

Párizsi fények és ingák

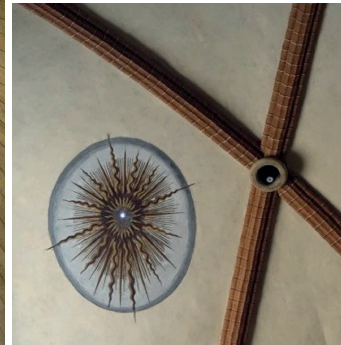
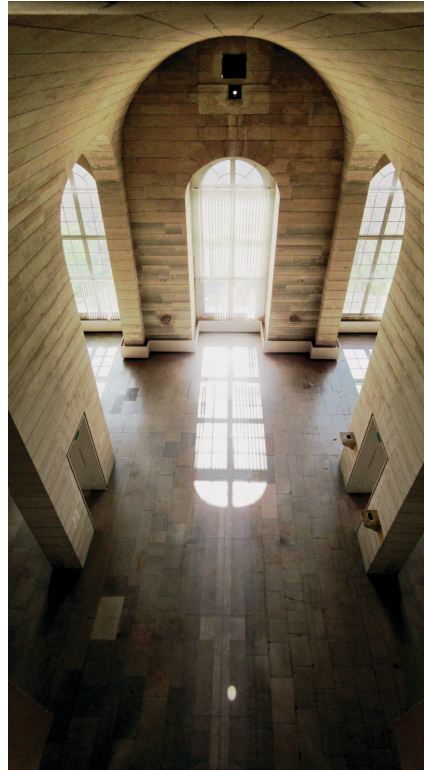
XIV. Lajos idején, pár hónappal a tudományos akadémia alapítása után, a párizsi obszervatórium építése is elkezdődött. A tervek szerint az akadémikusok (a király kutatói) ott dolgoztak, sőt a közelben laktak volna, de „az isten háta mögötti” csillagdat végül csak az asztronómusok vették birtokba. Az alapkövet 1667-ben, a nyári napfordulón tették le. Az észlelések a 20. században megszűntek, de az obszervatórium továbbra is fontos tudományos, egyetemi műhely.



A csillagvizsgálót Claude Perrault (1613–1688) tervezte a 17. század klasszikus francia stílusában. A középső, négyszög alapú tömbhöz a déli homlokzaton egy-egy nyolcszög alapú tömb csatlakozik kelet és nyugat felé. Az oldalszárnyakat később toldották az épülethez (bejárat a kertbe: av. Denfert-Rochereau, 77.; drónfelvétel: <https://www.observatoiredeparis.psl.eu/>)

A csillagvizsgáló irányítására Giovanni Domenico Cassini (1625–1712) kérték fel, aki a bolognai egyetem matematikaprofesszoraként és csillagászként vált híressé. Bolognában marandó emléket is hagyott maga után, a San Petronio-bazilika „csillagászati műszerét”. Egyik professzoréldjé több évtizeddel korábban már elkészítette a műszer innovatív, de pontatlanabb változatát. A bazilikát Cassini érkezése idején éppen átépítették, és ő megragadta az alkalmat: 27 méter magasan (az eredetnél magasabban) lyukat, „szemet” vágatott az egyik oldalhajó tetején, és a padlón, közvetlenül a lyuk alatt egy észak-déli irányú vasrudat ágyaztatott vízszintesen a kőbe. A Nap sugarai délben léptek be a templomba, s a rúd mentén érték el a követ. Ahogy múltak az évszakok, a Nap képe föl-le járt az észak-déli vonal mentén; a templom falához június 21-én, a nyári napforduló napján volt a legközelebb. A szoláris év követése eredetileg a naptárreform és a húsvét időpontjának meghatározása miatt volt fontos.

