EGY ÓKORI CSILLAGÁSZATI MÉRÉS ANATÓMIÁJA

Arisztarkhosz holdfelezése

A régi csillagászat történetének összefoglalásaiban gyakran találkozhatunk az ókor egyik leghíresebb csillagászati mérésével, a szamoszi Arisztarkhosz (Kr. e. ~310–~230) nevéhez kötődő ún. holdfelezéssel vagy – görög nevén – dichotómiával. Az „egyszerű, de nagyszerű" mérést Arisztarkhosz egyetlen fennmaradt műve*, A Nap és a Hold méretéről és távolságáról* című munka ismereti, és célja annak megállapítása, hogy milyen arányban áll egymással a Nap és a Hold Földtől mért távolsága egy adott időpontban.

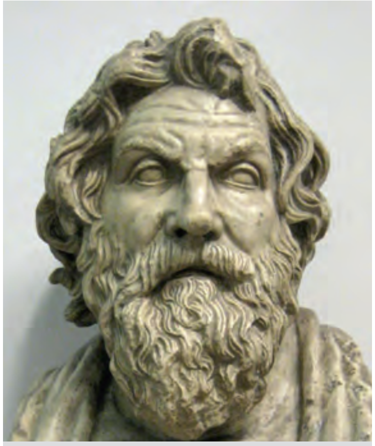
Ennek megválaszolásához egy speciális elrendezést, a félholdkor tapasztalhatót kell választanunk — innen a módszer elnevezése —, függetlenül attól, hogy növekvő félholdról (első negyed) vagy csökkenőről (harmadik negyed) van szó. Ekkor ugyanis a Hold világos és sötét feleit elválasztó sík éppen a megfigyelő, azaz a Föld felé mutat, így a Holdat és a Napot összekötő egyenes derékszöget zár be a Holdat és a Földet összekötő egyenessel (**1. ábra**). Ilyenkor fennáll, hogy $H/N = \cos(\Phi)$, ahol H a Hold távolsága a Földtől, N a Nap távolsága a Földtől, és Φ a Hold és a Nap látóirányai által bezárt szög (más szóval a Hold elongációja). Így a Φ szög megmérése után a két égitest távolságainak aránya közvetlenül adódik.

A felhasznált gondolatmenet egyszerűsége megdöbbentő annak fényében, hogy milyen komoly belátáshoz vezet a kozmosz arányai kapcsán. A kapott eredmény azonnal és szükségszerűen következik a helyzet geometriájából, függetlenül a kozmológiai előfeltevésektől — így például attól, hogy vajon a mozdulatlan Földet gondoljuk-e el a többi égitest mozgásainak középpontjába (miként a görögök többsége tette), avagy a Napot helyezzük a Föld keringésének centrumába (miként Arisztarkhosz tette egy másik művében a beszámolók szerint).

Ugyanakkor tegyük hozzá, hogy a fenti eljárás sem teljesen mentes a feltételezésektől. Például azon a hipotézisen alapszik, hogy a Hold világos és sötét oldalai gyakorlatilag egyforma nagyok, vagyis a Holdat megvilágító napsugarak párhuzamosnak tekinthetők — amit egyébként az eredeti levezetés ki is mond és bizonyít (a mű 4. tételében). Másrészről elhallgatja azt, hogy a távolságokat és a kérdéses szöget nem a Föld középpontjából, hanem felszínének egy pontjából (a megfigyelőtől) méri, mert az ebből adódó eltérést nem gondolja számottevőnek. Ez utóbbi feltevés csak akkor fogadható el, ha az égitestek mérete elhanyagolható a köztük levő távolságokhoz képest, és ahogy a későbbiekben látni fogjuk, ez a Hold esetén már problémás előfeltevés.

A mérésről szóló összefoglalások azt is meg szokták jegyezni, hogy bár az alapötlet kitűnő, ám az Arisztarkhosz által kapott eredmény csak „minőségileg" jó, de „mennyiségileg" nem. Ő ugyanis azt kapta, hogy a Nap szűken hússzor olyan messze van, mint a Hold, miközben a helyes adat megközelítőleg négyszáz. Kiegészítésként jegyezzük meg a pontosabb adatokat: Arisztarkhosz szerint $18 < N/H < 20$, ahol a szélső értékek a közelítő számítási eljárásból származnak, míg a valódi adat 363 és 419 között változik az aktuális távolságok függvényében — közepes távolságokkal számolva 389.

