.com/typotexkiado oldalakon értesülhet.

Typotex Kiadó
Alapította Votisky Zsuzsa, 1989
A kiadó az 1795-ben alapított Magyar Könyvkiadók
és Könyvterjesztők Egyesülésének tagja.
Felelős kiadó: Németh Kinga
Felelős szerkesztő: Leiszter Attila
Borítóterv: Somogyi Péter
Nyomta és kötötte: Prime Rate Kft.
Felelős vezető: Tomcsányi Péter ügyvezető igazgató

TARTALOM

ELŐSZÓ	7
1. A KLASSZIKUS KOZMOLÓGIAI TÁVOLSÁGMÉRÉSEK	15
1.1. A kozmosz mérhetősége	17
1.2. A kozmológiai mérés alapvető módszere: a parallaxis	20
1.3. Kozmológiai mérések az ókorban	31
1.3.1. Korai kozmológiai mérések és rendszerek	31
1.3.2. Az ókori észlelőcsillagászat virágkora	45
1.4. A Mars parallaxisa mint a kora modern kozmológia kulcsa	56
1.5. Kepler és öröksége	67
1.6. A későbbi fejlemények dióhéjban	73
1.6.1. A Mars parallaxisa mint a Naprendszer mértéke	73
1.6.2. Az éves parallaxisról	76
2. ARISTARCHOS HOLDFELEZÉSE – ESETTANULMÁNY	85
2.1. A mérés alapjai és szakirodalmi megítélésük	87
2.2. A mérés alapelve	94
2.3. Az időpont azonosítása	98
2.4. Az időpont azonosításának segédeszközei	105
2.5. Az elongáció mérése	110
2.6. Az időablak problémája	114
2.7. További bonyodalmak	120
2.8. A mérés korlátai	124
2.9. Tanulságok	130

3. FEJEZETEK A CSILLAGÁSZAT TÖRTÉNETÉBŐL	135
3.1. Alapfogalmak	137
3.1.1. Csillagászat	137
3.1.2. Kozmológia	143
3.1.3. Univerzum	149
3.1.4. Fizika	155
3.1.5. Anyag	159
3.1.6. Tér	167
3.1.7. Mozgás	176
3.2. Copernicus tudományos fogadtatása a XVI. század második felében	185
3.3. A csillagászati elméletek mint hipotézisek	196
3.4. Kepler útja a poliéderes hipotézishez	209
3.5. A bolygófedések szerepei a távcső előtti csillagászati hagyományban	233
3.5.1. Az okkultáció fogalma és észlelhetősége	233
3.5.2. Egy állítólagos bolygófedés nyomában	240
3.5.3. Az okkultációk szerepei: kalibrációs funkció	248
3.5.4. Az okkultációk szerepei: kozmológiai funkció	252
3.5.5. Az okkultációk szerepei: fizikai funkció	257
3.6. A bolygóegyüttállások csillagászati és asztrológiai jelentősége	269
SZAKKIFEJEZÉSEK MAGYARÁZATA	283
AZ ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	299
HIVATKOZOTT SZAKIRODALOM	303
NÉVMUTATÓ	321

ELŐSZÓ

A címben ígért „kozmosz időutazás” csillagászat- és kozmológiatörténeti kalandozást jelent. A könyv a kozmoszt feltérképező tudomány történetébe kínál betekintést válogatott tárgykörök mentén. Nem az a célja, hogy kerek és átfogó összefoglalást adjon,¹ hanem bizonyos témákat kíván kiemelni és egyes korszakokra koncentrálni. A fő témánk a kozmológiai távolságmérések története lesz, vagyis az a kérdés, régen hogyan próbálták megállapítani az égitestek távolságait, és ezen keresztül a kozmosz szerkezetét és méreteit. Ennek kapcsán azonban további, részben kapcsolódó területekre is ellátogatunk. A vizsgált időszak a „régidőket” foglalja magában, tág értelemben elsősorban a távcső előtti korszakot, azon belül is főként a görög-római ókort és az európai kora újkort, de helyenként röviden kitekintünk az Európán kívüli és a modern csillagászatra is.

A „haladóknak” kitétel a címben arra utal, hogy ez a könyv előfeltételez egy minimális tájékozottságot és lelkesedést a

¹ Magyarul nem áll rendelkezésre teljes igényű és átfogó csillagászat-történeti könyv, bár rokon területek hasonló művei sok releváns részletet tárgyalnak (pl. Simonyi, 1998). A jelen munka által érintett egyes korszakok és témák tekintetében hasznos például Duhem (2005), Neugebauer (1984), Szabó (1998), Bienkowska (1973), Koestler (1996), Vekerdi (1997), North (2005), Ropolyi-Szegedi (2000). Életrajzi összefoglalásokért lásd Balázs–Bartha–Marik (1982). Csillagászat-történet címszavakban: Gazda–Marik (1986). Angol nyelven az alábbi, többé-kevésbé átfogó műveket ajánljuk, a teljesség igénye nélkül: Grant (1852), Berry (1898), Dreyer (1906), Doig (1950), Pannenkoek (1961), Linton (2004), North (2008).

témánk iránt. Várhatóan eleve olyanok érdeklődnek iránta, akiknek nem idegenek sem a csillagászat és általában a tudományok alapfogalmai, sem ezek történeti vonatkozásai. Tisztában vannak tehát egyfelől az égi alapjelenségekkel, valamint nem riadnak vissza egy-egy képlettől vagy technikai magyarázattól, másfelől hallottak már arról, hogy mi fűződik a tudománytörténet legtöbbet ünnepeelt óriásainak nevéhez. Ugyan igyekszünk mindent pontosan meghatározni és elmagyarázni a kifejtés során, ám az előzetes alapismeretek hiányában a szöveg helyenként sűrűvé, nehezen olvashatóvá válhat.

A könyv három nagyobb tartalmi egységből épül fel. Az első fejezet a fő témánkat, a parallaxis alapú távolságmérések történetét tárgyalja. Megtudható belőle, hogy mit gondoltak a különböző korszakokban a kozmosz alapvető méreteiről, milyen megfontolások alapján jutottak az evvel kapcsolatos következtetésekre, valamint hogy ezek miként függtek össze a mindenkori általános kozmológiai világgéppel és annak változásaival. A fejezet ismerteti a parallaxis módszerét (1.2. szakasz), leírja és értékeli a leghíresebb méréseket (1.3., 1.6.), valamint felvázolja a probléma általános történeti, kozmológiai és filozófiai vonatkozásait (1.4., 1.5.). A kifejtés kronológiai rendben halad a görögöktől Keplerig többnyire részletesen, majd elnagyoltabb módon utal egyes későbbi fejleményekre.

A második fejezet egy esettanulmány a fő témánkon belül: alaposan megvizsgálja az ókori Aristarchos híres mérését, amely a Hold és a Nap Földtől mért távolságarányának meghatározására irányul. Ennek alapján arra a kérdésre keressük a választ, hogy ez a sokat emlegetett és gyakran dicséret eljárás vajon mennyire működésképes a gyakorlatban, figyelembe vé-

ve a vonatkozó égi konfigurációt és annak időbeli változását. Arra a következtetésre fogunk jutni, a modernkori bemutatások általános odaadásának dacára, hogy a mérés gyakorlatilag használhatatlan arra a célra, amelyre kitalálták. Ez a fejezet nemcsak magára a mérésre és technikai lehetőségeire, hanem ezek szakirodalmi megítélésére is figyelmet fordít, így tanulságos lehet a tudománytörténet-írás szemléletével és gyakorlatával kapcsolatban is.

