

# **A CSILLAGOS ÉGBOLT FELFEDEZŐI**

## **1 Címoldal**

### **2 Az athéni Akropolisz teliholdnál**

Az ókori görög természetfilozófusok voltak az elsők, akik a misztikumtól és a vallási hiedelmektől mentesen, mai értelemben is tudományosnak nevezhető módszerekkel kutatták a természet és a világmindenség titkait.

### **3 Püthagorasz**

Püthagorasz volt az, aki először behatóan foglalkozott az égitestek mozgásával, sőt azok matematikai leírásával is. Akkoriban a Földet képzelték a világmindenség középpontjának, ezt az elképzelést később geocentrikus világmodellnek nevezték.

### **4 A geocentrikus világmodell (a szférák)**

A Föld körül forgó kristálygömbökön (szférákon) helyezkednek el a bolygók és a Nap, a legkülső szférán a csillagok. Püthagorasz elképzelése szerint a kristálygömbök egymáshoz sűrűlődnak, így keletkezik a „szférák zenéje”, amelyet csak a kiválasztottak hallhatnak meg.

### **5 Arisztarkhosz**

Az athéni Arisztarkhosz már a Kr. előtti 3. században felvetette egy heliocentrikus világmodell lehetőségét, vagyis azt az elképzelést, hogy a Világmindenség nem a Föld, hanem a Nap körül kering.

### **6 Eratoszthenész**

A hellenisztikus kultúra tudományos központja Alexandria volt. Hatalmas könyvtára és tudományos iskolái messze földről ide vonzották a tudósokat, természetkutatókat.

Az alexandriai iskola kiemelkedő tudósa volt Eratoszthenész, aki elsőként becsülte meg a Föld méretét.

### **7 Eratoszthenész mérése**

Alexandriában és Szüénében (a mai Asszuán) a nyári napforduló napján megmérték a delelő nap függőlegessel bezárt szögét; a kettő között 7 fok eltérés volt. Eratoszthenész egy igen egyszerű aránypár alapján határozta meg a Föld területét: a 7 fokos szög úgy aránylik a teljes kör 360 fokos szögéhez, mint a két város távolsága aránylik a Föld területéhez. Mai mértékegységekre átszámolva Eratoszthenész a Föld területére 40 ezer kilométert kapott, ami meglepően jó egyezést mutat a mai értékkel.

### **8 Hipparkhosz**

Hipparkhosz volt az utolsó nagy görög csillagász. Ő adta a geocentrikus világkép legteljesebb leírását. Elévülhetetlen eredményeket ért el a csillagászat több területén. Elkészítette az első csillagkatalógust és a szabad szemmel megfigyelhető csillagok fényességi skáláját. Ma is az általa felállított fényrendi skála szerint osztályozzuk a csillagokat.

### **9 Ptolemaiosz**

Klaudiosz Ptolemaiosz adaptálta a Hipparkhosz által leírt geocentrikus rendszert és kiegészítette azt.

### ***10 Ptolemaiosz geocentrikus világmodellje***

A bolygók előre-hátra történő mozgását azzal magyarázta, hogy minden bolygó egy olyan kis kör (epiciklus) mentén mozog, amelynek középpontja a Föld körüli pályát ír le.

### ***11 Egy bolygó mozgása az epiciklus mentén***

Ezzel a magyarázattal (amely mai ismereteink szerint teljesen hibás!) érthetővé vált a bolygók látszólagos előre-hátra mozgása.

### ***12 Regiomontanus***

A kor egyik jelentős csillagásza Regiomontanus (eredeti nevén Johannes Müller) kommentárokat írt Ptolemaioszhoz. Ebben ismét megjelenik a heliocentrikus világmépítési gondolata.

### ***13 Regiomontanus-émlékmű a Budai Várban***

Regiomontanus csillagászként Mátyás király udvarában is dolgozott. Emlékét dombormű őrzi a Budai Vár déli oldalán.

### ***14 Kopernikusz***

Nikolaus Kopernikusz (eredeti nevén Mikolaj Kopernik) lengyel pap nevéhez fűződik az újkor tudományos forradalmának kezdete. Korábban láttuk, hogy a heliocentrikus világmodell már az ókorban megjelent és később is többször fel-felbukkant, de határozott formát csak most, Kopernikusz művében, a „*Revolutionibus*”-ban (*De revolutionibus orbium coelestium* = Az égitestek mozgásáról) öltött, 1543-ban.

### ***15 A „Revolutionibus” címoldala***

Kopernikusz nem volt forradalmár-alkat. Korábban olvasta Regiomontanus kommentárjait Ptolemaioszhoz és ez nagy hatással volt rá. A Napnak a világmindenség centrumába helyezése – mint azt könyvében kifejti – gyakorlati szempontból célszerű, így ugyanis a rendszer működése sokkal könnyebben áttekinthető és matematikailag is jobban kezelhető.