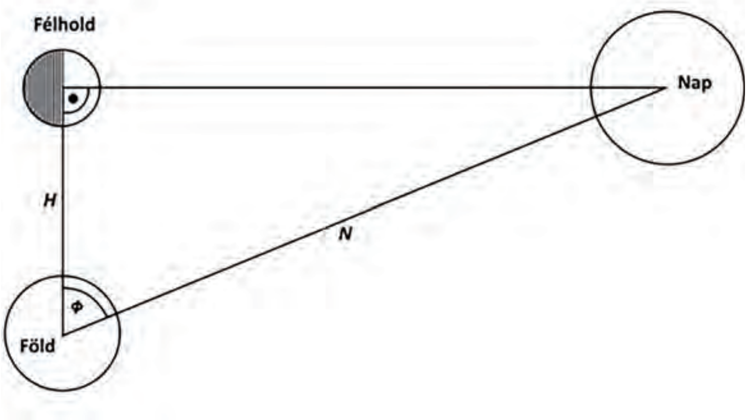
Először is szögezzük le, hogy a meglepően nagy hiba nem Arisztarkhosz számításaiból adódik. Bár ő még nem ismerte a koszinuszfüggvényt, sőt semmilyen trigonometrikus függvényt sem — valójában ezt a számítását szokás az egyik legkorábbról fennmaradt szögfüggvénybecslésnek is tekinteni —, a helyettesítő geometriai levezetés pontos és hibátlan (lásd az eredeti mű 7. állításának bizonyítását). Ezt persze el is várhatjuk Arkhimédész (Kr. e. ~287 — ~212) és Apollóniosz (Kr. e. ~262 — 190) kortársától, akik a geometria utolérhetetlen mestereiként az ókor legragyogóbb matematikai munkáit szerezték.



Arisztarkhosz

Az óriási hiba az alábbi kiinduló adatból származik. Arisztarkhosz megállapítja (ez a mű 4. hipotézise), hogy a mérendő elongáció, azaz félholdkor a Nap és a Hold látóirányai által bezárt szög 87°. Ismét csak az érdekesség kedvéért jegyezzük meg, hogy ő még nem használja a későbbi görögség által bevezetett fokokat, azaz a teljes kör 360 egységre történő osztását, hanem a kor matematikusaival összhangban a derékszöget tekinti a szögek mértékének, és ezért úgy fogalmaz, hogy a mért szög a derékszög egyharmincad részével kisebb a derékszögnél. Ennek persze nincs jelentősége, hiszen látható, hogy 90° — 90°/30 = 87°. Ez az adat viszont téves, ugyanis a kérdéses szög, amelyet Arisztarkhosznak kapnia kellett volna félholdkor, 89° 51′ 10″. Lehetséges szélsőértékei az égitestek távolságainak változásai miatt 89° 50′ 31″ és 89° 51′ 48″, és mivel nem tudjuk, Arisztarkhosz mikor végezte a mérést, azt sem tudjuk, pontosan mit kellett volna kapnia — ám ez teljesen érdektelen, hiszen láthatjuk, hogy a mért érték messze kívül esik a valódi értékek lehetséges tartományán.

1. ábra. A „dichotómia" geometriai elrendezése. Magyarázatért lásd a szöveget.