A harmadik fejezet egy igazi vegyes felvágott, amely vonatkozó témák hosszabb-rövidebb tárgyalását kínálja. A fejezet elején (3.1.) néhány alapfogalom enciklopédikus jellegű, történeti-filozófiai kifejtésével találkozhatunk, amivel általános háttérrel kívánunk nyújtani a további szakaszok speciálisabb témáinak. Itt összefoglaljuk például az univerzum, a tér, az anyag vagy a mozgás fogalmának legfontosabb történeti fel-fogásait. Ezután áttekintést kínálunk a csillagászat késő XVI. századi történetéről, azaz a napközéppontú hipotézis kezdeti fogadtatásáról (3.2.), majd ennek kapcsán egy filozófiai és tudományelméleti reflexió következik a csillagászati elméletek státuszának kérdésére a vizsgált korokban (3.3.). Ezután – visszakapcsolva a kozmikus méretek témaköréhez – Kepler híres poliéderes hipotézisét, annak háttérét és a hozzá vezető próbálkozásokat vesszük szemügyre (3.4.). Ezt követi egy hosszabb lélegzetű szakasz (3.5.), amelyik a fedések, vagyis okkultációk észlelésének történetét tárgyalja, azok kalibrációs, kozmológiai és fizikai-természetfilozófiai jelentősége alapján, ahol az utóbbiról szóló alpont (3.5.5.) elmélyed az erőfogalom kialakulásának néhány aspektusában. Egy másik alpontban (3.5.2.) az internetes források megbízhatóságára, illetve az ellenőrzés módszereire irányuló praktikus és aktuális kérdéseket vizsgálunk. Végezetül az utolsó szakasz (3.6.)

egy, az előzőhöz kapcsolódó témával, az együttállásokkal (konjunkciók) foglalkozik, elsősorban azok történeti és kulturális (asztrológiai) jelentőségére koncentrálva.

Amint ebből az összefoglalásból is látható, a jelen kötet nem egy kerek és egységes történetet kíván elmesélni, hanem sokszínű mozaikot szeretne nyújtani egymással összefüggő témák egy csoportjáról. Ennek első és legőszintébb oka az, hogy bizonyos fejezetek vagy részfejezetek olyan szövegeken alapulnak, amelyeket eredetileg eltérő célokkal írtam, majd ezeket egészítettem ki további szakaszokkal annak érdekében, hogy minél szervezettebben összeállhassanak ezzé a könyvvé.² Ugyanakkor ez a tematikus sokszínűség illeszkedik a szakmai szemléletemhez is: a kortárs szakértők zömével összhangban én sem gondolom azt, hogy a tudományok történetét érdemes volna átfogó, lineáris és homogén narratívák mentén tárgyalni, vagyis alfától ómegáig ívelő, koherens fejlődési útvonalként prezentálni.³

² Az 1. fejezet kifejezetten e könyv számára készült, eddig semmilyen formában sem publikáltam, kivéve az 1.6.2. alpontot, amelynek némileg átdolgozott változata Kutrovácz (2022a). A 2. fejezet kissé kibővített fordítása egy angol nyelvű tanulmánynak, amely a *Polanyiana* folyóirat Fehér Márta emléke előtt tisztelgő különszámában jelent meg: Kutrovácz (2021). Az abban tárgyaltak rövid, vázlatos kifejtését tartalmazza magyarul Kutrovácz (2020a). A 3.1. alfejezet a jelenleg készülő *Magyar Filozófiai Enciklopédia* számára írt szócikkeimből válogat. A 3.2–3.3. szakaszokat bevezető fejezeteknek szánom egy Kepler munkásságát összefoglaló és szemelvényeken keresztül bemutató kötethez, amelyen Vassányi Miklóssal közösen dolgozunk. Ugyancsak ide készült a 3.4. alfejezet, ám ez a szöveg (a hozzá tartozó, ám itt nem közölt, Vassányi Miklós által készített fordítással együtt) már megjelent ebben a cikksorozatban: Kutrovácz–Vassányi (2021a; 2021b), Vassányi–Kutrovácz (2021). A 3.4.2. alpont – némileg átdolgozva – az alábbi publikáción alapul: Kutrovácz (2020b). A 3.4.3–3.4.5. alpontok tartalmának zöme itt is olvasható: Kutrovácz (2022b). Végül, a 3.6. szakasz alapja Kutrovácz (2020c).

³ Ugyanakkor ez a könyv elsősorban történeteket mesél, és csak elvétve reflektál a tudománytörténet-írás elméleti kérdéseire és problémáira. Az utóbbi témához jó bevezetést nyújt Kragh (1989).

A tematikus heterogenitás együtt jár a stilisztikai változottsággal: a fejezetek között szerepelnek úgynevezett primer kutatást tartalmazó, szárazabb szakmai szövegek (2., 3.5.), alaposan jegyzetelt történeti bevezetők és összefoglalások (1., 3.2–3.4.), ismeretterjesztő célú leírások (3.6.) és hivatkozásokat nélkülöző, filozófiai fókuszú enciklopédikus szócikkek (3.1.). Azt remélem, hogy ez a sokszínűség inkább válik a kötet hasznára, mint a kárára, hiszen így talán bízhatok abban, hogy minden szinten képes érdekes információkkal szolgálni. Továbbá nyitva szeretném hagyni az Olvasók számára azt a lehetőséget, hogy ne lapról lapra haladjanak végig a könyvön, hanem az érdeklődésüknek megfelelően válasszanak a fejezetekből. Emiatt a szövegben maradtak redundáns, többször visszatérő információk, de zömében jelezni fogom jegyzetekben, hogy az adott téma melyik másik fejezetben kerül még kifejtésre.

A fejezetek után található egy függelék, amelyik az említett fontosabb szakkifejezésekhez kínál rövid magyarázatot.⁴ A szakterminusok többségét igyekszem a fejezetek szövegében is meghatározni, amikor először felbukkannak, ám a további előfordulások esetén segíteni kívánom az Olvasót azzal, hogy a visszakeresésnél gyorsabban elérhető, általánosabb definíciókat is könnyen fellapozhat. Végezetül, a kötetet az irodalomjegyzék zárja, mely a hivatkozott szakirodalmi tételeket – és csak azokat – tartalmazza. Itt egyaránt megtalálhatók a tárgyalt szerzők hivatkozott műveinek eredeti kiadásai, a modern kiadások és az angol (vagy ha van, magyar) fordítások, valamint a felhasznált másodlagos szakirodalmi művek.

⁴ Ez erősen átfed *A világ bizonyos szimmetriája* kötetben (lásd alább [289–296]) közölt hasonló fogalomtárral.

Megjegyzendő, hogy a kötetben a személynevekre vonatkozó úgynevezett tudományos átírási konvenció érvényesül, vagyis Arisztotelész és Arkhimédész helyett Aristotelés és Archimédés, Kopernikusz és Kolumbusz helyett pedig Copernicus és Columbus szerepel.⁵ Bár ez a konvenció ma népszerűtlen, remélem, hogy az Olvasó könnyen meg tud barátkozni vele.

