

Kozmológia

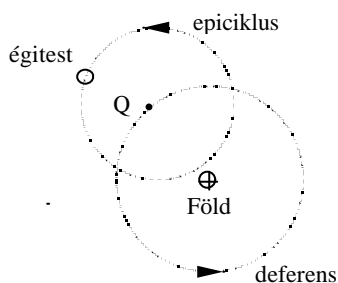
II. rész

A mechanikus világkép

Eudoxosz forgó gömbökből felépített szerkezete – amint azt az előző részben is vázoltuk – elég jól leírja az égitestek bonyolult látszólagos mozgását. Ebben a rendszerben minden égitestnek gömbök sorozatából álló fészke van, s minden gömb saját tengelye körül állandó forgást végez. A szerkezet ügyességét mutatja, hogy elég sok gömb beiktatásával ma is használható lenne ez a modell a bolygók pozíciójának akár hosszú távú előrejelzésére is. Sajnos a rendszernek van egy súlyos hibája is, amelyet már az ókorban észrevettek a legélesebb elméjű tudósok. Szabad szemmel végzett megfigyelésekkel is könnyen megállapítható, hogy a bolygók éggömbi bolyongásuk során – bizonyos esetekben rendkívül feltűnő mértékben – változtatják fényességüket. Ezen jelenség legkézenfekvőbb magyarázata az, hogy a távolságuk változott meg. *Eudoxosz* gömbökből felépített modelljében viszont a bolygók és más égitestek nem változtatják meg a Földtől való távolságukat, ami a modell hiányosságaira utal.

Az ókori görög tudósok több mint két évezreddel ezelőtt hinni kezdtek abban, hogy a Naprendszer egy óriási gépezet, amelynek vélt titkait mérések és sematikus magyarázataik segítségével kifürkészhetik. Így aztán minden addiginál pontosabb eljárásokat dolgoztak ki a bolygók csillagokhoz viszonyított helyzetének meghatározására, és ügyes modelleket találtak ki megfigyelési eredményeik magyarázatára. Kitartó megfigyeléseik eredményeként azt tapasztalták, hogy az égitestek mozgása eltérő az egyenes körmozgástól, így *Eudoxosz* rendszere kiegészítésre szorul.

Egy igen elmés elmélet, amivel magyarázni sikerült az észlelteket, az egymásra épített körök rendszerén alapul. A legegyszerűbb modellben a Föld mint középpont körül egy nyugvó alapkör, az ún. *deferens* helyezkedik el.



1. ábra: Az *epiciklus*–*deferens* modell

A második, *epiciklus*nak nevezett kör Q középpontja a *deferens*en van, s az óramutató járásával ellentétes irányban (direkt csillagászati irány) egyenes sebességgel kering a Föld körül nyugatról keletré. A Q pontot „immateriálisnak”, anyag nélkülinek mondták, minthogy nem állt semmilyen anyagból. Az égitestek ezalatt egyenes sebességgel keringtek a Q pont körül, az *epiciklus*on. Ez a második körön való mozgás akár direkt, akár retrográd irányú is lehetett. Az égitest Földhöz viszonyított látszólagos mozgása a két körön való mozgás eredője (1. ábra).

Hipparkhosz (kb. i. e. 190—126)

A görög csillagászat Krisztus előtt a II. században *Hipparkhosz*sal érte el virágkorát, akit gyakran a modern csillagászat atyjának is neveznek. A bithüniai Niceában született. Megfigyeléseinek döntő részét Rodoszban végezte i. e. 161 és 127 között. Munkáit *Ptolemaiosz* könyve nyomán ismerjük.