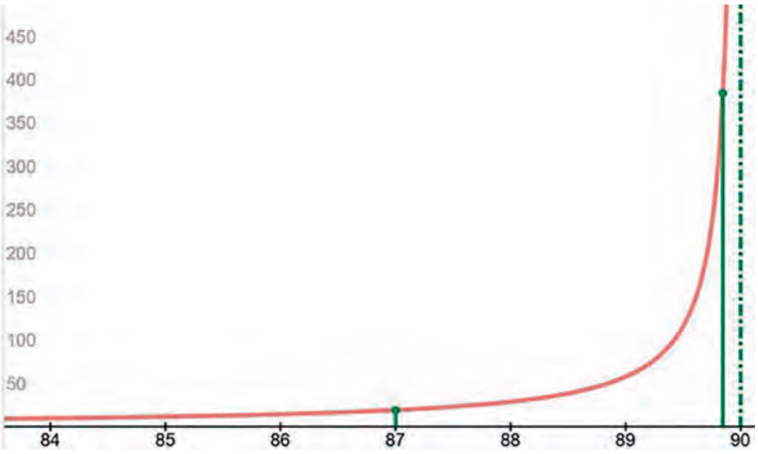


Hogy ez a mérési hiba kicsinek vagy nagynak tekinthető-e, arra nincs egyértelmű válasz. A korabeli görög csillagászati gyakorlat elsősorban matematikai elméletek alkotásában jeleskedett, és a mérések jelentősége viszonylag háttérbe szorult. A pontos észleléseken és azok matematikai kezelésén alapuló tradíció jó száz évvel későbbről, Hipparkhosz (Kr. e. ~190—~120) idejéről eredeztethető. Arisztarkhosz mérési hibája szűk 3°, ami persze nem kevés — égi hasonlattal: ez a telihold átmérőjének hatszorosa; földi hasonlattal: ilyen szögben látszik egy 170 centiméter magas ember körülbelül 32 méter távolságból —, ám tekintve a „mérési rutin" imént említett hiányát, valamint az alább tárgyalandó szögmérési problémákat, a hiba önmagában nem tekinthető ordítóan nagynak.

Az viszont egyértelmű, hogy egy ekkora mérési hiba hatalmas torzulást okoz a kapott eredményben. Ez pedig annak köszönhető, hogy bármennyire is egyszerű és ötletes a dichotómia gondolatmenete, mérési eljárásként gyakorlatilag használhatatlan. A továbbiakban azt szeretnénk megmutatni, hogy ez miért van így.

A mérés alapelve

A probléma veleje az, hogy az eljárás rendkívül érzékeny már kis mérési hibára is. Ugyanis ha az N/H arányt keressük, akkor az eredményt a koszinuszfüggvény reciprokának, más szóval a szekáns függvénynek az értéke adja meg, amely — a függvény meredekségével együtt — 90°-hoz aszimptotikusan tartva egyaránt elszáll a végtelenbe (**2. ábra**). Például ha csak 1 ívpercnyi hibát ejtünk a mérésben — ami nagyjából a szabadszemes észlelés elvi minimális hibahatára, függetlenül a mérőműszertől —, akkor a keresett 389-es érték helyett 344-et vagy 430-at fogunk kapni, vagyis több mint 10% tévedésben leszünk! Ha pedig 10 ívpercet tévedünk lefelé (89° 41′) — ami még Kopernikusz (1473—1543) idejében is jó mérésnek számított —, akkor N/H-ra 181-et kapunk — ez a valódi érték kevesebb, mint fele. Felfelé pedig nem is tudunk 10′-et tévedni, mert az már több mint 90°, így a mérési elrendezésünk mellett ez az érték értelmezhetetlen. (A részletekért lásd az **3. ábrát**.) Gondoljunk csak bele, hogy Arisztarkhosz vajon ugyanúgy elfogadta volna-e mérésének eredményét, ha mondjuk a másik irányban téved ugyanakkorát, és 93°-ot kap?



2. ábra. 1/cos(Φ) értéke, ahogy Φ közelít 90°-hoz. A függőleges tengelyen a Nap és a Hold távolságának aránya (N/H) látható. Feltüntettük Arisztarkhosz mérési eredményét (87°) és a valódi értéket (89° 51′).
(Forrás: Desmos Graphing Calculator)

Vegyük észre azt is, hogy a keresett érték jó közelítésben arányos a mért szög derékszögtől való eltérésével. Arisztarkhosz mérésének eredménye 3°-kal tér el a derékszögtől, míg a valódi érték 9′-cel. A 3°, azaz 180′ éppen hússzorosa a 9′-nek, és ez a szorzó jelentkezik a végeredmény hibájaként, hiszen a mérés alapján kapott arány a valódi érték huszadrésze (389/19 = 20,47). Ezzel egyben visszaellenőriztük azt is, hogy magában az arisztarkhoszi számításban nincs hiba.

A mérés pontatlansága alapvetően két főbb tényezőtől függ: az elsőhöz tartoznak a félhold időpontjának megállapításában rejlő problémák, a másodikhoz pedig a szögmérés nehézségei. Először vegyük szemügyre az első problémakört részletesebben!