Végezetül szeretném a köszönetemet kinyilvánítani a legfontosabb óriásoknak, akiknek a vállán állva megírhattam ezt a könyvet. Először is mély hálával tartozom Vassányi Miklósnak. Azonkívül, hogy számos ponton fordulhattam hozzá segítségért eredeti szöveghelyek fordítása vagy értelmezése kapcsán, általában véve is ő volt az, aki néhány évvel ezelőtt bevont régi csillagászati és természetfilozófiai szövegek fordításával kapcsolatos munkáiba, főként bevezetők és szakmai jegyzetek írásának feladatával. Ennek az ösztönzésnek köszönhető, hogy mélyebben elmerültem mind a klasszikus szerzők műveiben, mind pedig az ezekre vonatkozó másodlagos szakirodalomban, és ennek eredménye a jelenlegi intenzív érdeklődésem a csillagászat története iránt.⁶ Közös munkánk első – de remélhetőleg nem utolsó – gyümölcse *A világ bizonyos szimmetriája* című könyvünk (lásd az irodalomjegyzék elején; a továbbiakban: VBSZ), amely egy kora újkori csillagászati és természetfilozófiai szöveggyűjtemény, részletes bevezetőkkel és jegyzetanyaggal kiegészítve. A jelen munka – miközben természetesen önmagában is olvasható – bizonyos értelemben

⁵ Kivéve a hivatkozások megadásánál, ahol a hivatkozott kiadás névátírását követem. A helységnevek esetén többnyire a köznapi, fonetikus átírást alkalmazom.

⁶ Ez némileg különös annak fényében, hogy annak idején csillagászból, fizikából és filozófiából szereztem diplomát, majd a tudománytörténet és tudományfilozófia területén doktori fokozatot. Ráadásul évtizedek óta oktatok tudománytörténeti témájú tárgyakat. A csillagászat története iránti lelkes és elmélyült érdeklődésem mégis viszonylag új keletű.

a VBSZ folytatásaként is felfogható, hiszen olyan kérdéseket tárgyal, amelyek az abban foglalt témákhoz kínálnak tágabb és egyben részletesebb kontextust.

Ugyancsak szeretném hálámat kifejezni Forgácsné dr. Dajka Emesének, aki a könyv szakmai lektorálását végezte. Igencsak alapos munkát végzett, és nagyszámú javaslata nem csupán a szöveg tudományos egzaktságának vált hasznára, hanem a könnyebb érthetőségnek és a koherenciának is. Ha mind-ezek ellenére maradtak a szövegben pontatlanságok, nehezen emészthető szakaszok vagy esetleg ellentmondások, az nem az ő hibája, hanem a túlságosan önféjű szerzőé.

Szeretnék köszönetet mondani Zemplén Gábornak is. Egyfelől amiatt, hogy a kézirat egy korábbi, habilitációs dolgozatként beadott változatát átnézte, értékelte (szerencsére pozitívan), és hasznos megjegyzésekkel kommentálta. Másrészt amiatt, hogy szakmai életutam során jó néhány szoros együttműködést (például közös publikációkat) valósíthattam meg vele, és bár ezek nem mindegyike kapcsolódott szigorúan a tudománytörténethez, pláne a csillagászat történetéhez, ám közös munkáink jelentősen hozzájárultak a szakmai elköteleződéseim és ismereteim alakulásához.⁷

Végül, de nem utolsósorban köszönet illeti a közelmúltban elhunyt Fehér Mártát, a magyar tudománytörténeti és tudományfilozófiai szakma talán legfontosabb úttörőjét, aki a doktori képzésem éveiben igyekezett lelkesedést önteni belém a tudománytörténet, és azon belül főként Kepler iránt. Sajnos akkoriban elcsábultam más témák felé, ám most, sok évvel később igazán felértékelődik mindaz, amit ő témavezetőként nyújtott. Az általa tartott órák, valamint az általa ajánlott és

⁷ Legfontosabb példaként a vele és Láng Benedekkel közösen írt könyvünket említeném: Kutrovácz-Láng-Zemplén (2008).

rendelkezésemre bocsátott szakirodalmi tételek megalapozták a szakmai szemléletemet, bevezettek a klasszikus és a kurrens kutatások legfontosabb témáiba és módszereibe, és megadták azokat az alapismereteket, amelyekre jóval később is megbízhatóan támaszkodhatok.

1 |

A KLASSZIKUS
KOZMOLÓGIAI
TÁVOLSÁGMÉRÉSEK

1.1. A KOZMOSZ MÉRHETŐSÉGE

Kozmológiai távolságmérés, avagy a továbbiakban egyszerűen kozmológiai mérés alatt olyan eljárásokat értünk, amelyek segítségével a világegyetem méretét, valamint a benne található főbb testek távolságait és nagyságát próbálják meghatározni. Ebben a fejezetben azokra a mérésekre fogunk koncentrálni, amelyeket klasszikus eszközökkel, vagyis a Földről végzett vizuális megfigyelésekkel (tipikusan szög- és távolságmérésekkel) végeztek.⁸

Mivel a földi környezetünk elemei térbeli elrendezést mutatnak, és így méretekkel és távolságokkal jellemezhetők, ezért számunkra magától értetődőnek tűnhet az igény, hogy általánosítsuk ezeket a jellemzőket és kiterjesszük a kozmosz egészére. Miért ne vethetnénk fel olyan kérdéseket, mint hogy mekkorák és milyen messze vannak tőlünk az égi objektumok? Bizonyára már az ősi kultúrák emberei is töprengtek ezeken a kérdéseken, és különböző válaszokkal álltak elő. Például a görög filozófiai hagyomány kibontakozásakor, az úgynevezett preszókratikus időszakban a milétoszi Anaximandros (Kr. e. VI. század) – a ránk hagyományozott beszámoló tanútétele szerint – úgy vélte, hogy a Föld henger alakú, és a Nap szférája 27-szerese, a Holdé 18-szorosa, a csillagoké pedig 9-szerese a

⁸ Bár ezt a fogalmat nem használja, ám a téma talán legfontosabb – noha a miénktől eltérő fókuszú és felépítésű – összefoglalását nyújtja Helden (1985), melyre gyakran fogunk hivatkozni további információk tekintetében.

Föld méretének.⁹ Ám arról sajnos nem maradt fenn semmilyen információ, hogy vajon honnan merítette ezeket a számokat,¹⁰ és a vonatkozó szöveghelyek hiányosságai és ellentmondásai miatt sokan hajlamosak ezt inkább „filozófiai” vízióknak tekinteni, semmint tudományos alapú belátásnak.¹¹

Ugyanakkor az az elképzelés, hogy a világegyetem egésze kozmikus méretekkkel jellemezhető, és ráadásul a méretek számszerűsíthetők, mégsem magától értetődő. A tudományos hagyomány előtti korokban számos megfontolás szólhatott amellett, hogy óvakodjanak a földi környezetünk viszonyainak ilyesfajta általánosításától. Egyfelől az ősi kultúrák általában kontrasztot képzeltek el a földi és az égi világ között, melyek jellemzőit ellentétbe állították – miért is lenne tehát érvényes a mérhető kiterjedtség követelménye a csillagok világában, ahol egyfajta tökéletesség uralkodik a többnyire testetlennek tűnő fénypontok között?¹² Ráadásul a csillagos égbolt látvá-

⁹ Vagy 28, 19 és 10, rendre. A forrásokért és rövid értelmezésért lásd Kirk–Raven–Schofield (2002, 205–210).

¹⁰ Az interpretációkat bemutatja Couprie (2018, 75–98).

