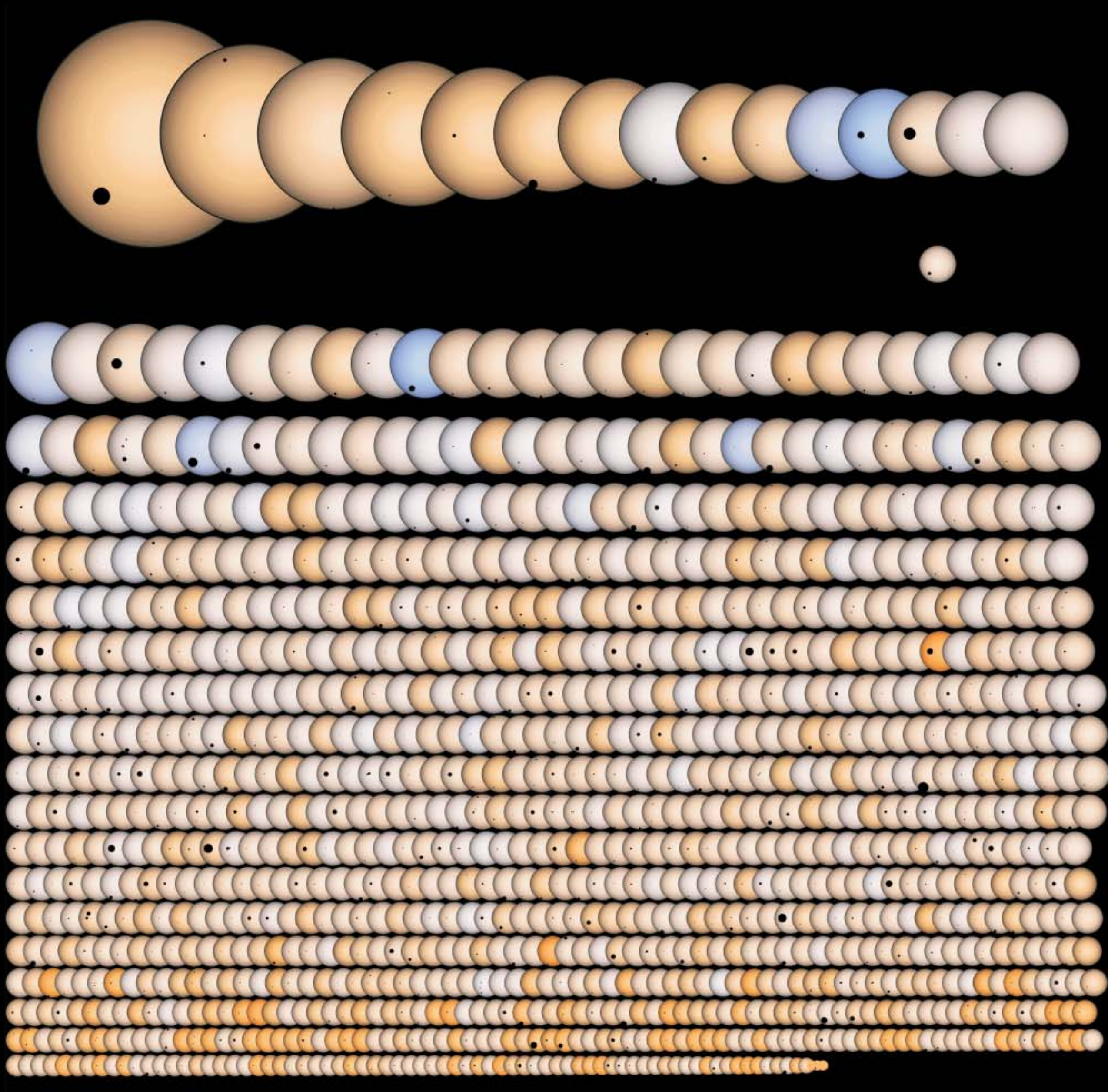
fizikai szemle



2011/7–8

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat havonta megjelenő folyóirata. Támogatók: A Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya, a Nemzeti Erőforrás Minisztérium, a Magyar Biofizikai Társaság, a Magyar Nukleáris Társaság és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete

A folyóirat e-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu
A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

http://www.fizikaiszemle.hu

A címlapon:

A Kepler fotometriai űrszonda által 2011 elejéig felfedezett 2135 exobolygójelölt és gazdacsillagaik méretarányos ábrázolása. A legfelső sor jobb széle alatt a Nap és annak korongja előtt a Jupiter és a Föld látható ugyancsak mérethűen kicsinyítve. Néhány csillag körül több bolygó is kering. A csillag színárnyalata a felszíni hőmérsékletére (színére) utal. A legforróbb csillagok kékek, a legalacsonyabb hőmérsékletűek vörösek. (NASA Kepler Mission, Jason Rowe grafikája)

TARTALOM

ВНИМАНИЕ! По техническим причинам русская часть оглавления печатается отдельно на конце журнала.