Cassini azonban más célra szánta a hatalmas *camera obscurát*. Ptolemaiosz modelljében a Nap–Föld távolság kicsit kisebb, mint Keplerében, amikor a két égitest a legközelebb van egymáshoz, és kicsit nagyobb, amikor a legtávolabb, de ezekben a pontokban mindkettő szerint ugyanakkor jelenik meg a Nap (ill. a Föld). A távolságkülönbség viszont olyan kicsi, hogy közvetlen észleléssel nem tudtak dönteni a két modell között. A Nap földre vetített képének átmérője, szerencsére, fordítottan arányos a távolságával. És Cassiniék olyan pontosan mérték az átmérőket, ami koránt-



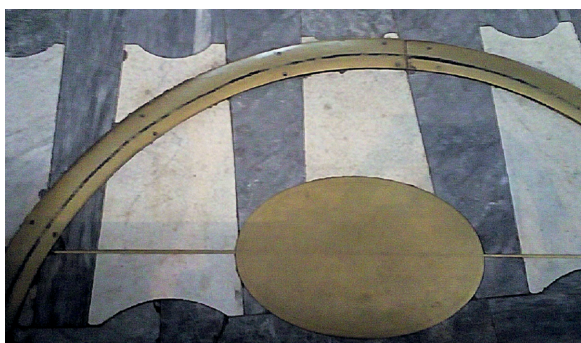
A Meridián-terem a párizsi obszervatóriumban (ismeretlen szerző) és a „szem” a bolognai San Petronio-bazilikában (Piazza Galvani, 5; fotó: P. Granville)

sem volt könnyű, hogy ha nem is közvetlenül, de eldönthették, melyik modell jár közelebb a valósághoz... [1]

Cassini a párizsi obszervatóriumban még mindig ragaszkodott a „meridián”-hoz – ahogy a lyuk és a meridiánvonalat jelző fémrúd együttesét is nevezték –, amelyet végül a fia valósított meg. (A csillagvizsgálót egymás után négy Cassini igazgatta.) A meridiánvonal az első emeleti nagy termen fut végig, és a párizsi (francia) kezdőkörre illeszkedik.

A közeli Saint-Sulpice-templomban szintén van egy hasonló „meridián”, de mivel a templom mérete nem elég nagy ahhoz, hogy a Nap képe a téli napfordulón is megjelenjen a kővön, a meridiánvonal vége egy obeliszken fut fel. A templom Dan Brown krimijében, *A da Vinci-kód*ban is szerepel – ettől vált híressé. [2] A könyvben még a „tények” sem követik mindig a valóságot, például az sem, hogy mielőtt Greenwichben kijelölték volna „a főmeridiánt, a földkerekség zéró hosszúsági foka Párizson haladt keresztül, egészen pontosan a Saint-Sulpice-templom”. Párizs még rendben van, csak a templomot kell obszervatóriumra cserélni.

Amikor Cassini Párizsba hívták, már híres csillagász volt; nem sokkal korábban jelentette meg azokat a nagy elismeréssel fogadott táblázatokat, amelyekben a mérésekből kiindulva kiszámította a Jupiter-holdak járását, megadta, mikor tűnnek el és bukkannak fel a Jupiter mellett. Ilyen, de pontatlanabb táblázatokat Galilei készített először, mert rájött, hogy a Föld egymástól távoli pontjairól egyszerre megfigyelhető Jupiter-holdfogyatkozásokkal jól mérhetnék a földrajzi hosszúságot a tengeren. Ha egy matróz megnézte volna, mikor tűnik el a szeme elől az Ió a Jupiter mögött, akkor a táblázatokból kiszámíthatta volna, hány foknyira hajózik



A Saint-Sulpice-templomban a sárgaréz meridiánvonal vége felfut az obeliszkre. A kövön, szokás szerint, megjelölték, hová esik a Nap képe a napéjegyenlőség idején (place Saint-Sulpice)

A Saint-Sulpice-templom több lépésben épült a 17–19. században. Az illusztráció Fizeau dagerrotípiájának másolata. A felvétel egy padlásról készült 1840 körül



a táblázatkészítőtől (1 fok 4 percnél felel meg.) De az erősen hullámzó víz megnehezítette az észlelést (ha látszott egyáltalán az Ió), és a tengeren használható pontos óra is kb. 150 év múlva készült csak el.