¹¹ Jó illusztráció erre Helden (1985), amely ugyan rendkívül alapos és körültekintő forráskutatásra támaszkodó áttekintést nyújt a kozmológiai mérésekről, ám a történet felvezetésében (4) a szerző elköveti azt a figyelmetlenséget, hogy a fenti nézeteket – mindenféle forráshivatkozás nélkül – a szintén milétoszi Anaximénésznek tulajdonítja, aki egyébként (a névhasználaton túl) kortárs volt, és ugyanazon filozófiai iskola követője. Van Helden a jelek szerint nem fordít különösebb figyelmet Anaximandrosz elképzeléseire, feltehetőleg azért, mert nem társítja őket ahhoz a hagyományhoz – a kozmosz méreteire vonatkozó tudományos vizsgálatok hagyományához –, amelynek történetét feldolgozza.

¹² Jegyezzük meg, hogy Aristotelésznek, az ókortól a kora újkorig tartó filozófiai és tudományos tradíció legnagyobb szaktekintélyének *Az égboltról* írott munkája (*Περὶ οὐρανοῦ*, *De coelo*; magyarul: *Arisztotelész [2009]*) alig tartalmaz kvantitatív megfontolásokat, míg a szintén általa írt *Metafizika* beszámolója az első ismert – és a gyakorlatban is használt – geometriai kozmoszmodellről, Eudoxosz szféraelméletéről (12. [A] könyv, 8. fejezet, 1073b17–1074a14; magyarul: *Aristoteles [1936, 308–309]*) is csak a felhasznált gömbhéjak mennyiségét (és valamennyire a tengelyük irányát) közli, de nem szól sem azok nagyságáról,

nya azt az illúziót kelti, mintha annak nem volna mélysége, hiszen leginkább egy gömbnek (pontosabban félgömbnek) látszik: így tehát az a kérdés még esetleg felvethető, hogy milyen messze van ez a gömb, amennyiben alatta a meghatározott kiterjedéssel rendelkező földi világ található, ám az már nem világos, miért kellene további mértékeket, a gömbi pozícióktól eltérő jellegű távolságokat és méreteket tulajdonítani az égitesteknek.¹³ Arról nem is beszélve, hogy a fontosabb égitestek folyton mozognak egymáshoz képest, ami egy újabb ok lehet arra, hogy ne firtassuk a köztük lévő távolság kérdését, amely csak egy dinamikusabb szemléletben értelmezhető. Végezetül: van-e értelme mértéket tulajdonítani olyan kiterjedéseknek, amelyeket nem tudunk bejárni és így nem vagyunk képesek lemérni?

Történetünk kezdetét az a felismerés jelenti, hogy ezen kiterjedések és távolságok méréséhez valójában nincs szükség arra, hogy végigutazzuk az égitesteket elválasztó teret és körbesétáljuk őket. Az alábbiakban elsőként azt a módszert ismertetjük, amelyik a kozmikus távolságmérések alapjául szolgál. Ezután megvizsgáljuk a legkorábbi ismert, híres ókori méréseket (Aristarchos, Eratosthenés), majd a matematikai csillagászati hagyomány úttörőinek (Hipparchos, Ptolemaios) vonatkozó belátásait. Ezután megnézzük, milyen szerepet játszottak ezek a mérések a Copernicus utáni vitákban, különös tekintettel a Mars parallaxisának kérdésére. Végül röviden kitekintünk a távcső megjelenése utáni fejleményekre is.

sem a mozgásuk paramétereiről, sem pedig az azokat meghatározó tapasztalati megfontolásokról.

¹³ Természetesen a Nap és a Hold kiterjedtnek látszanak, így azok mégiscsak gyanakvásra adhatnak okot. Talán nem véletlen, hogy, miként látni fogjuk, az első kozmológiai mérések éppen ezen testekre irányultak.

1.2. A KOZMOLÓGIAI MÉRÉS ALAPVETŐ MÓDSZERE: A PARALLAXIS

A történeti tárgyalás előtt szükséges részletesebben tisztáznunk e mérések alapvető elvét, a parallaxis módszerét. Ez annak meghatározására szolgál, hogy milyen messze vannak a megfigyelőtől a megfigyelt égitestek. A módszer azon alapul, hogy amikor egy távoli objektumra különböző helyekről tekintünk, akkor az ezektől a helyektől az objektumig húzott egyenesek, azaz a látóirányok eltérnek egymástól.¹⁴ Ezt a jelenséget nevezzük parallaxisnak,¹⁵ valamint ugyanezzel a névvel illetjük egyrészt a látóirányok által bezárt szöveget (vagy annak a felét), másrészt az ezen a jelenségen alapuló távolságmérési módszereket.¹⁶

¹⁴ Mivel ma már számos egyéb, időnként pontosabb (pl. radaros, telemetrikus) módszert is használnak, ezért a parallaxis relatív jelentősége csökkent a Naprendszeren belüli távolságmérésekre (de nem úgy a csillagok távolsága esetén). Talán ennek köszönhető, hogy a régi szakirodalomban könnyebb pontos leírásokat találni, mint a kortársban. Magyarul szép történeti bevezetést nyújt Kövesligethy (1924, 101–108). Az alapokról lásd például Napier (1842, 760–761) vagy Barlow–Bryan (1900, 191–199 és 267–282). A módszer történetéről lásd Caswell (1859).

¹⁵ A görög παράλλαξις a παραλλάσσω igéből származik, melynek jelentése körülbelül „eltérni, váltakoztatni”.

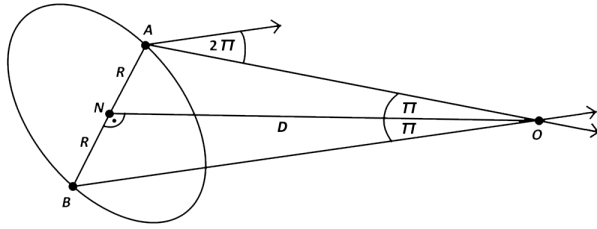
¹⁶ A modern csillagászatban – átvitt értelemben – szokásos bármilyen távolságmérési módszert parallaxisnak nevezni. Ebben az összefüggésben a parallaxis valódi, eredeti értelmét geometriai parallaxisként különböztethetjük meg. Az alábbiakban parallaxis alatt mindig geometriai parallaxist fogunk érteni, és ebben a munkában egyáltalán nem beszélünk azokról a további, nem geometriai

A parallaxis jelensége és módszere igen fontos szerepet töltött be a nyugati csillagászati hagyományban. Sőt, a tudományon kívül is: már Kepler is azt állította,¹⁷ hogy főként emiatt (meg persze biztonsági okokból) van az állatoknak két szemük, ugyanis a két szem látóirányának különbsége teszi lehetővé a látott tárgyak távolságának becslését. A parallaxismérés lehet abszolút vagy relatív: az első esetben ténylegesen az irányokat, vagyis az éggömb meghatározott pozícióit mérjük (hasonlóan ahhoz, ahogyan az agyunk az objektumra irányuló két szemtengely viszonylagos iránya alapján becslő távolságot), a másodikban viszont azt használjuk ki, hogy az objektumunk háttér előtt látszik, ugyanis ekkor a különböző helyekről nézve eltérő helyzetekben tűnik fel a háttérhez képest (példaként tekintünk egy felemelt ujjunkra, váltakozva becsukva egyik vagy másik szemünket). A „szemek” távolságát, vagyis az eltérő megfigyelési helyeket összekötő egyenest bázisvonalnak nevezzük. Minél nagyobb ez a bázisvonal, annál messzebbre „látunk” – azaz tudunk mérni a segítségével adott pozícióészlelési pontosság mellett.