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Mathematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította
A Mathematikai és Physikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

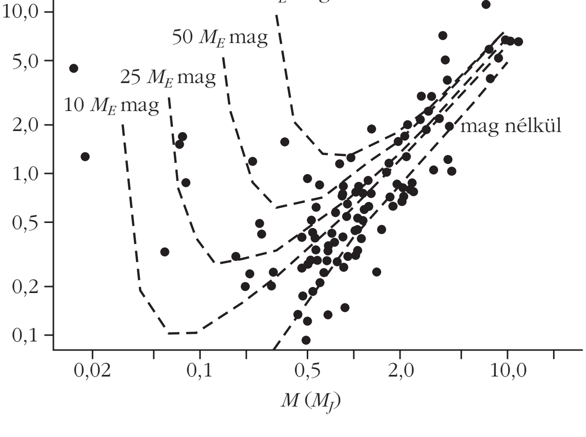
LXI. évfolyam 7–8. szám 2011. július–augusztus

ÚJDONSÁGOK AZ EXOBOLYGÓK VILÁGÁBÓL

Szabó M. Gyula, Simon Attila – MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézet, Budapest
Szalai Tamás – SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék, Szeged

Az exobolygók vizsgálata a csillagászat húzóágazatává vált az elmúlt években [1–4]. Különösen fontos csoportot alkotnak a *tranzit*os bolygók, amelyeket – a pályasíknak a megfigyelő számára kedvező helyzetéből adódóan – periodikusan átvonulni látunk csillaguk korongja előtt. A nagyobb bolygók esetében 1-2 százalékos fényváltozás detektálására van lehetőség, míg egy Föld méretű bolygónak egy Naphoz hasonló csillag előtt való átvonulása mindössze 0,01%-nyi intenzitáscsökkenéssel jár. A fénycsökkenés mértékéből meghatározható a bolygó mérete, a közös tömegközéppont körül keringő csillag látóirányú sebességének változásaiból pedig kiszámítható a bolygó tömege is.

1. ábra. Az exobolygók tömeg-sűrűség eloszlása a Jupiter tömegének és sűrűségének egységében; a pontok jelzik az ismert exobolygókat. A szaggatott vonalak a feliratok szerinti kezdeti magtömegű, az abszcisszának megfelelő össztömegű egyensúlyi átlagsűrűségeket mutatják. Figyeljük meg, hogy a légkör kezdetben csökkenti az átlagsűrűséget, majd ahogy növekszik az atmoszféra tömege (nyomása, gravitációja, sűrűsége), az átlagsűrűség ismét nagyra nőhet.

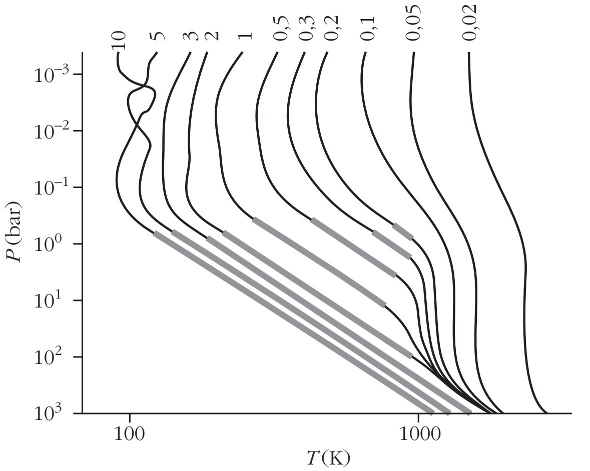


Pontosabban, a keringési periódusból és a tranzit időtartamából közvetlenül a csillag sűrűsége határozható meg (ennek bizonyítása szép középiskolás versenyfeladat lehetne). A fedés mélysége alapján becsülhető a *relatív sugár* (a csillag és bolygó sugarának aránya), a sebességamplitúdók alapján számítható a tömegarány, ebből a bolygó sűrűsége is kiszámítható. A bolygó paramétereinek kiszámítása ezután további, megfelelő csillagmodelleken alapul (*1. ábra*). (A gyakorlatban természetesen nem az imént leírt „receptet” számoljuk végig, hanem a fenti megfontolásokat is magukban foglaló, a fényváltozást leíró egyenletek paramétereit – időtartam, relatív sugár, tranzit-időpont, ütközési paraméter – közvetlenül illesztjük az egész megfigyelt fénygörbére, a bolygó paramétereit pedig az eredményből számoljuk visszafelé.)

Exobolygók és gazdacsillagaik

A bolygó tömegének és sűrűségének ismeretében információkhoz juthatunk a belső szerkezetet illetően, szerencsés esetben pedig – spektroszkópiai mérésekből – a felsőlégkör legfontosabb alkotóelemeit is meg lehet határozni. Az exobolygók atmoszférájának vizsgálatára már léteznek jól használható modellek (kis módosításokkal a csillaglégkörökre vonatkozó modelleket kell alkalmazni); ezekben feltétlenül figyelembe kell venni az erős külső megvilágítást, valamint – az óriásbolygók esetében – a bolygó lassú, milliárd éves időskálán zajló összehúzódását is – ezeknél a planétáknál ez a belső hőtermelés forrása – (*2. ábra*). Fontos eltérés a csillagokhoz képest, hogy a bolygónak

A kutatásokat az MTA Lendület fiatal kutatói programja, az OTKA K76816, K83790 és MB08C 81013 számú pályázata támogatta.



2. ábra. Mag nélküli, Jupiter-tömegű bolygó felsőlégkörének nyomás–hőmérséklet diagramjai. Az atmoszféramodellek egy Nap-analóg csillagtól adott távolságra alakulnak ki, a távolságértékeket a görbék fölötti számskála mutatja csillagászati egységben. Vastagított, szürke vonal jelzi a konvektív instabilitás tartományát.