### ***16 A heliocentrikus világmodell***

A „*Revolutionibus*” Kopernikusz halálának évében jelent meg és eleinte semmi visszhangja nem volt. Csak jóval később, Galilei munkássága nyomán vált világossá, milyen veszélyeket rejt az új tanítás az egyház tekintélyére. Ezért a könyv 1616-ban a tiltott könyvek listájára került.

### ***17 Tycho Brahe***

Dániában ezalatt a király támogatásával anyagi gondok nélkül dolgozhatott minden idők legnagyobb megfigyelőcsillagásza: Tycho Brahe. Saját tervezésű, rendkívül pontos műszereivel elérte a szabad szemmel történő csillagászati észlelések pontosságának felső határát. Bolygó-megfigyelései később Kepler kezébe felbecsülhetetlen értékű adatokat adtak: ezek alapján ismerte fel a bolygómozgás három törvényét.

A képen Tycho Brahe éppen egy égitest megfigyelését végzi; ehhez hasonló berendezés, az ún. nagy falu kvadráns látható az Egri Líceum Csillagászati Múzeumában.

### ***18 Galileo Galilei***

Galileo Galilei, a pisai egyetem professzora volt az első modern természettudós.

Matematikus, természetfilozófus, kísérletező fizikus és megfigyelő csillagász volt egy személyben. Nevéhez fűződik a Jupiter és a Mars holdjainak felfedezése és részletes megfigyelése; ő fedezte fel a napfoltokat, a Nap forgását és a Hold krátereit. Kísérleteket végzett a

gravitáció és a dinamika törvényeinek megismerésére. A szabadon eső testek mozgását a pisai ferde toronyból vizsgálta.

Korábban már kísérletezett saját csiszolású optikai lencsékkel; hallott arról, hogy a hollandok távolbalátó készülékekkel kísérleteztek. Kísérletképpen ő is üveglencsét helyezett egy hosszú, fából készült csőbe, majd addig változtatta a lencsék távolságát, amíg távoli tárgyakról éles képet kapott.

### **19 Galilei 2 távcsöve**

Ezután – a hollandokkal ellentétben – távcsövét nem a hajókra, hanem a csillagos égre fordította. Meglepetése leírhatatlan volt. Az égbolton legalább tízszer annyi csillag volt, mint ahányat szabad szemmel akár a legélesebb szemű ember megfigyelhetett. Aztán egy még jobb távcsövet készített és módszeresen vizsgálni kezdte a csillagos eget.

### **20 Jupiter: a Galilei-holdak**

A 4 legnagyobb Jupiter-hold: az Io, az Európa, a Ganümedész és a Kallisztó mozgásának pontos leírása is Galileitől származik. Felismerte, hogy a 4 hold Jupiter körüli keringése – közvetve – a kopernikuszi rendszert igazolja; mozgásuk bizonyítja, hogy nem keringhet minden égitest a Föld körül. Más szóval: a Jupitert és négy holdját tulajdonképpen a Naprendszer kicsinyített modelljének tekintette.

### **21 A négy Galilei-hold, ahogyan a modern távcsövekkel látjuk.**

### **22 A Dialogo**

Megfigyelései alapján Galilei a kopernikuszi, napközpontú rendszert bizonyítottnak látta és ezzel kapcsolatos nézeteit a „Dialógusok a két világrendszerrel” című, párbeszédese formában írt könyvében közreadta.

A „Dialogo” bestseller lett, sokan olvasták, de általa Galilei kihívta az egyház haragját. Az a gondolat, hogy nem a Föld a mindenség középpontja, az akkori teológusok számára elfogadhatatlan volt. Galileit az inkvizíció elé idézték és 1633-ban tételeinek visszavonására kötelezték.

### **23 Az inkvizíció előtt**

Az inkvizíció bírósága előtt Galilei visszavonta a „Dialogo”-ban közreadott legfontosabb állításait és kegyelmet kapott, de hátralévő éveit így is házi őrizetben kellett töltenie.

### **24 Johannes Kepler**

Johannes Kepler az ókori elődök által megálmodott harmóniát kereste az égitestek mozgásában. Azt az alapelvet vallotta, hogy az elméletnek és a megfigyeléseknek összhangban kell lennie. Felismerte, hogy a kopernikuszi rendszerben ez az összhang sokkal tisztábban megmutatkozik, mint a ptolemaiosziban. A geocentrikus rendszerben ugyanis nem lehetett elfogadható magyarázatot adni arra, hogy a bolygók miért mozognak előre, majd hátrafelé. A kopernikuszi rendszerből viszont világosan kiderült, hogy ez csak látszólagos mozgás, valójában minden bolygó állandóan ugyanabban az irányban kering a Nap körül. A kopernikuszi modell sem ad azonban választ arra a kérdésre, hogy miért nem egyenletes a Nap körüli mozgás sebessége? (A Föld esetében ez azt jelenti, hogy a nyári félév 7 nappal hosszabb a téli félévénél.) Ez csak a Kepler által felismert törvények alapján nyert magyarázatot.