A Napnak az ekliptika mentén végzett mozgásában tapasztalható szabálytalanságok – ami pl. az évszakok eltérő hosszában mutatkozik – magyarázatára *Hipparkhosz* visszatért elődei egyik elképzeléséhez, amelynek lényege, hogy a Nap olyan kör alakú pályán mozog, amelynek a középpontja nem esik egybe a Földdel, hanem a sugár $1/24$ -ed részével az

Ikrek csillagkép felé eltolt helyzetben van. Ugyanakkor azt is bebizonyította, hogy az ilyen excentrikus elhelyezésű körpálya lényegében azonos egy olyan, két körből álló rendszerrel, amelynek deferense Föld-középpontú, és direkt mozgást végez, epiciklusa pedig ugyanolyan periódussal retrográd irányban forog. *Hipparkhosz* világosan felismerte, hogy a két elrendezés egyenértékű, de előnyben részesítette az epiciklussal való magyarázatot. Ez a modell igazán kielégítő pontossággal írta le a Nap mozgását, olyannyira, hogy a tényleges pályától való eltérései egy ívpercnél kisebbek voltak. Ez a hiba pedig nemcsak abban az időben, hanem még több mint tizenhét évszázadon át elhanyagolható volt.

Talán legfontosabb felfedezése a napéjegyenlőség *precessziójának* megállapítása. Megfigyelte ugyanis, hogy a Nap éves mozgása során rendre egy kicsivel több időt igényel, hogy ugyanahhoz az állatövi ponthoz visszatérjen (ez a *sziderikus év*), mint amennyi ahhoz kell, hogy az égi egyenlítőn lévő tavaszponttól kiindulva oda újra visszaérjen (ez a *tropikus év*). *Hipparkhosz* ezt helyesen magyarázta azzal, hogy a napéjegyenlőségi pontok (az ekliptika síkja és az égi egyenlítő síkja metszéspontjának végpontjai) az állócsillagokhoz képest lassan eltolódnak.

A Hold mozgását tanulmányozva *Hipparkhosz* pontosan megmérte annak keringési periódusát, valamint a Hold keringési síkjának az ekliptika síkjához viszonyított hajlásszögét. A Nap és a Hold mozgására vonatkozó táblázatot készített, amely a fogyatkozások helyes előrejelzését tette lehetővé.

A Hold mozgásának magyarázata már jóval nehezebb volt mint a Nap esetében. Figyelmes megfigyelések azt mutatták, hogy a tényleges látszólagos holdpálya nem kör alakú, hanem egy spirálhoz hasonlít, amelynek egymást követő hurkai mintegy másfél foknyira helyezkednek el egymástól. Ugyanolyan irányban 27,212 naponként keresztezi az égitest útja az ekliptikát, e nevezetes intervallum elnevezése: *drakonikus hónap*. A *csomópontok*, ahol a holdpálya keresztezi az ekliptikát, lassan nyugat felé vándorolnak, a bolygók általános mozgásirányával ellentétesen. E jelenséget a *csomópontok regressziójának* vagy visszaforgásának nevezzük és periódusa a *nutációs periódus*, ami 18,61 év. A nutáció szó lötyögést, ingadozást, imbolygást jelent, s valóban, a holdpálya ahhoz hasonlóan viselkedik, mint egy görbe tengelyre szerelt kerék. Ezen bonyolult mozgás magyarázatára nem volt könnyű dolog elfogadható matematikai vagy mechanikai modellt találni. Az elképzelések szerint az excentrikus körpályán drakonikus hónaponként egyszer körbejáró Hold a ferde tengelyű pálya lassú, 18,61 éves periódusú mozgását is követte.

Hipparkhosz az öt szabad szemmel is látható bolygó mozgását is meg akarta magyarázni, csakúgy mint a Napét, vagy a Holdét, de sajnos ezen a területen kevés sikerrel járt.

*Hipparkhosz*nak tulajdonítjuk az első – erre a névre igazán érdemes – csillagkatalógust is, mely 1025 csillagról ad számot. A katalógusban a csillagok a történelem során először, látszólagos fényességük alapján osztályokba, nevezetesen hat osztályba sorolva szerepelnek.

Hipparkhosz hatása nemcsak a csillagászat szempontjából jelentős. Az addig csak Babilonban alkalmazott körbeosztást bevezeti a görögöknél is: a teljes kör 360 fok, a fok 60 perc, a perc 60 másodperc. Ő tekinthető a trigonometria megalapozójának, a sztereografikus vetítés feltalálójának is, és neki tulajdonítjuk a földrajzi hosszúság meghatározására szolgáló első tudományos eljárást is.