A félhold időpontjának megállapítása

A félhold időpontjának megállapítása azért kényes kérdés, mert a Hold ún. szinodikus — azaz a Naphoz viszonyított — mozgása igen gyors: óránként mintegy fél fok. (Lásd: ha durván 30 napos egy fázishónap, akkor a Hold naponta, azaz 24 óra alatt 360/30 = 12°-ot halad a Naphoz képest.) Ez azt jelenti, hogy Arisztarkhosz mérési hibája mintegy 6 órányi tévedésnek felel meg, vagyis ha feltesszük, hogy a szöget pontosan mérte, akkor ennyivel tévesztette el a félhold tényleges időpontját. Ez pedig nem tűnik soknak annak a hétköznapi tapasztalatnak a fényében, hogy a telihold időpontját még napnyi pontossággal sem könnyű megállapítani, ugyanis gyakran van az a benyomásunk, hogy éppen teliholdat látunk, csak hogy a következő éjjel ugyanez a benyomásunk támadjon… Azért azt tegyük hozzá, hogy a félhold időpontjának felismerése annyiban könnyebb a teliholdénál, hogy félholdkor tűnik a leggyorsabban mozogni az ún. terminátor, vagyis a Hold világos és sötét felét elválasztó vonal, ugyanis ekkor a látóirányunkra merőlegesen mozdul el, míg teliholdkor a valódi elmozdulása megegyezik a látóiránnyal, így az arra merőleges (azaz megfigyelhető) komponense eltűnik. Ám a kérdéses mozgás sebessége ekkor is csak bő 3′ naponta, így a terminátornak az adott 6 óra alatti elmozdulása (0,8′) a szabadszemes észlelés pontosságának határa alatt marad.

Az érzékeltetés kedvéért tekintsük a **4. ábrát**! Aligha vagyunk képesek kivenni a különbséget a valódi félhold és az Arisztarkhosz által észlelt helyzet között! Fontos megjegyezni, hogy a terminátor nem egy éles vonal (a holdfelszín egyenetlensége miatt), tehát nem könnyű kivennünk, mikor látszik „egyenesnek”. Ráadásul szabadszemmel a holdkorong kisebbnek látszik, mint az itteni ábrán, és jóval kevesebb részlet vehető ki rajta. Tovább nehezíti a helyzetünket, hogy a mérésnek csak akkor van értelme, amikor a Nap is a horizont felett található, vagyis nappal van — ekkor pedig a látott kép még az itt ábrázoltnál is kevésbé kontrasztosnak és elmosódottabbnak tűnik.

Itt kell megemlítenünk egy újabb bonyodalmat: a félhold időpontját csak akkor tudjuk szabadszemmel megállapítani, ha a Hold ekkor éppen a horizont felett található, ami átlagosan minden második félhold esetén következik be. Azonban a mérést csak akkor tudjuk elvégezni, ha ugyanakkor a Nap is a horizont felett áll, és e két feltétel átlagban minden negyedik félholdra érvényes — természetesen felhőtlen égboltot feltételezve. Mivel nem tudhatjuk előre pontosan, mikor fog bekövetkezni a félhold (lásd alább), ezért minden lehetséges, a félholdhoz közelítő fázist alaposan meg kell figyelnünk. Ha türelmetlenek vagyunk, olyankor is hajlamosak lehetünk a mérést elvégezni, amikor a félhold nem tűnik éppen tökéletesnek, ám a két égitest legalább egyszerre megfigyelhető…