Cassini a párizsi obszervatórium igazgatójaként is folytatta a Jupiter vizsgálatát, javíttatta a táblázatait. (Más munkáira, híres felfedezéseire most nem térünk ki.) A Huygens-féle ingaóra ekkor már jól mérte az időt a szárazföldön – így Cassini állapított meg először pontos földrajzi hosszúságértékeket, amelyektől „a földrajz és a navigáció tökéletessége függ”. Ezután nagy mérési expedíciókat szerveztek. A méréseket Cassini irányította és hangolta össze Párizsban.

Egyik kollégája, Picard abbé – aki alapkönyvet írt *A Föld felméréséről* – például Dániába ment, hogy megállapítsa, pontosan hány hosszúsági foknyira észlelt a párizsi obszervatóriumtól Tycho de Brahe. A csillagászat iránt nagy érdeklődést mutató Ole Rømerrel (1644–1710) tért vissza, aki szintén követte a Jupiterholdak mozgását. Cassini már észrevette, hogy ezek nem pontosan akkor jelennek meg/tűnnek el, amikor a számítások ígérik: például percekkel hamarabb, amikor a Föld közeledik a Jupiter felé, és később, amikor távolodik tőle. Persze elgondolkodott az eltérés okán, és bár több magyarázat felvetődött, leginkább a bolygómozgás szabálytalanságaira gyanakodott. Rømer azonban ki merte jelenteni, hogy a fény nem pillanatszerűen terjed, és kiszámolta a sebességét is: 220 km/s-ot kapott. Rømer pár év múlva visszatért Dániába: nemcsak királyi matematikus, hanem szigorú koppenhágai polgármester és rendőrfőnök is lett. [3]



Rømer-emléktábla a párizsi obszervatórium falán

A nagy „felmérések” még a 19. században is folytatódtak. Korábban már megmérték a francia kezdőkör Dunkerque és Barcelona között szakaszát, és most újabb expedíciót indítottak: Jean-Baptiste Biot (1774–1862) és François Arago (1786–1853) a Baléár-szigetekig terjedő szakaszt kapta. De a küldetés közben háború tört ki a franciák és a spanyolok között, s az éppen Mallorcán dolgozó Arago, akit kémnek néztek, fogságba esett. Innen sikerült Algériába menekülnie, elképesztő „kalandokba” keveredett, és csak három év múlva tért vissza Párizsba, ahol hősként ünnepelték, nagyon fiatalon akadémikusnak és a patinás École polytechnique matematikaprofesszorának nevezték ki. Emellett a csillagvizsgálóban is dolgozott. Amikor a 19. század végén felavatták a szobrárt az obszervatórium és a boulevard Arago mögötti kis téren, egyik barátját, Alexander von Humboldtot idézték, aki szerint Arago olyan sok és szerteágazó kutatást folytatott az égi és a földi fizika terén, hogy nehéz lesz majd elbeszélni az életét.

Ennek a szobornak ma már csak a talapzata van meg: 1942-ben a németekkel kollaboráló Vichy-kormány ágyúkészítés céljából beolvasztatta a bronzot. A 20. század végén két „Arago-érem” került a talapzatra. Az érmek – Jan Dibbets tervei és koncepciója nyomán – követik a francia kezdőkört. Párizsban több mint 100 kerülhet a szemünk vagy a lábunk elé, és azért jutott belőlük a talapzatra, mert a francia kezdőkör azt is metszi.



Arago régi szobrának talapzata és egy érme a túloldaláról (place de l'Île-de-Sein)

Arago munkáiból csak két egyszerű optikai kísérletet említenék, Radnai Gyula írása nyomán. [4] Az egyikben Arago egy kettősen törő mészpátkristályon keresztül figyelte az eget, de különböző átlátszó lemezeket is tett a kék ég és a kristály közé. Amikor csillámlemez volt ez a lemez, kiszínesedett a mészpáton keresztül látott két kép! Ha a csillámlemez elforgatta a saját síkjában, vagy a mészpátkristályt forgatta, megváltoztak a színek. Korábbi expedíciós partnere, Biot azt a magyarázatot találta a jelenségre, hogy a csillám maga is kettősen törő.