A csillagászati parallaxismérések legismertebb fajtája esetén a bázisvonalat a Föld pályájának különböző pontjai feszítik ki, azaz az év eltérő időpontjaiban tekintünk ugyanarra az objektumra. Ezt éves *parallaxis*nak nevezzük (1.1. ábra). A Föld Nap körüli keringése során az égitest látszó pozíciója egy ellipszist ír le, melynek úgynevezett fél nagytengelye megegyezik a pa-

távolságmérési módszerekről, amelyeket a modern csillagászatban használnak. Összefoglalásért lásd például Marik (1989, 643–659 és 769–776).

¹⁷ A „Kiegészítések Vitelliohoz, melyek a csillagászat optikai részét tartalmazzák” (*Ad Vitellionem Paralipomena, Quibus Astronomiæ Pars Optica Traditur...*, 1604) című optikai művének a parallaxissal foglalkozó könyvében (IX/2. fejezet; lásd JKGW II, 268). A továbbiakban *A csillagászat optikai része* rövidített címmel utalunk e műre. Angol fordítása: Donahue (2000), idézett szöveghely: 321–322.



1.1. ábra: Az éves parallaxis. O a vizsgált objektum, melynek a Naptól (N) mért távolsága D . A és B a Föld két olyan, átellenes pozíciója a Nap körüli pálya mentén (amelyre itt ferdén látunk rá), melyekre fennáll, hogy az AB szakasz merőleges az NO szakaszra. R a körnek tekintett földpálya sugara, és az objektum éves parallaxisa Π . Ez egyben azt is jelenti, hogy O -ból nézve a földpálya AN sugara Π szög alatt látszik

rallaxis szögével, a fél kistengelye pedig attól függ, mekkora szöget zár be az égitest látóiránya a Föld keringési síkjával.¹⁸ Az égitest távolsága a parallaxis szögének és a földpálya mindenkorai vezérsugarának ismeretében kiszámítható.¹⁹ Ez egyben azt is jelenti, hogy a parallaxis az a szög, amely alatt a földpálya sugara látszik a kérdéses égitestről nézve (merőleges rálátás esetén).

Bár az éves parallaxis igen fontos szerepet játszott a csillagászat történetében, ebben a munkában kevesebb figyelmet fordítunk rá (1.6.2. alpont). A geocentrikus hagyományban

¹⁸ A földpálya síkja által kijelölt úgynevezett ekliptikán található objektumokra a kistengely eltűnik, az ekliptikai póluson található objektumokra megegyezik a nagytengellyel, a kettő között pedig az ekliptikai szélesség szinuszával arányos.

¹⁹ $D = R \times \text{ctg}\Pi$. Ha a Földtől mért távolságra vagyunk kíváncsiak, akkor az így adódik: $D_f = R / \sin\Pi$, ám mivel ezt a módszert leginkább az állócsillagok távolságának megállapítására szokás használni, a két távolság gyakorlatilag ugyanakkorának tekinthető. Megjegyzendő, hogy mivel a Föld pályája enyhén elliptikus, a mérés során az aktuális Nap–Föld-távolságot kell figyelembe venni.

természetesen értelmezhetetlen, hiszen nem merül fel a Föld keringése, a heliocentrikus paradigmában viszont – ahogy látni fogjuk – kettős funkcióval bír. Egyrészt a Naprendszer égitestjeinek mozgásjelenségeit magyarázza (bár mivel azok maguk is mozognak, mialatt a Föld kering, ezért ilyenkor a távolságmérés jóval összetettebb az itt ismertetett esetről), másrészt az állócsillagok távolságának meghatározására szolgál, melynek sikeres kivitelezése csak az 1830-as évektől vált lehetővé.²⁰

A – ritka kivételekkel – mozdulatlan Földet posztuláló, az ókortól a kora újkorig ívelő hagyományban a bázisvonalat a Föld kiterjedt volta biztosította. A fejezetünkben vizsgált mérések gyakorlatában ennek három formáját érdemes megkülönböztetni: a földrajzi parallaxist, a napi parallaxist és a geocentrikus parallaxist.²¹

Földrajzi parallaxis alatt azt fogjuk érteni, amikor ugyanarra az objektumra a Föld különböző, egymástól minél távolabbi pontjairól tekintünk (1.2. ábra). Ismerve a két hely távolságát (azaz a bázisvonalat) kiszámítható, milyen messze van a kérdéses égitest.²² Annak érdekében, hogy a célobjektum tényleges

²⁰ A csillagok távolságának meghatározásában betöltött szerepe miatt az egyik legfontosabb csillagászati távolságegység definíciója is az éves parallaxis módszeréhez kötődik: parszeknek (eredet: *parallaxis secundum*) nevezzük azt a távolságot, amelyre lévő objektumok parallaxisa 1". 1 parszek körülbelül 3,26 fényévnek, azaz nagyjából 31 billió ($3,1 \times 10^{13}$) kilométernek felel meg. A legközelebbi állócsillag távolsága 1,3 parszek, vagyis minden csillag parallaxisa kisebb, mint egy ívmásodperc.

²¹ A tipológia és az elnevezések csak részben követik a vonatkozó szakirodalom terminológiáját. E fogalmakat ezekkel a pontos jelentésükkel „házi használatra” vezettük be, hogy szabatosabban hivatkozhatunk egyes mérési eljárásokra. Kepler már használta az „éves” és a „napi” parallaxis megnevezéseket, lásd idézett műve IX/3–5. fejezeteit.

²² Az ábrázolt egyenlő szárú esetben, amikor a D mértékű szakasz merőleges a d mértékű szakaszra, a távolság egyszerűen $D = d / (2 \times \tan(\pi/2))$ (plusz a Föld

mozgása okozta pozícióváltozástól el tudjunk tekinteni (lásd a következő bekezdést), érdemes a két észlelést ugyanabban az időpontban végezni. Ha pedig arra törekszünk, hogy a két megfigyelőhely minél nagyobb mértékben ugyanazt az égitertületet lássa ugyanabban az időpontban, akkor érdemes a két pontunkat ugyanarra a hosszúsági körre, azaz meridiánra tenni (ami ráadásul a bázisvonal kiszámítását is megkönnyíti). Kepler, kapcsolódva korábban említett gondolatához, úgy magyarázza ezt a módszert,²³ mintha a két hely valakinek a szemeit jelentené: az egyik Európában helyezkedik el, a másik „Afrika legtávolabbi szegletén” (ma Fokváros).²⁴ E mérésfajta egyik leghíresebb változata a Brahe-féle távolságbecslési kísérlet az 1577-es nagy üstökösre (lásd később).