Ptolemaiosz (kb. 85 — 165)

A hellenizmus utolsó nagy tudósa, *Klaudiosz Ptolemaiosz* már a rómaiak által megszállt Alexandriában élt és dolgozott. Itt is született Felső-Egyiptomban és szülőfalujáról nevezték el, amely a királyi család, Ptolemaiosz nevét viselte.

A Földre és a világegyetemre vonatkozó korabeli ismereteket szintetizálta.

A térképészet atyjának tartják. Két jelentős és terjedelmes, 140–150 körül írt műve maradt ránk; a *Megalé Szüntaxisz* (Nagy Hadrend), amely latin fordításban *Almagest* néven vált ismertté, és a *Geographika Hüphégészisz* (Földrajzi Tanítás). Az első, az ókori csillagászat ismereteinek összefoglalása, melyben világképét fejt ki, a geocentrikus kozmológiai elméletet. Művében főleg *Hipparkhosz* méréseire, valamint a deferensekre és az epiciklusok elméletére támaszkodott.



Legfontosabb megállapításai, amelyek *Kopernikusz* koráig megsabták a tudományos csillagászat útját:

- A Föld gömb alakú,
- A Föld mozdulatlan, körülötte megy végbe minden égi mozgás.
- A Föld a világegyetem középpontja.
- A Föld csak pont a Világegyetemhez képest.

Kopernikusz könyvének megjelenéséig ezt a könyvet tekintették a csillagászat enciklopédiájának. Másik nagy műve, a *Geographika Hüphégészisz* az ókor földrajzi világképe.

Ptolemaiosz érdemei közé sorolható, hogy rendkívül sokat javított a korábbi megfigyelési módszerek pontosságán, és a Naprendszer minden addiginál tökéletesebb modelljét dolgozta ki. Míg az ókori filozófusok általában mereven ragaszkodtak az Univerzum „működéséről” vallott nézeteikhez, addig ő igen figyelemreméltó rugalmasságot mutatott e tekintetben. Csupán a megfigyelések által szerzett adatokat tekintette szentnek, s az elméletet hozzájuk igazította. Azt tartotta, hogy a megfigyeléseket magyarázó elméleteket mindig összhangba kell hozni a szerzett eredményekkel, méghozzá az elméletek módosítása révén. Ez az elv a modern természettudományoknak is egyik sarkköve.

Noha az ókori görögök világképében jó néhány homályos filozófiai elvet és babonát találunk, modelljük lényegében mégis a gondosan végzett megfigyelések, logikus következtetések és alapvető geometriai törvények következetes alkalmazásának gyümölcse volt. Távcsovek nélkül, csupán rendkívül egyszerű mérőműszereket alkalmazva a görögöknek rengeteg adatot sikerült gyűjteniük a bolygók csillagokhoz viszonyított mozgásáról. A deferensekből és epiciklusokból álló mechanikus modelljük pedig, mint láttuk, megfigyeléseik elfogadható pontosságú magyarázatát adta.

A középkori Európa csillagászata

A II. évszázad végéig viszonylag békés volt a fejlődés a Földközi-tenger medencéjében. Később azonban felbomlott a római birodalom, és a civilizáció eredményei is csaknem elpusztultak. A klasszikus szellemi kincsestárát, az alexandriai könyvtárát 390-ben felégették. A hanyatló politikai és társadalmi rendszerek összeomlottak. Barbár népek hódították meg és tarolták le Dél-Európát.

Az ezt követő évszázadok a tudományok számára semmi jót nem hoztak. Megfosztva az evilági jóléttől, az emberek a másvilágban reméltek vigasztalást, és elfordultak a múlt tudományos eredményeitől. A középkori keresztény Európában, miután a görög tudományok eredményei részben elpusztultak, részben feledésbe merültek, a csillagászat visszasüllyedt a görögök előtti fejletlen, tudománytalan színvonalra. A korai középkorban sokan kezdték azt hinni, hogy a Föld lapos, négyzet alakú, és minden sarka egy-egy oszlopon nyugszik. Mások szerint a félgömb alakú Föld végtelen tengeren úszó része a világnak, amelynek közepén Jeruzsálem helyezkedik el. Ilyen körülmények között a tudományok szinte semmit sem fejlődtek. A „meteorok” a Földön bekövetkező kedvező vagy kedvezőtlen események égi előjeleivé váltak. Évszázadokon át a babona és a rettegés irányította a csillagászati gondolkodást.