Arago más alkalommal egy kristálytengelyre merőlegesen kismetszett kvarclemezt tett a csillámlemez helyére: így fedezte fel a kvarclemez optikai forgatóképességét. Biot pedig megnézte, változik-e a kvarclemez viselkedése, ha levegő helyett nagy törésmutatójú folyadék, például terpentinolaj veszi körül. Ebből vette észre, hogy nemcsak kristályok forgathatják el a fény polarizációs síkját, hanem folyadékok is. (Biot nevét sokan az áramjárta vezető mágneses terét leíró Biot–Savart-törvényből ismerik inkább.)

Arago ötletei nyomán mérte meg Fizeau, később Foucault a fény sebességét, és mutatták ki külön-külön, hogy a fény lassabban terjed a vízben, mint a levegőben – vagyis terjedése összhangban van a fény hullámméleteivel. [5]

Léon Foucault (1819–1868) valószínűleg arról az ingakísérletéről a leghíresebb, amellyel a Föld tengely körüli forgását de-



Az obszervatórium alapításának 350. évfordulóján állították fel a kertben Arago új szobrát (Wim Delvoye munkája). A csavarodó, hullámzó alak a fényhez kötődő munkákra utalhat



Emléktábla jelöli azt a helyet (az épület már nem ugyanaz), ahol Foucault első ingája „működött” (rue d'Assas 28., fotó: Guilhem Vellut, CC BY-SA 2.0)

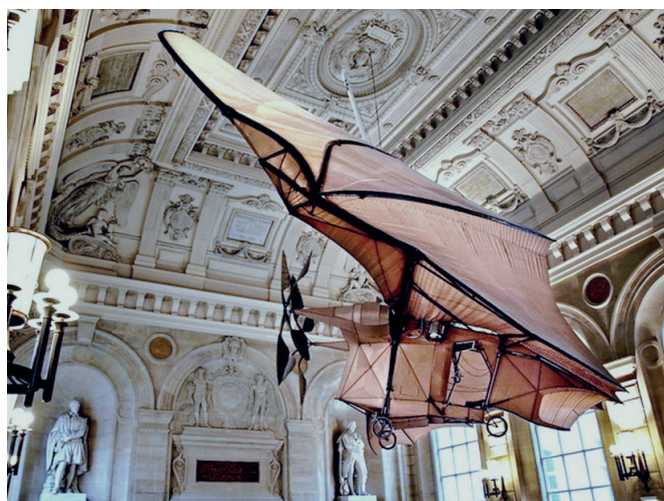
monstrálta. Foucault első, gondosan felfüggesztett ingája a házuk pincéjében lengett. Arago kérésére aztán egy nagyobbat is készített a csillagvizsgáló, Napóleon megbízásából pedig egy igazán nagyot a Panthéon számára (a 28 kg-os golyót egy 67 m hosszú szálra függesztette fel). Nem sokkal később a párizsi vi-



A Foucault-inga a Musée des Arts et Métiers-ben (fotó: Rilba, CC BY-SA 3.0)



Musée des Arts et Métiers, jobbra a New York-i Szabadság-szobor egyik modellje; a szobrot Franciaország adományozta az Egyesült Államoknak (rue Réaumur 60.)



„A földön önjáró gépezetek, kétkerekűek és gőzkocsik sorakoznak, a magasban meg az úttörők repülői lebegnek...” (A Foucault-inga; Musée des Arts et Métiers)

lágkiállításra is gyártott egyet. Ez a Musée des Arts et Métiers technikatörténeti múzeumba került, a francia forradalom alatt börtönnek használt, majd „államosítva” maradt Saint-Martin-des-Champs perjelségbe, ahol az apátsági templom szentélyében állítják ki több mint százötven éve. A múzeum legsejtelmesebb leírását Umberto Eco regényében, *A Foucault-ingában* olvastam; az első bekezdésekből idézek (Barna Imre fordítása):

„Ekkor láttam meg az Ingát.

Hosszú huzal legvégén a szentély boltozatáról függve, méltóságteli kimértséggel róttá széles lendületű íveit a gömb.