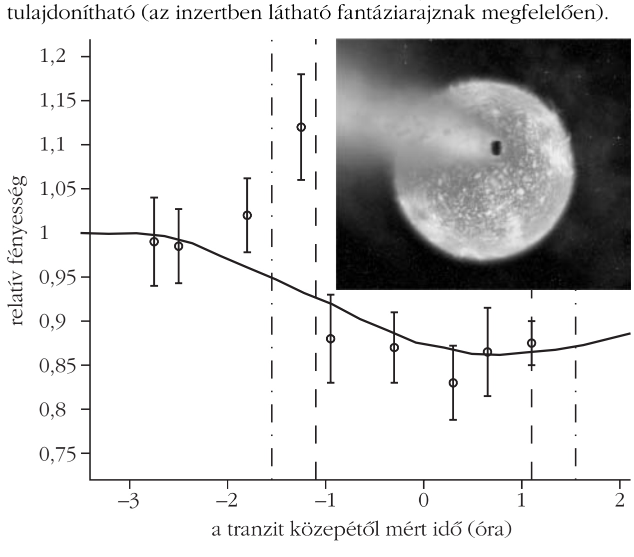
lehet szilárd magja, ám ennek tömege egyelőre nem meghatározható, így szintén illesztendő paraméter. Ha megfelelő pontossággal ismerjük a csillag luminozitását és életkorát, akkor egy óriásbolygó belső szerkezetének modellezése lényegében két paraméterre – a szilárd mag tömegének és az össztömeg meghatározására – redukálódó probléma. Kisebb bolygók esetében (amikor kevésbé kiterjedt a légkör) más paramétertérre lehet szükség: itt a bolygó vas- és kőzettartalma, jégtartalma és légkörének tömege léphet fel modellezendő paraméterként (a szóhasználat kissé leegyszerűsített, ugyanis az exoplanetológiában minden illékony, szerves vagy szervetlen, nem gáz halmazállapotú anyagot jégnek hívunk, akkor is, ha az anyag történetesen cseppfolyós halmazállapotú).

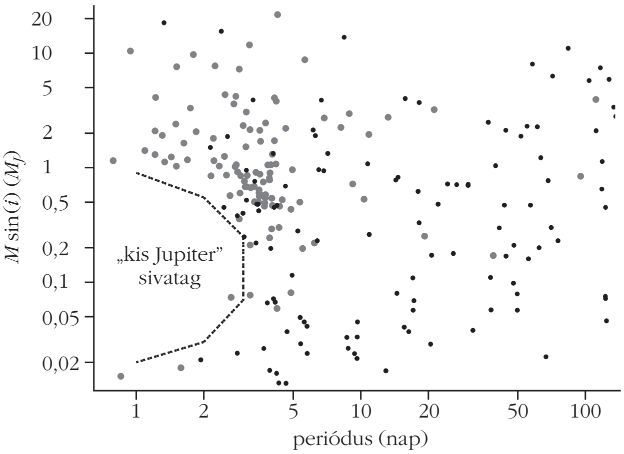
Jelenleg már csaknem hatszáz, más csillag körül keringő bolygót ismerünk. Ezek többsége a Jupiterhez hasonló gázóriás; a Földünkhöz hasonló méretű planéták felfedezése egyelőre még várat magára. Ezen bolygók közül mintegy 130 tranzitos, amelyek túlnyomó többsége „forró” típusú (a definíció még kissé bizonytalan, általában a 0,05 csillagászati egységnél kisebb sugarú pályán keringő bolygókat sorolják ide, de egyéb konvenció is lehetséges). Ha meg tudjuk figyelni egy forró exobolygó eltűnését a csillag mögött (*másodlagos átvonulás*), úgy lehetővé válik a bolygó saját luminozitásának meghatározása, ami végeredményben a hőmérséklet és az albedó kiszámítását teszi lehetővé. A forró gázóriásokat ezen megfigyelések szerint két nagy csoportra lehet osztani. A nagyjából 1000–1500 K hőmérsékletű forró jupiterek alkotják az úgynevezett pL csoportot: ezeknél jelentős radiális konvekció alakul ki, és felsőlégkörüket sűrű felhők alkotják (az albedójuk nagy, hasonlóan a Jupiteréhez és a Szaturnuszéhoz). A másik, úgynevezett pM csoport tagjainak felsőlégkörében sztratoszféra, azaz hőmérsékleti inverzió alakul ki, ami megállítja a konvekciót (*2. ábra*), ilyen planéta a Naprendszerben nincs. Ebbe a csoportba a 2000 K-nél magasabb effektív hőmérsékletű bolygók tartoznak, amelyek leginkább az M típusú törpecsillagokra hasonlítanak (innen az elnevezés). Ezen bolygók esetében nincs felhőképződés, a légkör jó közelítéssel abszolút fekete test, és a felsőlégköri rétegben mélyebbre „látunk”. A csillag közelsége miatt ezeknek a bolygóknak is viharos a légköre, de ebben az esetben a sztratoszférában inkább zonális irányú szelek jellemzőek. Néhány exobolygó „vegyes” képet mutat: a csillag felé eső oldalon forróbb (itt a légkör a pM csoportra jellemző), az éjszakai oldalon pedig hűvösebb, nagyobb albedójú terület alakul ki. Ezekben az esetekben a forró folt gyakran kissé eltérő irányba esik, mint amerre a csillag látszik a bolygó felől – ezen aszimmetriák oka egyelőre tisztázatlan.