Az óvatlan olvasó itt azt az ellenvetést teheti, hogy mindez elkerülhető, ha a félhold időpontját nem szabadszemmel, hanem egy holdfázis-táblázat segítségével állapítjuk meg. Ha ugyanis kitartóan feljegyezzük a teliholdak és újholdak időpontjait, akkor a hosszú adatsorból a ciklusok számával leosztva pontosan megkaphatjuk a holdciklus hosszát, majd ebből megállapíthatjuk a félhold időpontját félúton a telihold és az újhold között. Ez a gondolatmenet azonban több sebből is vérzik. Egyrészt nincs tudomásunk arról, hogy az Arisztarkhosz-korabeli görögség pontos holdtáblázatokkal rendelkezett volna, hiszen ahogy említettük, az észlelés alapú csillagászat ekkor még kevésbé volt előtérben. Ám még ha rendelkeztek is volna ilyen táblázatokkal, azt is nyilván láthatták volna — mint például a már említett Hipparkhosz nemsokára pontosan látta —, hogy a Hold égi mozgásának sebessége igencsak szabálytalan az egyenletes körmozgáséhoz képest (±12%-kal változik az átlagos sebességéhez viszonyítva), így az ún. kvadratúrák vagy negyedállások (azaz a Napra merőleges helyzetek) időpontjai nem a „szizigiumok" (újhold és telihold) közti időbeli felezőpontokon helyezkednek el, hanem abból jelentősen kimozdítva. És ami a legfontosabb: még ha egyenletes körmozgással is haladna a Hold, akkor sem a negyedállások időpontjait keresnénk, hiszen azok éppen a 90°-os elongációhoz tartoznak, hanem a félholdak időpontjait, ahol a mérés eredménye pontosan a negyedállás és a félhold apró eltérésének mértékével arányos. Ezért a régi táblázatok nem segíthetnek bennünket, vagyis marad a szabadszemes becslés.

A szögmérés és problémái

Rátérve a szögmérés problémáira fontos megjegyezni, hogy csak találgathatunk arról, milyen eszközt használhatott Arisztarkhosz. Míg a későbbi Ptolemaiosz (Kr. u. ~100 — ~170) a csillagászatról írott nagy matematikai összefoglalásában számos mérőműszert ismertet, és gyakran utal ezeknél elődjére, Hipparkhoszra is, addig Arisztarkhosz korából még nem maradtak fenn ilyen leírások. Az persze kétségtelen, hogy bármilyen műszerekkel is rendelkeztek, azok elsősorban a szögmérés célját szolgálták. Így a mérés menetét alapvetően úgy képzeljük el, hogy egy megfelelő műszer egy kellően hosszú rúdját vagy élét olyan helyzetben rögzítjük, hogy az a Napra mutasson, majd egy másik, az előzőhöz egy ponton csatlakozó rudat vagy élt olyan helyzetben rögzítünk, hogy az a Holdra mutasson — persze a sorrend tetszőleges —, és ezek után megmérjük a két irány által bezárt szöget. A gyakorlatban azonban itt is több nehézséggel kell szembenéznünk.

Az első nehézség abban áll, hogy szemben a bolygók vagy csillagok szögtávolságainak mérésével, mely égitestek pontszerűnek látszanak, itt kiterjedt objektumok látóirányát kell megállapítani. Mindkét égitest látszó kiterjedése körülbelül fél foknyi, úgyhogy a középpontjuk nem célozható be magától értetődő módon, márpedig fent láthattuk, hogy akár néhány ívpercnyi tévedés is jelentős torzulást okoz a végeredményben. Ráadásul a Nap esetén további problémát jelent annak fényessége, amely megakadályozza, hogy direkt módon, közvetlenül rábámulva célozzuk be a látszó irányát, legalábbis a komoly látássérülés kockázata nélkül. Ehelyett valamilyen közvetett, óvatos módszerrel érdemes ráméirni, amely mindenképpen időigényes — ami átvezet bennünket a következő bonyodalomhoz.

Igen súlyos nehézséget jelent az égbolt (pontosabban a Föld) napi forgása. Ennek eredménye az égi objektumok keletről nyugatra történő mozgása, melynek maximális sebességét az égi egyenlítőn található objektumoknál tapasztalhatjuk: ez percenként egynegyed fok (hiszen a 360° 24 óra alatt fordul körbe, ami óránként 15°-ot jelent). Az égi egyenlítőtől távolabbi (tőle északra vagy délre lévő) objektumok esetén ez a mozgás lassabb, ám az esetünkben elérhető legkisebb sebesség — amely az ekliptika legészakibb és legdélibb pontjait jellemzi — is csak 10%-kal kevesebb a maximálisnál. Tehát még ha igaz is volna, hogy egy-egy objektum pozícióját pontosan be tudjuk célozni, de mondjuk egy perc eltéréssel tudnánk megcélozni a két égitestet, akkor az irányaik által bezárt szögben legalább 10′ hiba jelentkezne, ami használhatatlanná tenné a mérést. Ahhoz, hogy az időeltérésből származó hibát a bűvös 1′-es határon belül tartsuk, a két égitest irányát gyakorlatilag 4 másodpercen belül kellene pontosan megmérnünk, ez pedig enyhén szólva komoly kihívást jelent.