### **25 Az Astronomia Nova címlapja**

1609-ben adja ki Astronomia Nova (Az új csillagászat) című könyvét, amelyben – Tycho Brahe igen pontos megfigyelései alapján – I. és II. törvénye először kerül megfogalmazásra.

### **26 Kepler I. és II. törvénye**

Kepler I. törvénye kimondja, hogy a bolygók ellipszis pályán keringenek és a Nap az ellipszis egyik fókuszában helyezkedik el. A II. törvény megállapítja, hogy a Nap és bolygók között húzott sugár egyenlő idők alatt egyenlő területeket ír le, vagyis a bolygók a Nap közelében gyorsabban, távolabbra lassabban mozognak. Ez magyarázza a nyári és a téli félév hossza között a Föld esetében a hét nap különbséget. (Az északi féltekén a nyári, a déli féltekén a téli félév hosszabb 7 nappal)

### **27 A Harmonices Mundi címoldala**

1619-ben jelenik meg Harmonices Mundi (A világ harmóniája) című könyve, ebben mondja ki a III. törvényt, amely a bolygók Naptól való távolsága és a keringési idők között ad összefüggést. Könyvében a szférák zenéje, mint a világot átfogó zenei harmónia jelenik meg, Kepler még az egyes bolygók zenei motívumait is megadja.

### **28 Isaac Newton (1643-1727) fiatalkori arcképe**

Isaac Newton az újkori természettudomány legnagyobb alakja. Megvalósította a nagy tudósok évszázados álmát: a természet matematikai leírását. Végleg szétörte az arisztotelészi gondolkodás bilincseit: bebizonyította, hogy az égi és a földi mozgásokat ugyanazok a törvények irányítják, vagyis csak egyetlen fizika létezik.

### **29 Newton tükrös teleszkópja**

Már fiatal korában feltűnt tehetségével: felépítette az első tükrös teleszkópot, amely sokkal nagyobb és tisztább képet mutatott az égitestekről, mint a hagyományos, lencsés teleszkópok.

### **30 Principia – (Philosophiae Naturalis Principia Mathematica)**

1687-ben jelent meg legjelentősebb műve: „A természetfilozófia matematikai elvei”, a „Principia”, ahogyan a tudománytörténetben nevezik.

### **31 Newton – Az általános tömegvonzás törvénye.**

Ő ismerte fel elsőként az általános tömegvonzás törvényét és kimutatta, hogy ez az erő tartja a bolygókat a Nap körüli pályán. Az általa felismert általános törvényekből levezethetők a Kepler törvények is.

### **32 Newton ágyúja**

A Principiában megjelenik az űrhajózás alap gondolata is: ha egy ágyúból egyre nagyobb sebességgel repül ki a lövedék, akkor az egyre távolabb esik le; elegendően nagy sebességnél (az ún. első kozmikus sebességnél:  $v=7,8$  km/s) a lövedék már nem esik le, hanem Föld körüli pályára tér.

### **33 William Herschel**

A 18. század végén kezdődik az óriástávcsövek kora; William Herschel, az Angliába települt német csillagász építi az elsőt Londonban. 1781-ben ezzel fedezi fel az Uránusz bolygót.

### **34 Herschel óriás teleszkópja**

### **35 A 19. sz. nagy felfedezése a spektroszkóp**

A 19. sz. vége felé (Bunsen és Kirchhoff munkássága nyomán) a spektroszkópia is bevonult a csillagászat kellék tárába. Ez a kép a spektroszkóp működését mutatja. A spektroszkópon átbo csátva a csillagok fénye a szivárvány színeit mutatja. A csillag környezetében (annak atmo-

szférájában) lévő elemek viszont bizonyos színeket elnyelnek, ezek sötét vonalként jelennek meg. A sötét vonalak alapján megállapítható a csillagok (és a mi Napunk) kémiai összetétele. Bebizonyosodott, hogy a Nap és a többi csillagok ugyanazokból az elemekből épülnek fel, mint a Föld és az élőlények anyaga. Tóth Árpád gyönyörű költeményében (Lélektől lélekig) így ír erről a 20.sz. elején:

*Tanultam én, hogy általszűrve a  
Tudósok finom kristályműszerén,  
Bús földünkkel s bús testemmel rokon  
Elemekről ad hírt az égi fény.*

### **36 A csillagászat aranykora – a 20. század**

A 20. században a csillagászat aranykora volt: a modern technika (hatalmas távcsövek, űrtávcsövek, digitális képalkotás, informatika) segítségével megismertük a Világegyetem történetét, feltérképeztük hatalmas térbeli távlatait, idegen csillagok több ezer (extraszoláris) bolygóját fedeztük fel. Az űrkutatás a Naprendszerrel alkotott ismereteinket gyarapította jelentősen és embereket juttatott a Holdra, a közeljövőben már – a tervek szerint – a Marsra indítunk expedíciót. Jelen prezentáció további részében a rengeteg új tudományos eredményből két fejezetet ragadunk ki: röviden bemutatjuk a Világegyetem szerkezetére és tágulására vonatkozó kutatások eredményeit.