Néhány forró jupiter légköre folyamatosan evaporálódik, mert a csillagszél és a sugárnyomás elfújják a nagy besugárzástól jelentősen kitágult bolygó lazán kötött felsőlégkörét. Az ilyen bolygók körül jelentős méretű, ritka gázokból és plazmából álló felhő alakul ki, amelyet például a hidrogén Lyman-alfa vonalán végzett megfigyelésekkel mutathatunk ki. A HD 209458 bolygó esetében a tranzit mélysége Lyman-alfa hullámhosszon a teljes intenzitás 0,12 része, vagyis a bolygó körül kialakult hidrogénfelhő olyan mértékben kiterjedt, hogy a csillag fényének 12%-át elnyeli! (Pontosabban, a Lyman-alfa hullámhosszon kisugárzott energia 12%-a hidrogén ionizálására fordítódik.) Ennél a rendszernél teljes elnyelést feltételezve is a csillag méretének harmadánál kiterjedtebb felhőt kapunk (*3. ábra*)!

Mostanában kezdik nagy számban felfedezni az úgynevezett forró neptunuszokat, a csillagaikhoz hasonlóan közel keringő, de a forró jupitereknél kisebb tömegű égitesteket. Az eddig azonosított exobolygók eloszlása azt mutatja, hogy forró neptunuszokból több van, mint forró jupiterekből. Mindez a keringési periódusoktól függetlenül igaz: a 3–100 nap tartományon nagyjából végig hasonlónak tűnik a forró jupiterek és forró neptunuszok becsült aránya, az egyszerű bolygókeletkezési elméletekkel összhangban.

3. ábra. A HD209458 tranzitja Lyman-alfa hullámhosszon. A jelentős fényelnyelés az evaporálódó bolygó kiterjedt hidrogénburkának tulajdonítható (az inzertben látható fantáziarajznak megfelelően).

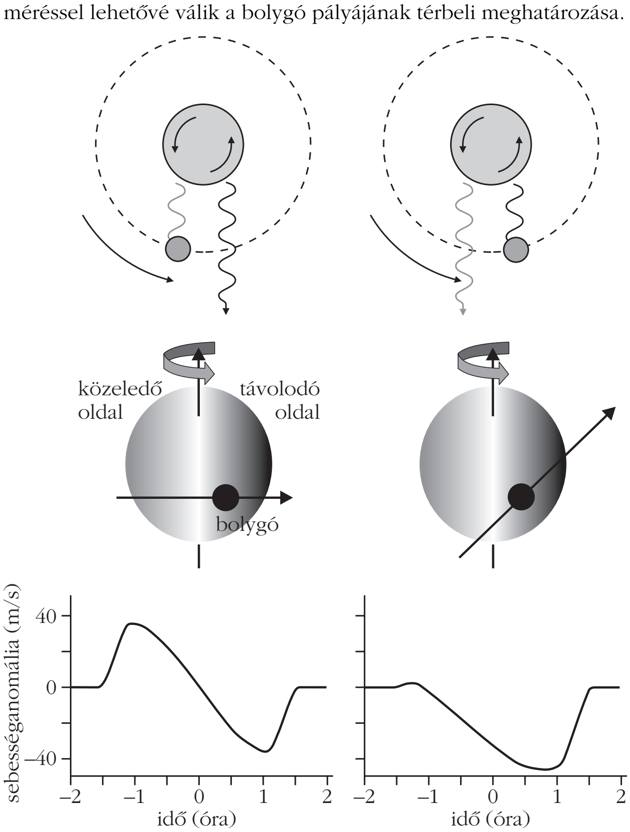




4. ábra. A tranzitos exobolygók periódus–tömeg eloszlása (nagyobb, szürke pontok), kiegészítve a radiálissebesség-mérések által detektált periódus – minimális tömeg eloszlással (kisebb, fekete körök).

Az MTA KTM Csillagászati Kutatóintézet Lendület-csoportjának tagjai, *Szabó M. Gyula* és *Kiss L. László* frissen megjelent cikkükben [5] tranzitos exobolygók eloszlását elemezve egy meglepő jelenségre hívják fel a figyelmet: három napnál rövidebb keringési periódusú, Jupiternél kisebb tömegű bolygót alig ismerünk, annak ellenére, hogy a forró jupiterek „hemzsegnek” ezen a tartományon. A tranzitos exobolygók tömegét a keringési periódus függvényében ábrázolva

5. ábra. A Rossiter–McLaughlin-jelenség. Fent és középen a csillag előtt átvonuló bolygó a csillag forgástengelye és egyenlítője felől nézve. Lent: a sebességszelektív kitakarás miatt fellépő anomália a vonalak „átlagos” sebességében. Figyeljük meg, hogy az eltérő geometriai konfigurációkhoz eltérő sebességgörbék tartoznak. Így a méréssel lehetővé válik a bolygó pályájának térbeli meghatározása.



egy jól körülhatárolt üres tartomány, a „kis Jupiter sivatag” (sub-Jupiter desert; az elnevezés Jupiternél kisebb tömegű forró jupitereket és Neptunusznál nagyobb méretű forró neptunuszokat takar) rajzolódik ki, amely éles ellentétben áll a három napnál hosszabb periódusok esetén megfigyelt eloszlással, és külön magyarázatot igényel. A jelenségre korábbi vizsgálatok is utaltak, de mostanra gyűlt össze annyi megfigyelés, amelyek alapján egzakt statisztikai módszerekkel kijelenthető, hogy a „lyuk” magában az eloszlásban van benne, és nem a véletlen adateloszlás rossz tréfájának áldozatai vagyunk. Ráadásul a bolygók eloszlása a csillagok körül erősen sűrűségfüggő is. Lényegében úgy tűnik, hogy a kisebb sűrűségű és tömegű exobolygókat kitiltja a csillag közeléből egy olyan folyamat, amely nem hat a kicsit nagyobb sűrűségű forró jupiterekre és a nagy sűrűségű, de kis tömegű szuperföldekre sem.