Tudtam – de hát kit ne döbbenettek volna rá maguktól is azok a varázslatosan nyugodalmassóhajok? –, hogy a lengést a huzal hosszának négyzetgyöke, illetve ama földi ésszel felfoghatatlan p közt fennálló arány határozza meg, mely isteni okból

szükségszerű kapcsolatba hozza minden lehetséges kör kerületét és átmérőjét...

Azt is tudtam, hogy lentől, a felfüggesztés helye alól, mágneses szerkezet fejt ki hatását egy hengerre, melyet a gömb belsejébe rejtettek, s így szavatolja, hogy állandó legyen a mozgás; tehát az anyag ellenállását van hivatva legyőzni, az Inga törvényével azonban nem dacol, sőt, éppenséggel maga segíti elő, hogy megnyilvánuljon, mert az űrben minden súllyal bíró anyagi pont, mely egy kiterjedés és súly nélküli fonal végén függ, és nem ütközik levegőellenállásba, és nem is súrlódik a felfüggesztés pontján, szabályosan lengene az idők végezetéig.”

De térjünk vissza Aragóhoz, aki az 1848-as francia forradalom után rövid ideig miniszter volt, és sokat tett azért, hogy eltöröljék a rabszolgaságot a gyarmatokon. Az obszervatóriumban már



Az előtérben Lavoisier víz előállításához használt gazométerei. Máshol „... előbúvó csövek sokasága vezet villák támasztotta gömbökön és vezetékeken keresztül egyik tartálytól a másikhoz, és közvetít semmibe nyíló spirálokon át valamiféle esszenciát...” (A Foucault-inga; Musée des Arts et Métiers, fotó: Anton Lefterov, CC BY-SA 3.0)

az 1810-es évektől tartott népszerű csillagászati előadásokat, ahová hírességek is eljártak. (Ebben az időben Londonban szintén tömegeket vonzottak Sir Humphry Davy szellemes előadásai; Michael Faraday 1825-ben indította a Karácsonyi előadásokat.) Arago jó barátságban volt Victor Hugóval, [6] aki egy alkalommal távcsővel figyelhette meg az obszervatóriumban a Holdat, aztán a felkelő Napot. Ez az élmény inspirálta jóval későbbi írását, a *Promontorium somnii*. A cím a Hold egyik hegyének a neve, amely Cassinitől származik (talán az Álom hegyfokának fordíthatnánk). „Volt ott egy négyszázszoros nagyítású távcső; ha el akarják képzelni, mit jelent a négyszázszoros nagyítás, képzeljék el, hogy egy gyertyatartót olyan magasra emelnek a kezükben, mint a Notre-Dame tornyai” – számolt be a műszerről, majd részletesen leírta, amit látott. Eleinte semmit: „Egyfajta lyuk a sötétben, nahát ez volt a szemem előtt; mint amikor az embernek azt mondják: nézd, és egy tintástüveg belsejét látja.” De lassan tisztulni kezdett a kép, mint amikor fény gyúl az ember fejében. Egy értelmezés szerint az írás „az álom újtó, teremtő erejét ünnepli. Az emberiség haladása, a találmányok, felfedezések sorozata nem más, mint megálmodások megvalósulásai.” [7]

A felfedezések természetéről a mai olvasó szórakoztatóbbnak találhatja Daniel Kehlmann 21. századi „filozófiai kalandregényét”, *A világ fölmérését*, amelynek egyik főszereplője a már említett Humboldt, aki fantasztikus utazásain fedezi fel a világot, a másik Gauss, aki fejben. A történet szerint Daguerre-nek kellene megörökítenie kettőjük berlini találkozását, de Gauss megunja a hosszadalmas exponálást, és a felvétel nem sikerül: „Daguerre toppantott a lábával. Most örökre elveszett a pillanat! Mint az összes többi, mondta nyugodtan Gauss. Mint az összes többi” (Fodor Zsuzsa fordítása).