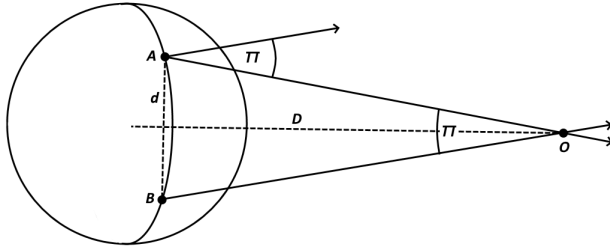
Hasonló elven működik az a parallaxismérés, amelyik a két észlelőhely közti távolságot a Föld forgásával biztosítja, vagyis az észlelő a Föld felszínének ugyanazon a pontján marad, míg bolygónk forgása gondoskodik a célobjektumhoz képesti elmozdulásról (1.3. ábra).²⁵ Ezt – a napi körülfordulás ciklusára

sugaránál kisebb, a magasságvonalat a Föld középpontjáig kiegészítő szakasz, melyet többnyire elhanyagolhatunk). Az észlelőhelyek közti d távolságot a földrajzi helyek koordinátáiból és a Föld sugarából számoljuk ki gömbi geometria és trigonometria segítségével. Mivel a képletben a Π szög fele szerepel, gyakran ezt szokás parallaxisnak nevezni, mint például az éves parallaxis esetében láthattuk (ahol azt jelölte, hogy mekkora szög alatt látszik az objektumból nézve a földpálya sugara – és nem pedig az átmérője – merőleges rálátás esetén).

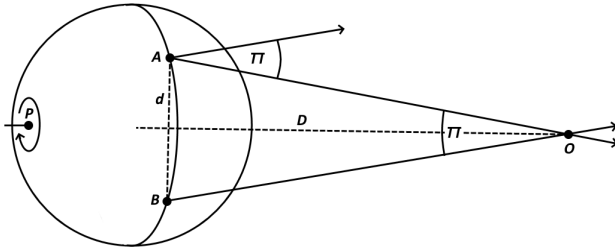
²³ *A csillagászat optikai része*, IX/3. fejezet (JKGW II, 270).

²⁴ Kövesligethy (1924, 104) ennek a metaforának egy későbbi előfordulásához megjegyzi, hogy a Fokvárosi Csillagvizsgálót főként a Hold pontos távolságának megállapítására alapították a britek az 1830-as években. Tegyük hozzá, hogy az intézmény földrajzi hosszúsága (18° 28') alapján Budapest (vagy még inkább Székesfehérvár) ideálisabb észlelőhelypár lehetne a számára, mint Greenwich. A Fokvárosi Csillagvizsgáló hamar szerepet játszott a csillagok éves parallaxisának meghatározásában is (lásd az 1.6.2. alpontunkat), bár más okból.

²⁵ Így a megfigyelőhelyek távolságát egyszerűen órával, az elfordulás időtartamának mérésével határozhatjuk meg, a földrajzi szélesség (és a Föld méretének)



1.2. ábra: A földrajzi parallaxis. A és B két különböző észlelőhely a Földön, melyek távolsága (az őket összekötő egyenes szakasz mentén, nem pedig a gömb felszínén) d . O a vizsgált objektum, melynek a Földtől mért távolsága D , és földrajzi parallaxisa A és B viszonylatában π (vagy $\pi/2$). Ez egyben azt is jelenti, hogy O -ból nézve az AB szakasz (vagy annak fele) π szög alatt látszik. Megjegyzendő, hogy az itt ábrázolt ideális esetben az ABO háromszög egyenlő szárú, a valóságban azonban ritkán az



1.3. ábra: A napi parallaxis. Az előző ábrához képesti eltérés, hogy a Föld a P póluson átmenő tengely körül forog (esetünkben a déli pólus látható), így A és B ugyanazon mozdulatlan megfigyelő két eltérő időpontban vett pozícióit jelenti

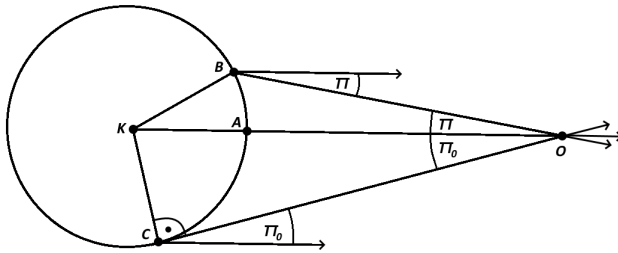
ismeretében. Világos, hogy a bázisvonal maximális mérete földrajzi szélességgel változik és az egyenlítői megfigyelő számára a legnagyobb.

utalva – *napi parallaxis*nak szokás nevezni. A módszer előnye a földrajzi parallaxissal szemben, hogy nem kell távoli helyekre utazni a kivitelezéséhez, valamint hogy ugyanazzal a műszerrel ugyanaz az észlelő végezheti a mérést, ami csökkenti a hibalehetőséget. Hátránya, hogy a két mérés között idő telik el (maximum egy éjszaka), és ha a vizsgált objektum egyébként is mozog a csillagokhoz képest – márpedig a Naprendszer objektumai mind ezt teszik –, akkor nem a parallaktikus effektus mérhető közvetlenül, hanem a parallaktikus és a valódi elmozdulás eredője. Ez utóbbit vagy a csillagászati elméletek alapján lehet kiszámítani (ha azok eléggé pontosak), vagy több napos mozgás mértékéből visszaosztani (amennyiben a mozgás nagyjából egyenletes).

Vegyük észre, hogy bár mi a Föld forgásáról beszéltünk a fentiekben, ám a napi parallaxis jelensége olyan paradigmában is értelmezhető, amelyik tagadja a Föld mozgását: ekkor úgy képzeljük, hogy nem a megfigyelő mozdul el az objektumhoz képest, hanem az égbolt forgása mozgatja az égitestet, és ez okozza a perspektívaváltást.²⁶ Sőt, valójában ebben a keretben értelmezhető a legkönnyebben, ugyanis a heliocentrikus elméletben felmerül az a probléma, hogy a földi megfigyelőnek a Nap körüli keringéséből adódó elmozdulása jóval nagyobb, mint a Föld forgásából következő mozgása, így ez a mérés csak akkor kivitelezhető, ha függetlenül és pontosan ismerjük az objektum geocentrikus (vagyis a Föld középpontjához képesti) mozgását, amely a megfigyelt égitest és a Föld kölcsönös mozgásának eredője. Ez a nehézség egyedül a Holdra nem lép fel, hiszen az a Föld körül kering, azzal együtt mozogva a Nap

²⁶ Egyszerűen képzeljük el, hogy az 1.3. ábrán nem a Föld forog, hanem az O objektum kering körülötte: világos, hogy mindez nem befolyásolja a módszer alapjául szolgáló geometriai konfigurációt.

körül, így a napi parallaxis módszere a Hold távolságának mérésére a legkényelmesebb.