A szakirodalomban több alternatívát is közöltek a jelenség magyarázatára. Lehet, hogy a kis jupiterek gyorsan elpárolognak a csillag közelében, hiszen légkörük gravitációsan kevéssé kötött. A forró jupiterek is párolognak, de a párolgási ráták lényegesen kisebbek, így a gázóriások hosszabb ideig bírják ki stabilan a csillag közelségét (*4. ábra*). Létezik azonban egy mind jobban terjedő, ugyanakkor bonyolultabb magyarázat. Eszerint a kis jupitereket már a bolygókeletkezés korai szakaszában, a protoplanetáris korong evaporációjának időszakában kitiltja a korong árapályhatása (pontosabban a korong belső peremének árapály-csapdázása, amely ekkor kifelé vándorol) a csillagok közvetlen közeléből, miközben a nagy tömegű bolygókra ez a folyamat nem hat.

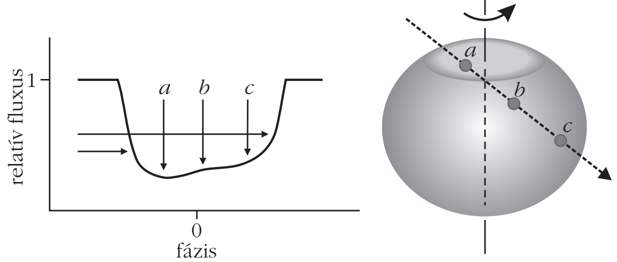
Spektroszkópiai megfigyelésekkel a bolygó pályájának a csillag forgástengelyéhez mért szögét is meg lehet határozni. A mérés azon alapul, hogy az átvonuló bolygó a tranzit során a csillag különböző radiális sebességgel mozgó részeit takarja ki, ami az átlagos radiális sebesség jellegzetes torzulását okozza (Rossiter–McLaughlin-effektus – *5. ábra*). A megfigyelések arra utalnak, hogy a forró jupiterek jelentős része (nagyjából harmada) a csillag egyenlítőjéhez nagy szögben hajló pályán kering, és nem ritka a retrográd keringés sem. A megfigyelés rendkívül meglepő, és egyelőre nem is sikerült megnyugtatóan magyarázni. Különös, bár statisztikailag egyelőre csak valószínű feltételezés, hogy a korai, A-F színképtípusú csillagok hajlamosak nagy inklinációjú pályán keringő forró jupitereket „tartani”, míg a Naphoz nagyjából hasonló vagy hűvösebb csillagok nem igazán [6]. A jelenséget talán bimodális bolygókeletkezéssel, vagy egzotikus, árapályerők által irányított későbbi pályafejlődéssel lehet magyarázni.

A gyorsan forgó csillagok alakja a centrifugális erők miatt ellapul, az egyenlítő távolabb, a pólusok közelebb kerülnek a csillag magjához. Így a csillag pólusvidékei magasabb hőmérsékletűek lesznek, mint az egyenlítő. Az ilyen csillag előtt ferde pályán elhaladó bolygók és kis méretű kísérők fényváltozása jellegzetes torzulást mutat, hiszen az átvonulás megfelelő részén, ahol a forróbb terület előtt tartózkodik a bolygó, a kitakart fény több, így az átvonulás fénygörbéjében egy lokális gödör keletkezik – némiképpen emlékeztetve a Rossiter–McLaughlin-jelenségre –, de itt tisztán fotometriai effektusról van szó. Ha ilyen fénygörbetorzulást látunk (*6. ábra*), abból egyszerre következtethetünk a csillag gyors forgására és a bolygó ferde pályájára – az utóbbi konklúzió a bolygókeletkezési és vándorlási folyamatok nagyon fontos, ám eddig még nem pontosan tisztázott szerepű nyomjelzője.

Ezt a jelenséget elméleti megfontolások alapján 2009-ben jósolta meg *J. W. Barnes* [7], ám mostanáig nem sikerült megfigyelni. Az első ilyen típusú rendszer azonosítása az MTA CSKI Lendület-csoportjának eredménye. A detektálás a Kepler-űrtávcső nyilvános adatainak átnézésén alapul, amelyet kiegészítettek egy németországi távcsővel készített nagy felbontású színképpel (*Holger Lehmann,* Thüringiai Csillagvizsgáló, Németország), valamint a legnagyobb magyar távcső, a Piszkés-tetői 1 méteres RCC-teleszkóp nagy szögfelbontású megfigyeléseivel. Külön kiemelendő, hogy a Kepler-űrtávcsővel végzett felfedezések megerősítésében az 1 méteres távcső nagy szögfelbontású üzemmódja egy év alatt már másodszor játszott kulcsfontosságú szerepet: az áprilisban a *Science* folyóiratban bejelentett Trinity-rendszer [8] természetének tisztázása is e távcső feladata volt.