Ezen a ponton ismét csak felmerülhet a táblázatok iránti igény: ha ugyanis léteznek elég pontos modelljeink a Nap és a Hold égi mozgására, akkor elegendő pusztán a félhold időpontját meghatároznunk, majd ezután a további méricskélés helyett a táblázatokból kiolvashatjuk (vagy esetleg a modellekből kiszámíthatjuk), mik voltak a két égitest koordinátái a kérdéses időpontban — ezek alapján a szögtávolság már szférikus geometriai ismeretekkel megadható. Bár ez az eljárás ígéretesnek tűnik, de az

3. ábra. A mérési hiba hatása a kapott N/H arányra. A szög alapértéke: 89° 51′, az arányé 389.

Mérési hiba	Mért alsó szög	Mért felső szög	Kapott alsó érték	Kapott felső érték	Alsó hibaszázalék	Felső hibaszázalék
1′	89° 50′	89° 52′	344	430	13	11
3′	89° 48′	89° 54′	286	573	36	47
5′	89° 46′	89° 56′	246	859	58	121
10′	89° 41′	90° 01′	181	E	115	∞
30′	89° 21′	90° 21′	88	E	342	∞
1°	88° 51′	90° 51′	50	E	678	∞
2°	87° 51′	91° 51′	27	E	1441	∞
3°	86° 51′	92° 51′	18	E	2161	∞

4. ábra. A Hold animált képei. Bal oldal: éppen félholdkor (időpont: 2019. 08. 23 – 17:50, elongáció: 89° 51′, megvilágítottság: 50,0%). Jobb oldal: „arisztarkhoszi" helyzetben (időpont: 2019. 08. 23 – 22:19, elongáció: 87° 00′, megvilágítottság: 47,5%). *(Forrás: Stellarium)*

elérhető táblázatok vagy modell pontossága itt is erősen kétséges. Közvetlenül ellenőrizhetjük Ptolemaiosz fél évezreddel későbbi modelljeinek pontosságát, és láthatjuk, hogy bizony az 1°-nál nagyobb hiba is megjelenhet a pozíciók leírásában. Az Arisztarkhosz korában rendelkezésre álló modellek és táblázatok ennél csak pontatlanabbak lehettek, így a táblázatokra hagyatkozás ötlete ismét járhatatlannak bizonyult. Ráadásul az időpont megmérése is nehézségekbe ütközik, hiszen a görög időmérő eszközök — napóra és vízóra — nem voltak annyira pontosak, mint amire szükség lenne a mérés ilyen módon történő kivitelezéséhez.

Végezetül érdemes megjegyezni, hogy ebben az időben még jórészt ismeretlenek voltak azok az effektusok, melyek jelentős mértékben torzítják az égitestek látszó pozícióit. Ezek egyike a refrakció, azaz légköri fénytörés, amely a horizonton található objektumok helyzetét mintegy fél fokkal torzítja felfelé, és a magassággal csillapodik (többnyire a zenittávolság tangensével arányos). A másik ilyen hatás a geocentrikus parallaxis, vagyis az abból származó torzulás, hogy a földfeszíni megfigyelő más irányban látja az égitestet, mint amerre az a Föld középpontjából látszana. Ez az effektus a Nap esetében elhanyagolható, viszont a horizont közeli Hold pozícióját körülbelül egy fokkal torzítja lefelé, és feljebb a zenittávolság szinuszával arányosan csökken. A két kérdéses égitest sosem emelkedhet olyan magasra (a mérsékelt égövről észlelve), hogy eltekinthessünk a refrakciótól és (a Holdnál) a parallaxistól, hiszen ezek mértéke bőven meghaladja a mérés számára kritikus nagyságrendű hibát, és ráadásul kölcsönös helyzetük garantálja, hogy minél magasabban tartózkodik az egyikük, annál alacsonyabban lesz a másik.