### **37 A Világegyetem térbeli szerkezete (címloldal)**

A geocentrikus világmép – a közvetlen látszaton alakuló elképzelés, mely szerint a Föld a mindenség közepe, körülötte kering az összes égitest. Ez a világmép – bár voltak korábban is más elképzelések – egészen a 17. századig meghatározó volt. A heliocentrikus világmép – főleg Kopernikusz, majd Kepler munkássága nyomán egyre gyorsabban terjedt és az egyre sokasodó bizonyítékok hatására uralkodó világméppé vált. Ma már tudjuk, hogy ez a kép kizárólag a Naprendszerre érvényes.

### **38 A Naprendszer**

#### **39 A Tejút**

A 20. század elejére világossá vált, hogy a Nap a Tejút nevű hatalmas csillagtársulás (küllős spirálgalaxis) egyik csillaga. A Tejút átmérője közel 150 ezer fényév és napunk (a bolygókkal együtt) a centrumtól 36 ezer fényév távolságra van.

#### **40 A galaxisok sokasága**

Először Edwin Hubble (róla még később szó lesz) ismerte fel, hogy a Tejúton túl még sok galaxis létezik, később – főleg az űrtávcsövek felvételei alapján – bebizonyosodott, hogy sok milliárd galaxis létezik.

#### **41 Térhálós elrendeződés**

A galaxisok elrendeződése nem egyenletes a térben: vannak nagy sűrűségű és egészen üres régiók (térhálós eloszlás).

#### **42 A Világegyetem**

Az eddigiek összefoglalása egy szemléltető ábrán, Mark Garlick nyomán.

#### **43 A Világegyetem tágulása (címloldal)**

#### **44 Einstein új kozmológiája**

Albert Einstein relativitáselméletében a Világegyetem térbeli és időbeli változásainak matematikai leírását alkotta meg. Az elmélet egyenleteinek megoldásával később többen is próbálkoztak.

#### **45 Lemaitre: a Világegyetem tágul**

Georges Lemaitre, belga pap-fizikus az egyenletek megoldásakor felfedezte, hogy azok egy időben egyre táguló Világegyetemet írnak le.

#### **46 A visszafelé forgatott film elején: kibontakozás (teremtés, űsrobbanás)**

Ha a tágulás (kék nyilak) igaz, akkor a folyamatot visszafelé lejátszva (narancssárga nyilak), eljutunk a kezdeti időponthoz, amikor a Világegyetem még egészen kicsi volt – ezt az időpontot nevezte Lemaitre a Teremtés pillanatának. (Ezt a kezdeti pillanatot – egyébként helytelenül – űsrobbanásnak, vagy Nagy Bummnak is nevezik.)

Ebben a kezdeti pillanatban, amelyet leginkább keletkezésnek, vagy Lemaitre nyomán teremtésnek lehetne nevezni, jött létre a kozmológiai elmélet szerint a tér, az idő, az anyag és az energia.

#### **47 Edwin Hubble bebizonyítja a tágulást**

Edwin Hubble amerikai csillagász Kaliforniában a világ akkori legnagyobb távcsövével a távoli csillagok és galaxisok spektrumát vizsgálta az 1920-as években. A spektrumok elemzése alapján megállapította, hogy a galaxisok nagy sebességgel távolodnak egymástól, tehát a Világegyetem tágul.

#### **48 Az utóbbi időben a tágulás egyre gyorsul**

A tágulásnak a gravitáció miatt – elvileg – egyre lassulnia kellene, ez így is volt kezdetben. A 21. sz. elején azonban bebizonyosodott, hogy az utóbbi néhány milliárd év alatt az Univerzum gyorsulva tágul. A gyorsuló tágulást egy eddig ismeretlen hatás, a sötét energia működésének tulajdonítják.

#### **49 Ami kimaradt a felfedezések hosszú sorából**

- Az extraszoláris (idegen csillagok körül keringő) bolygók kutatása
- A csillagok születése és életútja
- A gravitációs hullámok
- A sötét anyag és a sötét energia
- Van-e több Univerzum? (Multiverzum-hipotézis)

Ez a sok izgalmas téma már egy következő VETÉLKEDŐ programja lehet!