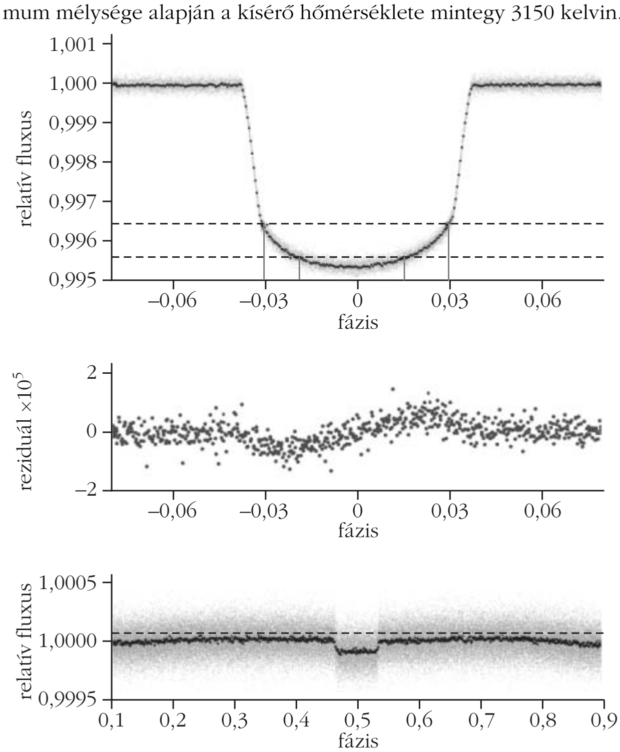
A „rendkívül költői”, KOI-13.01 jelű égitestet a Kepler-űrtávcső által talált bolygójelöltek között jelentették be 2011 februárjában. A magyar kutatócsoport a fénygörbe aszimmetriájára felfigyelve kiderítette, hogy egy száz éve ismert, kissé eltérő fényességű komponensekből álló szoros kettőscsillag egyik tagja körül kering a kísérő (*7–8. ábra*). A felfedező cikkben megjelent lábjegyzet szerint a Kepler-képmező egyetlen pixelére két csillag fénye esik, de az nem derült ki, hogy a rendszer hogyan néz ki pontosan, és hogy a Kepler adatait korrigálták-e a zavaró fényre. Egy tranzit nagy szögfelbontású megfigyelésével, valamint a Kepler-adatok *Szabó Róbert* által végzett „trükkös” újraredukálásával kiderült, hogy a kísérő a kettős fényesebb csillaga körül kering. A kutatók azt is kimutatták, hogy a két csillag fizikai kettőst alkot, mert a tagok helyzete 100 év alatt nem változott észrevehetően (együttmozgó kettős). A csillagok gyors forgását időközben a Thüringiai Csillagvizsgáló spektroszkópiai megfigyelése is megerősítette. A csillagokra modellt illesztve és a Kepler adatait a halványabb csillag fényének figyelembevételével újraredukálva kiderült, hogy két, a Napnál 23-szor, illetve 30-szor fényesebb csillag alkotja a rendszert, amely tőlünk 1800 fényévre helyezkedik el. A kísérő mérete a Jupiter méretének 2,2-szerese, ami alapján inkább barna törpének tekinthető, nem pedig „valódi” bolygónak [9].

Végeredményben tehát egy olyan rendszert kell elképzelnünk, amelyben két gyorsan forgó, kissé lapult, forró, nagy méretű csillag kering egymástól nagyságrendileg ezerszeres Nap–Föld-távolságban; a fényesebb csillag körül pedig erősen inklinált (ferde) pályán kering egy barna törpe kísérő, mégpedig a

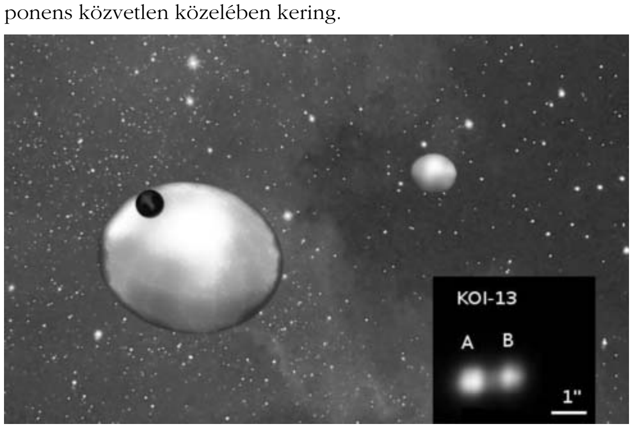


6. ábra. Torzulások egy gyorsan forgó csillag előtt áthaladó bolygó fénygörbéjén. A jobb oldali ábra szemlélteti a forgás miatt a pólusoknál kialakuló forró foltokat.

7. ábra. Felül: a KOI-13 tranzit fázisdiagramja. A vonalak mutatják a jellegzetes fénygörbetorzulásokat. Középen: A fénygörbe eltérése egy szimmetrikus mintagörbétől. Lent: A tranziton kívüli fényváltozás is aszimmetrikus, ami változó megvilágításra utal. A mellékminimum mélysége alapján a kísérő hőmérséklete mintegy 3150 kelvin.