Tanulságok

Összefoglalásként tehát elmondhatjuk, hogy a holdfelezés módszere mérési eljárásként igen rossz. Már apró mérési hibák is halmozottan jelentkeznek a végeredményben, miközben magát a mérést csak jelentős hibával lehetséges elvégezni, akár a félhold időpontjának megállapítását tekintjük, akár a szögmérés lehetőségeit. Ezek után szinte csoda, hogy Arisztarkhosz mérése akár csak ennyire is pontos tudott lenni — bár sokkal valószínűbbnek tűnik, hogy a „mért" szög inkább egy kényelmes, számára hihető értékként került elfogadásra, mint az elfogulatlan mérés pontos eredményeként. A mérés eltervezőjeként és kivitelezőjeként ugyanis pontosan tisztában kellett lennie a számos nehézséggel és az eredmény szinte ad hoc jellegével.

Mielőtt azonban teljesen elítélnénk a dichotómia módszerét, néhány záró megjegyzéssel szeretnénk árnyalni a képet. Először is sokan érvelnek amellett, hogy a korabeli technikai művek, és általában a görögség „alkalmazott matematikai" írásai sokkal inkább tűnnek l'art pour l'art jellegű szellemi tevékenységnek, mint gyakorlati igényű mérnöki munkáknak. Mintha csak a görögök kimagasló élvezetre leltek volna abban, hogy a felmerülő problémákat geometriai szituációkká absztrahálják, majd ezeket a feladatokat teljesen elméleti síkon, csakis a matematika örömétől hajtva minél elegánsabban megoldják. A ránk maradt matematikai szövegek jelentős része alátámasztja ezt a nézetet, és ezek között is kiemelkedik

Arisztarkhosz értekezése A Nap és a Hold méretéről és távolságáról. Eszerint tehát a szerzőnket nem a kvantitatív kozmológia kérdéseinek megválaszolása ösztönözte, hanem e kérdések apropóján egy frappáns matematikai gyakorlatot kívánt elvégezni. Ekkor pedig nem csoda, ha a mérés praktikus pontossága csak sokadrangú szempontként jelentkezett a számára.

Másfelől azt mondtuk, hogy ha mennyiségileg nem is, de minőségileg hasznos mérésről van szó: azt ugyanis megtudjuk általa, hogy a Nap jóval messzebb van tőlünk, mint a Hold, hiszen bármennyi is legyen a félhold elongációja, az azért világos, hogy közel van a derékszöghöz. (Egyébként tegyük hozzá, hogy ha ez nem így volna, akkor a módszer is pontosabb lehetne, hiszen a távolságarány kevésbé lenne érzékeny az elongáció kis hibájára…). Az adott kor kontextusában ez amiatt jelentős eredmény, mert rámutatott arra, hogy amennyiben a többséggel együtt elfogadjuk a geocentrikus világképet, akkor az ún. Hold feletti világ, vagyis az égi szférák világa sokkal nagyobb, mint a Hold alatti világ, azaz a földgolyóbis és a körülötte található légkör birodalma. Az Arisztarkhosz korában uralkodó, főleg Arisztotelésztől (Kr. u. 384—322) származó kozmológiai modell szerint a szférák olyan közös középpontú gömbhéjak, amelyek az égitesteket hordozzák, és szorosan (értsd: hézagmentesen) egymásra simulnak a kozmosz szélén. A dichotómia eredményéből viszont az következik, hogy vagy óriási hézagok vannak az egyes szférák között (hiszen a Nap szférája hússzor nagyobb, mint a Holdé), vagy pedig az egyes szférák igencsak vastagok, a középpontban a hozzájuk képest eltörpülő földi világgal.

Az utókor e második megoldást választotta, amely az ún. ptolemaioszi rendszerben csúcsosodott ki: a szférák olyan vastagok, hogy magukba foglalhassák az egyes égitestek mozgását modellező excentrikus köröket és epiciklusköröket is, vagyis Ptolemaiosz Összefoglalásának geometriai technikáit. Ha az így felduzzasztott szférákat egymásba ágyazzuk, akkor kiderül, hogy a Merkúr és a Vénusz szférája igen jól beilleszkedik a Hold és a Nap szférái közé, ezzel kialakítva a klasszikus geocentrikus sorrendet a legbelső Holdtól a legkülső Szaturnuszig, sőt azon túl az állócsillagok szférájáig. Ez a kozmológiai modell alapjaiban érvényben maradt egészen Kopernikusz koráig, és vele együtt a nagyjából hússzoros távolságarány is, melyet elfogadott mind Ptolemaiosz (lásd az Összefoglalás V/5. fejezetét), mind Kopernikusz (a főműve IV/19. fejezetében) — az utóbbinál már a heliocentrikus elmélet keretei között.