1.4. ábra: A geocentrikus és a horizontális parallaxis. π szög a B pontból mért geocentrikus parallaxis, ahol A rajta van a vizsgált O objektumot és a Föld K középpontját összekötő egyenesen. Ha C -ből nézve O éppen a horizonton látszik, akkor az ott tapasztalt π_0 szög a horizontális parallaxis

A harmadik fajta parallaxist – amely az eddigiek elméleti absztrakciója – úgy határozzuk meg, mint egy égitest valódi és mért látszó pozícióinak különbségét (1.4. ábra). Másképpen ez azt jelenti, hogy mennyivel látjuk az égitestet más irányban a földfelszín egy adott pontjáról, mint amilyen irányban a Föld középpontjából látnánk. Ezért ezt *geocentrikus parallaxis*nak nevezzük.²⁷ A középpontból (az ábrán K) meghatározott irányt helyettesíthetjük egy olyan megfigyelő látóirányával, aki számára az objektum éppen a zeniten található (az ábrán A), hiszen ő rajta van az égitestet és a Föld centrumát összekötő egyenesen, így számára nem jelentkezik ez a fajta parallaxis. Ezért a geocentrikus parallaxis maximuma az a szög, amelyet a zeniten látott égitest látóiránya és a horizonton (az ábrán C

²⁷ Szintén elterjedt a magassági parallaxis elnevezés, ugyanis a jelenség a látszó pozíció zenittávolságának, vagyis a horizont feletti magasságának torzulását okozza. (Ám az erre merőleges úgynevezett azimutban nem jelentkezik.)

pontból) látott ugyanazon égitest látóiránya bezár. Ezt a maximális szöget horizontális parallaxisnak nevezzük. Másképpen szólva ez azt a szöget jelenti, amely alatt a Föld sugara látszik a kérdéses objektumról tekintve merőleges rálátás esetén. Ez immár független a földrajzi parallaxis megfigyelési helyeinek távolságától (amely ebben az esetben fixen a Föld sugara²⁸) vagy a napi parallaxis észlelési időinek eltérésétől, így alkalmas arra, hogy önmagában jelezze egy objektum Földtől mért távolságát.²⁹ Amennyiben a továbbiakban valamely égitest parallaxisáról megszorítás nélkül, konkrét adattal kifejezve fogunk beszélni (például „a Nap parallaxisa”), úgy ez alatt mindig a horizontális parallaxist kell érteni, a történetileg elterjedt szóhasználattal összhangban.

A horizontális parallaxis fogalmi meghatározása és kiszámítása egyszerűbb és elegánsabb, mint a másik két parallaxisfajtaé. Ráadásul vegyük észre, hogy itt nem egy rejtett földrajzi parallaxisról van szó, hiszen nem kell elutaznunk az 1.4. ábrán jelölt A pontra ahhoz, hogy ott mérést végezzünk – ugyanis definíció szerint A az a pont, ahonnan az objektum éppen a zeniten látszik. Elviekben csakis a C ponton kell mérnünk, még hozzá a valódi és a látszó pozíció közti eltérést. Csakhogy ezt a mérést is számos gyakorlati nehézség terheli.

Az első probléma abban áll, hogy a valódi geocentrikus pozíció többnyire megfigyelhetetlen, hacsak nem abban a ki-

²⁸ A Föld alakjának gömbtől való eltérése, avagy a Föld sugarának irány szerinti változékonysága elég kicsi ahhoz, hogy az általunk vizsgált korszakokban ne jelentsen problémát, így eltekinthetünk tőle. Ezt az eltérést a XVIII. században sikerült kimérni. Arról, hogy a Föld szferoid alakja hogyan befolyásolja a parallaxismérések elvét és matematikáját, lásd részletesen Brünnow (1865, 139–154).

²⁹ $D = R/\sin\pi_p$, ahol R a Föld sugara. Mivel ilyen kis szögekre érvényes, hogy a szög szinusza gyakorlatilag megegyezik magával a szöggel, így fennáll, hogy a horizontális parallaxis igen jó közelítésben a Föld sugarának és az égitest távolságának arányaként adódik.

vételes helyzetben vagyunk, hogy a vizsgált objektum látszó pályája áthalad a zeniten. Ez azonban sohasem történik meg a kérdéses égitestekkel (melyek a Nap, a Hold és a Naprendszer bolygói), legalábbis a mérsékelt égövőről, vagyis a nyugati csillagászati hagyomány művelésének teret adó földrajzi régiókból tekintve. Ezért indirekt módon kell megbecsülnünk a valódi pozíciót, amit – csakúgy, mint napi parallaxis méréséhez szükséges valódi elmozdulás esetén – kétféleképpen tehetünk meg. Az egyik lehetőség, hogy az égitest mozgását leíró aktuális modellekhez fordulunk. Csakhogy az általunk vizsgált történeti korokban használt modellek pontatlansága többnyire megközelíti, sőt tipikusan meghaladhatja a parallaxis mértékét, így a mérés könnyen megbízhatatlanná válhat. A másik lehetőség, hogy hosszabb távon (több évszázán át) követjük az objektum mozgását, és amennyiben a haladása egyenletesnek tekinthető, akkor ez alapján kiszámíthatjuk a valódi, vagyis az aktuális parallaxis által nem torzított pozíciót.

A másik probléma a horizonton – értsd: a horizont közelében – történő pozícióészlelésből származik, ugyanis itt már jelentős hatást fejt ki a légköri refrakció, azaz fénytörés, amely szintén befolyásolja a látszó pozíciót. Ez a tényező komoly szerepet játszott a csillagászati mérések kora újkori történetében, hiszen amíg nem állt rendelkezésre megbízható módszer a refrakció kiszámítására, addig a parallaxismérések bizonytalanok maradtak.³⁰ A két effektus egyébként ellentétes irányú: míg a parallaxis közelíti az objektum képét a horizont-hoz, addig a refrakció távolítja tőle. Az érzékeltetés kedvéért: a refrakció mértéke a látóhatárt érintő bármely égitestre $0,5^\circ$

³⁰ Ahogy később látni fogjuk, a probléma csillagászati relevanciáját leginkább Tycho Brahe tudatosította. Általános összefoglalásért lásd Lehn–Werf (2005).

körüli érték. A Hold parallaxisa ugyanitt durván 1° , ám a bolygóké és a Napé legalább két nagyságrenddel kisebb ($< 0,5'$).³¹

Végül, problémát okoz az is, hogy a módszer egy abszolút pozíció mérését követeli meg, amely jóval pontatlanabb a relatív mérésnél. Ugyanis a földrajzi és a napi parallaxis esetén a mért elmozdulás nagy pontossággal megállapítható a referenciacsillagokhoz képest, anélkül, hogy azok pontos koordinátáit ismerni kellene.³² Mivel a horizontális parallaxisnál csak egyetlen mérést végzünk, itt abszolút pozíciót kell vizsgálni (pl. zenittávolság). Persze megadhatjuk a vizsgált égitest helyzetét egy állócsillaghoz viszonyítva, ám ennek pontossága a referenciacsillag koordinátáinak pontosságán múlik, és az kisebb (a távcső előtti korszakban), mint a közvetlenül mérhető különbségek.³³ Ráadásul ha relatív méréseket végzünk, akkor nem kell számolnunk a refrakcióval sem, mivel az a referenciacsillagokat ugyanúgy érinti, mint a célobjektumot.³⁴

Már ezen rövid összefoglalás alapján is érzékelhető, hogy a csillagászati parallaxismérés minden fajtája számos nehézséggel terhelt a gyakorlatban. A fenti lehetőségek közti választást mindenkor a konkrét probléma sajátos természetéhez érdemes igazítani, mint ahogy a történeti szereplők is tették.

³¹ Tegyük hozzá, hogy ugyan a horizonti pozícióra vonatkozó kitétel a definíció része, ám a gyakorlatban ez megkerülhető, hiszen a horizontális parallaxis kiszámítható az égitest tetszőleges magasságban mért helyzetéből is: adott Z zenittávolság esetén a parallaxis értéke $\Pi = \Pi_0 \times \sin Z$. (Lásd: szinusz-tétel a KBO háromszögre, valamint kis szögekre $\sin \Pi \approx \Pi$.) Tehát az érték 0° (zenit) és Π_0 (horizont) között változik a magasság függvényében. Viszont ahogy távolodunk a horizonttól és mérséklődik a refrakció, úgy csökken a parallaxis mértéke és vele nő a relatív mérési hiba.