A tanulni vágyó keresztény ifjak csak az ibériai mór – arab – egyetemeken tanulhattak a ptolemaioszi fejlettebb világrépről. Később ezt a világréndszert némileg módosított változatban a megalakult keresztény egyetemeken is oktatták. Ezt a világrépet találjuk *Dante Divina Comediájában* is, amely különben a legteljesebb középkori keresztény kozmológiai leírás. Nagy művébe rejtett célzásokból arra következtethetünk, hogy sok keresztény tudós részben valóságosnak fogadta el a Föld gömb alakját – az egyetemeken ugyanis csak feltévesként tanították –, részben igyekeztek túllépni a ptolemaioszi világrépen. Sajnos éppen *Dante* korában, a XIV. század elején is megtörtént, hogy két olasz tudóst perbe fogtak és kivégeztek az egyházi hatóságok, mert a Föld gömb alakjának igazát hirdették. Nem volt szabad hinni a túlsó félgömbön élő emberekben sem. Később fokozatosan a kétségtelenül fejlettebb arisztotelészi–ptolemaioszi világrép uralkodóvá vált a keresztény tudományos gondolkodásban. Évszázadok múltán, a felvilágosodás korában a geocentrikus szemlélet megdöntése újból sok évtizedes, áldozatokat is követelő tudományos küzdelmet igényelt.

Az arab–perzsa csillagászat

A keresztény világréből elűzött tudósokat először a perzsa birodalom fogadta be, ahol hamarosan fordítóiskolákat hoztak létre. Az ennek örökébe lépő arab kultúra folytatta a munkát, melynek központja Bagdad volt.

Részben a középkori arabok érdeme, hogy a következő évszázadokban felkutatták és arabra fordítva megmentették a még megmaradt görög tudományos munkákat, köztük *Ptolemaiosz* művét is.

Az arab kereskedők és az iszlám hódító tervei érdekében az arabok számos földmérést végeztek. A legnevezetesebb fokmérést *Harun al-Rasid* kalifa fia, *al-Mamun* bagdadi kalifa rendelkezésére hajtották végre. A tudósok két csoportra válva – észak és dél felé – addig a pontig haladtak, ahonnan a pólusmagasság éppen egy fokkal nőtt, illetve csökkent. A megtett utak összege mint ívdarab, 2° -nak felel meg, innen kiszámítható a délkör teljes hossza. *Al-Mamun* tudósainak eredménye 39 398 kilométer, vagyis valamivel pontatlanabb, mint *Eratoszthenész* mérési adata, de ezt az arab földmérők vagy nem ismerték, vagy nem adtak hitelt a görögök méréseinek. Az arabok eredménye különben a legpontosabb volt a mintegy nyolc évszázad múlva végrehajtott francia fokmérésekig.

Természetesen az arabok a ptolemaioszi geocentrikus világrépszemlélet alapján álltak, de kiváló csillagászaik megsejtették, hogy ez a bonyolult epicikloispályákat feltételező világrép nem lehet helyes. *Al-Battani* (IX.-X. sz.) elégtelennek tartotta ezt a világrépet a holdmozgások megmagyarázására. E témakörben felismerték azt is, hogy a Vénusz esetében olyan epicikloisos mozgást kell feltételezniük, melynek középpontja a Nap.

Szenkovits Ferenc

Csillagászati programok az internetről

II. rész

A Moon Calculator program

A csillagos égbolt főszereplője a Hold. Földünk kísérője a szabad szemmel is kivehető, de kis színházi látcsővel már pompásan elének táruló felszíni alakzataival, a hónapról-hónapra ismétlődő fényváltozásaival – azaz fázisaival –, csillagok elfedésével vagy fogyatkozásaival állandó látványt biztosít a természet barátainak. Ha valaki rendszeresen óhajtja tanulmányozni a Holdat, kíváncsi a vele kapcsolatos pontos adatokra, nagy segítségére lehet a birminghami dr. Monzur Ahmed által készített Moon Calculator (MoonCalc) program. A szerző egyik kedvenc, Koránból választott idézete szerint: „a