8. ábra. A KOI-13 rendszerről alkotott lehetséges elképzelés. Az inzert az 1 méteres RCC-távcsővel készített képet mutatja a területről. Az ellipszoidális alakú, gyorsan forgó csillagok a rendszer A és B jelű komponensei; a csillagok elnyúltsága és intenzitástérképe az Altair interferometriai képén alapul. A KOI-13.01 kísérő az A komponens közvetlen közelében kering.

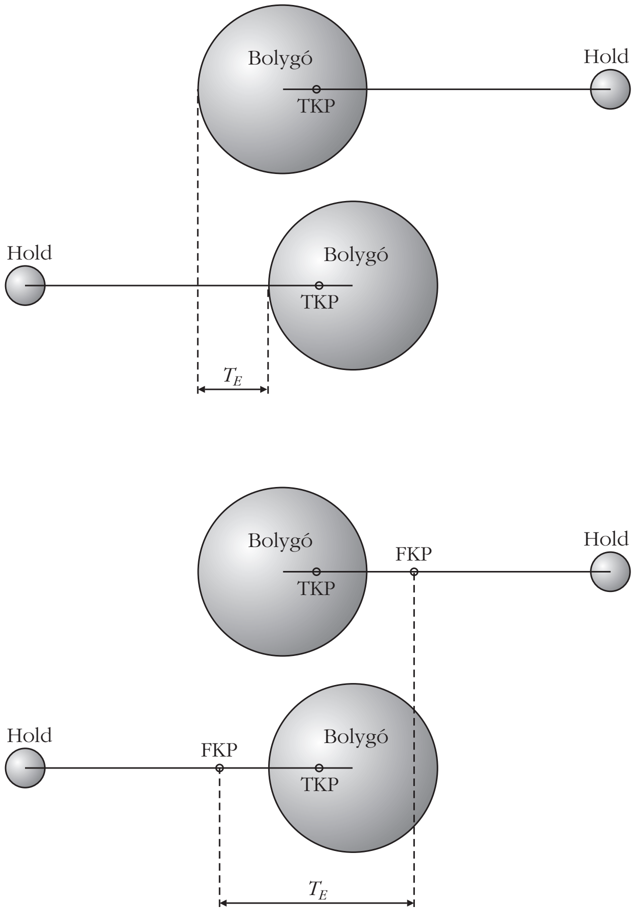


csillag sugarának mindössze hatszoros(!) távolságában. Maga a rendszer is minden szempontból unikális: ilyen forró csillag körül egyáltalán nem ismertünk még kísérőt, ráadásul a kísérő maga is egy „forró barna törpe” lehet – ez szintén egyedülálló.

Exoholdak

Különösen merész állításnak hangzik, hogy egyes kutatók már a távoli bolygóholdak kimutatásának lehetőségéről elmélkednek. Ám az ilyen jellegű vizsgálatok már korántsem a víziók, hanem a tudományosan megalapozott eljárások kategóriájába esnek. A távoli világok bolygóholdjainak felfedezése különösen izgalmas lenne, hiszen saját Naprendszerünkben is számos példát látunk arra, hogy milyen egzotikus világok rejtezhetnek egy-egy bolygó „udvartartásában”. A Jupiter Io nevű holdján aktív vulkáni tevékenység figyelhető meg. Egyes holdak (a Jupiter körül keringő Europa és Callisto, a Szaturnusz körüli Enceladus vagy a Neptunusz körüli Triton) esetében felszín alatti vízóceán lehet, míg a Szaturnusz Titan nevű kísérőjét vastag légkör borítja, felszínén pedig metánfolyók vannak. Földünk Holdja ránézésre nem ennyire különleges, de nagyon fontos szerepe van bolygónk forgástengelyének stabilizálásában, így az élet kialakulásában és fennmaradásában is. Ezért az exoholdak jövőbeli felfedezése további változatos égitestek megismerését, vagy akár életre utaló jelek kimutatását is maga után vonhatja.

9. ábra. Holdak kimutatására alkalmas két lehetséges mérés. A bolygó és a hold közös tömegközéppontját TKP jelöli, a bolygó keringése e pont körül kimutatható a bolygó tranzitidőpontjainak változásából. Hasonló lehetőség a kompozit fénygörbe (bolygó és hold együtt) súlyvonalának (centroidjának) megfigyelése, amely egybeesik egy, a térben elhelyezhető fotometriai középpont tranzitjával (FKP). Mivel FKP is TKP körül kering, a fénygörbe-centroidok is időpont-eltolódást mutatnak.



D. Williams modellszámításai [10] alapján az infravörös tartományban végzett megfigyelések során jó esély kínálkozik bolygó-hold rendszerek kimutatására. Exoholdak keresésére az infravörös hullámhossztartomány a legmegfelelőbb, mivel a legfeljebb néhány száz fokos testek hőmérsékleti sugárzásának zöme ebbe az intervallumba esik. Ezek a jelek nem túl erősek, de elemzésük révén még így is lehetővé válhat a bolygó kísérőinek kimutatása, különösen a Földéhez hasonló, légkör nélküli holdak esetében. Ezen égitestek felszíni hőmérséklete ugyanis rendkívül dinamikusan változik attól függően, hogy az adott terület éppen a nappali vagy az éjszakai oldalon van-e (Holdunk esetében az értékek körülbelül −220 és +130 °C között változnak). A hold nagy hőmérséklet-ingadozása apró, de periodikus jelként észlelhető az infravörös sugárzásban.