A dagerrotípiával, a valóságban, Arago ismertette meg a művészeket és a tudósokat egy közös akadémiai ülésen. Az obszervatórium közelében, a Montparnasse-negyed szélén Daguerre nevét viseli egy régi kis sétálóutca, amelynek több keresztutcáját tudósokról neveztek el. Közéjük tartozik Lalande, a „híres párizsi üstököshajhász” (ahogy Széchenyi Ferenc aposztrofálta), a csillagda egykori igazgatója; Fermat, a még híresebb műkedvelő matematikus – egyik sejtését, a nagy Fermat-tételt (a nullától eltérő egész számokra az $x^n + y^n = z^n$ egyenletnek nincs megoldása 2-nél nagyobb egész n esetében) csak a 20. század végén sikerült

bizonyítani; és Gassendi, Descartes kiemelkedő kortárs ellenfele. Kettőjük ellentétéhez hozzájárult, hogy Gassendi csak addig tekintette hasznosnak az elméletgyártást, amíg az eredmény nem került ellentmondásba a tényekkel. Descartes, durván szólva, kevésbé bízott a kísérletekben.¹ Gassendi elevenítette fel az ókori atomelméletet, amely így juthatott el Boyle-hoz és Newtonhoz is.²

Amikor már Arago vezette az obszervatóriumot, egy 800 férőhelyes, díszes előadótermet építtetett a nyugati szárnyban – az utóda viszont jobbnak látta, ha ezt a saját lakásává alakíttatja át. Az utód, Urbain Le Verrier (1811–1877), abból kiindulva, hogy az Uránusz mozgása nem egészen követi az elmélet szerinti pályát, Arago biztatására már korábban kiszámította, hol lehet a rendellenességet okozó



Le Verrier szobra az obszervatórium főhomlokzata előtt. A jobb oldali tábla Rømernek állít emléket (av. de l'Observatoire, 61.)

égitest (a 19. század eleje óta gyanakodtak erre a bolygóra). Miközben a párizsi mérésekre várt, eredményeit elküldte Berlinbe: ott azonnal észlelték a bolygót, amelynek a Neptunusz nevet adta.

SV

IRODALOM

- [1] J. L. Heilbron, The Sun in the Church. The Sciences (1999) 5, 29.
- [2] M. Rougé, Le gnomon de l'église Saint-Sulpice. Paroisse Saint-Sulpice, 2006.
- [3] L. Bobis, J. Lequeux, Cassini, Rømer and the velocity of light. Journal of Astronomical History and Heritage (2008) 11(2), 97.
- [4] Radnai Gy., A kétszáz éves Brewster-törvény. Fizikai Szemle (2015) 3, 83.
- [5] Silberer V., Durranógáz és rivaldafény. MKL (2019) 10, 322.
- [6] W. Tobin, J. Lequeux, In Search of the *Promontorium Somnii*. Journal of Astronomical History and Heritage (2022) 25(3), 457.
- [7] Sujtő L., A költő Victor Hugo. Tiszatáj (2016) 11, 55.

¹ „Amikor azután gondolatban végigmentem mindazokon a tárgyakon, melyek valaha feltártak érzékeim előtt, bátran mondhatom, hogy nem találtam semmi olyant, amit ne tudtam volna az általam talált elvek segítségével elég kényelmesen megmagyarázni” – írta Descartes. „Ami pedig a mások által már elvégzett kísérleteket illeti, ha közölnék is az emberrel, ... azok többnyire annyi körülménnyel, vagyis fölösleges elemmel vegyülnek, hogy nagyon nehéz volna kihámozni belőlük az igazságot...” (Értekezés a módszerről, ford. Szemere Samu, Boros Gábor)

² Néhány név és évszám: Hippolyte Fizeau (1819–1896), Christiaan Huygens (1629–1695), Jean Picard (1620–1682), Tycho Brache (1546–1601), Honoré de Balzac (1799–1850), Victor Hugo (1802–1885), Alexander von Humboldt (1769–1859), Carl Friedrich Gauss (1777–1855), Louis Daguerre (1787–1851), Jérôme Lalande (1732–1807), Pierre de Fermat (17. század első évtizede – 1665), Pierre Gassendi (1592–1655), René Descartes (1596–1650), Robert Boyle (1627–1691), Isaac Newton (1642–1727).