Így Arisztarkhosz eredményét a csillagászati hagyomány egészen a XVI. század végéig érvényesnek tartotta, bár jobbára inkább tekintély alapon, mintsem a független mérések egybecsengő eredményeinek köszönhetően. Ennek örökségét csak a XVII. század egyre pontosabb elméletei számolták fel, immár a forradalmian új eszköz, a távcső segítségével. Ekkor azonban az is kiderült — pl. Johannes Kepler (1571—1630) vagy Giovanni Battista Riccioli (1598—1671) erőfeszítéseinek köszönhetően —, hogy a holdfelezés módszere még távcső használatával sem képes megnyugtató pontossággal kecsegtetni. Így az eljárás elvesztette gyakorlati jelentőségét és tudománytörténetté vált, majd a nehézségek feledésbe merültével egyfajta romantikus, idealizált patinát kapott. Ebben az írásban igyekeztünk pontosabb és reálisabb képet festeni róla.

KUTROVÁTZ GÁBOR

IRODALOM

[1] Barlow, C. — Bryan, G. 1900. Elementary Mathematical Astronomy. 2nd edition. University Tutorial Press, London.

[2] Britton, J. 1992. Models and Precision: The Quality of Ptolemy's Observations and Parameters. Garland Publishing Inc., New York and London.

[3] Dobrzycki, J. 1978. Nicholas Copernicus on the Revolutions. The Macmillan Press, London and Basingstoke.

[4] Goldstein, B. 1967. The Arabic Version of Ptolemy's Planetary Hypotheses. Transactions of the American Philosophical Society 57/4: 3-55.

[5] Heath, T.L. 1913. Aristarchus of Samos. The Ancient Copernicus. Clarendon Press, Oxford. (Ez a mű tartalmazza Arisztarkhosz értekezésének szövegkiadását angol fordítással kísérve.)

[6] Helden, A. van. 1985. Measuring the Universe: Cosmic Dimensions from Aristarchus to Halley. University of Chicago Press, Chicago.

[7] Netz, R. 2009. Lucid Proof. Greek Mathematics and the Alexandrian Aesthetic. Cambridge University Press, Cambridge.

[8] Pedersen, O. 2011. A Survey of the Almagest. Springer, Dordrecht.

[9] Toomer, G.J. 1984. Ptolemy's Almagest. Duckworth, London.

E SZÁMUNK SZERZŐI

BAUER NORBERT: Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest; BENKÓ ZSOLT: tudományos főmunkatárs, Atommagkutató Intézet, Izotóp Klimatológia és Környezetkutató (IKER) Központ, Debrecen; BÓDIS JUDIT: Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Növénytudományi és Biotechnológiai Tanszék, Keszthely; CSABA GYÖRGY: professor emeritus, az MTA doktora, Budapest; CSIGE ISTVÁN: tudományos főmunkatárs, Atommagkutató Intézet, Izotóp Klimatológia és Környezetkutató (IKER) Központ, Debrecen; FARKAS CSABA: tudományos újságíró; FUTÓ PÉTER: Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék, Kozmokémiai Kutatócsoport, Debrecen; HÉRINCS DÁVID: meteorológus, HungaroControl, Budapest; HUDOBA GYÖRGY: fizikus, Székesfehérvár; KUTROVÁTZ GÁBOR: egyetemi docens, BME Filozófia és Tudománytörténet Tanszék, Budapest; MOLNÁR KATA: tudományos munkatárs, Atommagkutató Intézet, Izotóp Klimatológia és Környezetkutató (IKER) Központ, Debrecen; PALCSU LÁSZLÓ: tudományos főmunkatárs, Atommagkutató Intézet, Izotóp Klimatológia és Környezetkutató (IKER) Központ, Debrecen; TÓSZEGI ZSUZSANNA: PhD, c. egyetemi docens, ELTE BTK Könyvtár- és Információtudományi Intézet, Budapest.