³² Lásd például Mästlin azon – távcső előtti – észlelési technikáját, amely egy fonál segítségével a környező csillagokhoz viszonyította az objektumot: *VBSZ*, 108.

³³ Hiszen maga is relatív mérések sorozatával lett megállapítva.

³⁴ A relatív mérések előnyei nem használhatók a Nap parallaxisának mérésénél, mivel a ragyogása mellett nem láthatók a referenciacsillagok. Másfelől látni fogjuk, hogy az állócsillagok éves parallaxisának kimérésére tett kísérleteknél a relatív mérések voltak a pontosabbak és egyben népszerűbbek.

1.3. KOZMOLÓGIAI MÉRÉSEK AZ ÓKORBAN

1.3.1. Korai kozmológiai mérések és rendszerek

A legkorábbi, valamekkora részletességgel ismert mérések a hellenisztikus korszakból, a Kr. e. III. századból származnak, és ezek komoly visszhangra találtak a későbbi tudományos munkákban. Kiindulásként közülük a két leghíresebbel, Aristarchos méréssorozatával és Eratosthenés gondolatmenetével foglalkozunk. Bár ezek nem kifejezetten parallaxismérések a fent kifejtett technikai értelemben, de mégiscsak a parallaxis jelenségén alapulnak, és ezektől inspirálva indult a parallaxisméréseket alkalmazó hagyomány.

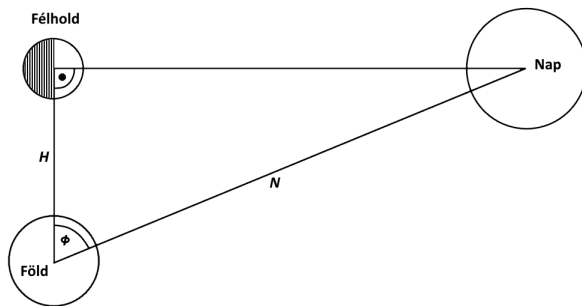
Számoszi Aristarchos (Kr. e. c. 310 – c. 230) egyetlen fennmaradt műve hamar a kozmikus távolságmérési hagyomány klasszikusává vált, és sokáig nagy népszerűségnek örvendett az európai csillagászok körében is.³⁵ Ebben a szerző a két legfényesebb égitest Földtől mért távolságát és nagyságát határozza meg. A mérések tisztán geometriai jellegűek, így függetlenek attól, hogy milyen feltételezéssel élünk a kozmikus testek mozgásrendszeréről.³⁶

A méréssorozat első eleme a holdfelezés vagy dichotómia módszere, amely a Hold és a Nap Földtől mért távolságai-

³⁵ [A Nap és a Hold] méretéről és távolságáról (Περὶ μεγεθῶν καὶ ἀποστημάτων [ἡλίου καὶ σελήνης]), lásd az alábbi görög és angol kétnyelvű kiadást: Heath (1913, 351–411).

³⁶ Erre a kérdésre bővebben visszatérünk e fejezet végén.

nak arányát számolja ki annak segítségével, hogy pontosan félholdkor megméri a Nap és a Hold látóirányai által bezárt szöget (1.5. ábra).³⁷ Feltételezve, hogy a (gömb alakú) Holdat a Nap világítja meg oly módon, hogy a megvilágított rész a Hold felszínének gyakorlatilag éppen a felét adja ki, és felismerve, hogy félholdkor a Nap–Hold–Föld szög derékszög, a Nap és a Hold látóirányai közti szöget megmérve az – elhanyagolhatóan kicsinek tekintett – Földről a kérdéses távolságarány egyszerűen meghatározható, legalábbis a mai trigonometriai eszköztár segítségével.³⁸ Aristarchos szerint a kérdéses szög



1.5. ábra: A holdfelfezés módszere. Félholdkor a Holdat a Nappal és a Földdel összekötő egyenesek derékszöget zárnak be, ezért $H/N = \cos\Phi$, ahol H a Hold távolsága a Földtől, N a Nap távolsága a Földtől, és Φ a Hold és a Nap látóirányai által bezárt geocentrikus szög. Ha a Föld kicsi a kérdéses távolságokhoz képest, akkor Φ igen közel lesz a két égitest földfelszíni szemlélő számára adódó szögtávolságához

³⁷ A mű 7. tétele, lásd Heath (1913, 376–381). Kötetünk 2. fejezete igen behatóan – az általunk ismert szakirodalom viszonylatában a legnagyobb részletességgel – vizsgálja meg ezt a mérést, így itt csak a rövid összefoglalásra hagyatkozunk.

³⁸ Aristarchos korában a trigonometria még semmilyen formában nem létezett, ám a szögfüggvény használatát kiváltotta egy geometriai megfontolásokon alapuló kalkulációval.

87°, következésképpen a Nap legalább 18-szor, de legfeljebb 20-szor olyan messze van a Földtől, mint a Hold.

Ez a mérés elviekben hibátlan, a számítás is pontos, és az előfeltevések is (jó közelítéssel) elfogadhatók, ám az eredménye korántsem az. A kérdéses szögnek ugyanis nem 87°-nak, hanem 89° 51'-nek kellene lennie, és bár e három foknál kisebb mérési hiba nem tűnik nagynak, ám óriási torzítást okoz az eredményben, hiszen a Nap nem körülbelül hússzor, hanem nagyjából négyszázszor messzebb van a Holdnál. A hatalmas hiba oka az, hogy az ötletes gondolatmenet mérési módszerként aligha használható,³⁹ ugyanis – ebben a tartományban, 90° közelében⁴⁰ – a végeredmény rendkívül érzékeny már a legapróbb mérési hibára is. Ráadásul a félhold időpontja csak igen pontatlanul állapítható meg szabad szemmel, márpedig a Hold pozíciója (s vele a mérendő szög) mintegy fél fokot változik egy óra alatt. Így aztán legfeljebb arra a kozmológiai tekintetben jelentős, ám pusztán kvalitatív belátásra juthatunk e mérés által, hogy a Nap jóval messzebb van a Holdnál, annak ellenére, hogy a Földről nézve ugyanakkorának látszanak.

Aristarchos másik híres mérése az úgynevezett fogyatkozási ábrához kapcsolódik (1.6. ábra).⁴¹ Ehhez használjuk fel a dichotómia eredményének átfogalmazását: ha a Nap hússzor olyan messze van, mint a Hold, de ugyanakkorának látszik (lásd a teljes napfogyatkozásokat, amikor is a Hold éppen kitakarja

³⁹ A 2. fejezetünkön túl a problémát (rövidebben) összefoglalja Kutrovátz (2020a). Ahogy a későbbiekben látni fogjuk, az eljárást – modern mérési és informatikai eszközök bevetésével – újragondolta Momeni *et al.* (2017), ám még ők sem tudtak 10%-os hibánál pontosabb eredményt elérni.

⁴⁰ Ha a Nap nem lenne sokkal messzebb a Holdnál, hanem a távolságaik hasonlóak lennének, akkor a mérés sokkal pontosabb eredményre vezethetne, ugyanis az (impliciten) felhasznált szekáns függvény éppen a 90°-hoz közelítve aszimptotikusan tart a végtelenbe.

⁴¹ 13–15. tétel; lásd Heath (1913, 392–409).