A Szegedi Tudományegyetemen és az MTA KTM Csillagászati Kutatóintézetben dolgozó kutatók egy csoportja – Szabó M. Gyula, *Szatmáry Károly, Simon Attila* – egy másik módszerrel történő exohold-detektálás lehetőségét vizsgálják [11]. Ötletük a már említett tranzitmódszerre épül. Az exoholdak detektálásának lehetősége a kísérőnek a bolygóra gyakorolt gravitációs vonzóerején alapul, ez a hatás pedig leginkább akkor figyelhető meg, ha a hold tömege relatíve nagy a planétáéhoz képest. Ugyanakkor a bolygóátvonulások során felvett fénygörbéken annál nagyobb arányú a fényességcsökkenés (és annál jobban vizsgálható rajtuk a holdak hatása), minél nagyobb a fedést okozó planéta. A feltételek alapján úgy tűnik, hogy a Szaturnuszhoz hasonló, alacsony átlagsűrűségű óriásbolygók kísérőinek kimutatására nyílhat először esély. A magyar csoport modellszámításai alapján, ha hold is kering a bolygó körül, apró időpont-eltolódások jelennek meg a fedési fénygörbén (*9. ábra*). A vizsgálatok szerint egy Földre hasonlító bolygó megtalálása esetén körülbelül 20% eséllyel lehet majd detektálni egy esetleg ott lévő, Holdunkhoz hasonló nagyságú kísérőt. Az eredményeket *D. Kipping* és munkatársai [12] is megerősítették: számítógépes szimulációkon alapuló eredményeik szerint a Kepler-űrtávcső érzékenysége elegendő lehet a Földünknél akár ötször kisebb tömegű bolygókísérők detektálásához is.

Összehasonlításképpen meg kell jegyeznünk, hogy a Naprendszerben lévő holdak jócskán alatta vannak ennek a határnak: bolygórendszerünk legnagyobb holdja, a Jupiter rendszerében lévő Ganymedes negyvenszer, míg a Hold nyolcvanszor kisebb tömegű planétánknál; de még bolygószomszédunk, a Mars tömege is csak nagyjából egy tizede a Földének. Mivel azonban tudjuk, hogy más naprendszerekben a Jupiternél jóval nagyobb tömegű bolygók is találhatók, nem lehet kizárni a Marsnál nehezebb holdak létezését sem. Az Európai Űrügynökség tervezett új űrobszervatóriuma, a PLATO teljesítménye már elegendő lehet egy 0,4 Föld-méretű exohold kimutatására is – ebbe a mérettartományba pedig már beleesik a Naprendszer 2-3 legnagyobb holdja! Ha a projekt zöld utat kap, minden bizonnyal ki fogja deríteni, hogy mi újság más naprendszerek bolygói körül – főleg a forró jupiterek és forró szuperföldek kísérőire remélhető megbízható statisztika. A tervezett űrtávcsöves programban egyébként jelen cikk első szerzője vezeti az exohold-programot.

Irodalom

1. Szatmáry Károly: Exobolygók. *Magyar Tudomány* (2006/8) 968–979.
2. Szatmáry Károly: Mindentudás az iskolában – Bolygók mindenütt. *Fizikai Szemle 57/12* (2007) 443.
3. Szabó Róbert: Bolygóáradat és asztroszeizmológia – Elindult a Kepler-űrtávcső. *Fizikai Szemle 59/4* (2009) 121.
4. Futó Péter: A Kepler-forradalom. *Fizikai Szemle 61/3* (2011) 87.
5. Szabó M. Gyula, Kiss L. László: A Short-period Censor of Sub-Jupiter Mass Exoplanets with Low Density. *Astrophysical Journal Letters 727* (2011) 44.
6. Winn, Joshua N., Fabrycky, Daniel, Albrecht, Simon, Johnson, John Asher: Hot Stars with Hot Jupiters Have High Obliquities. *Astrophysical Journal 718* (2010) 145.
7. Barnes, J. W.: Transit Lightcurves of Extrasolar Planets Orbiting Rapidly Rotating Stars. *Astrophys. J. 705* (2009) 683.
8. Különleges csillagrendszert fedeztek fel magyar csillagászok. *Fizikai Szemle 61/5* (2011) 180.
9. Szabó M. Gyula, Szabó Róbert, Benkő József, Holger Lehmann, Mező György, Simon Attila, Kővári Zsolt, Hodosán Gabriella, Regály Zsolt, Kiss L. László: Asymmetric transit curves as indication of orbital obliquity: clues from the late-type dwarf companion in KOI-13. *Astrophysical Journal Letters 736* (2011) L4.
10. Williams, D. M., Knacke, R. F.: Looking for Planetary Moons in the Spectra of Distant Jupiters. *Astrobiology 4* (2004) 400.
11. Simon Attila, Szatmáry Károly, Szabó M. Gyula: Determination of the size, mass, and density of “exomoons” from photometric transit timing variations. *Astronomy and Astrophysics 470* (2007) 727.
12. Kipping, D. M., Fossey, S. J., Campanella, G.: On the detectability of habitable exomoons with Kepler-class photometry. *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc. 400* (2009) 398.

ASZTROSZEIZMOLÓGIA ÉS CSILLAGKAVALKÁD A KEPLER-ŰRTÁVCSŐ OPTIKÁJÁN KERESZTÜL

Szabó Róbert, Derekas Aliz

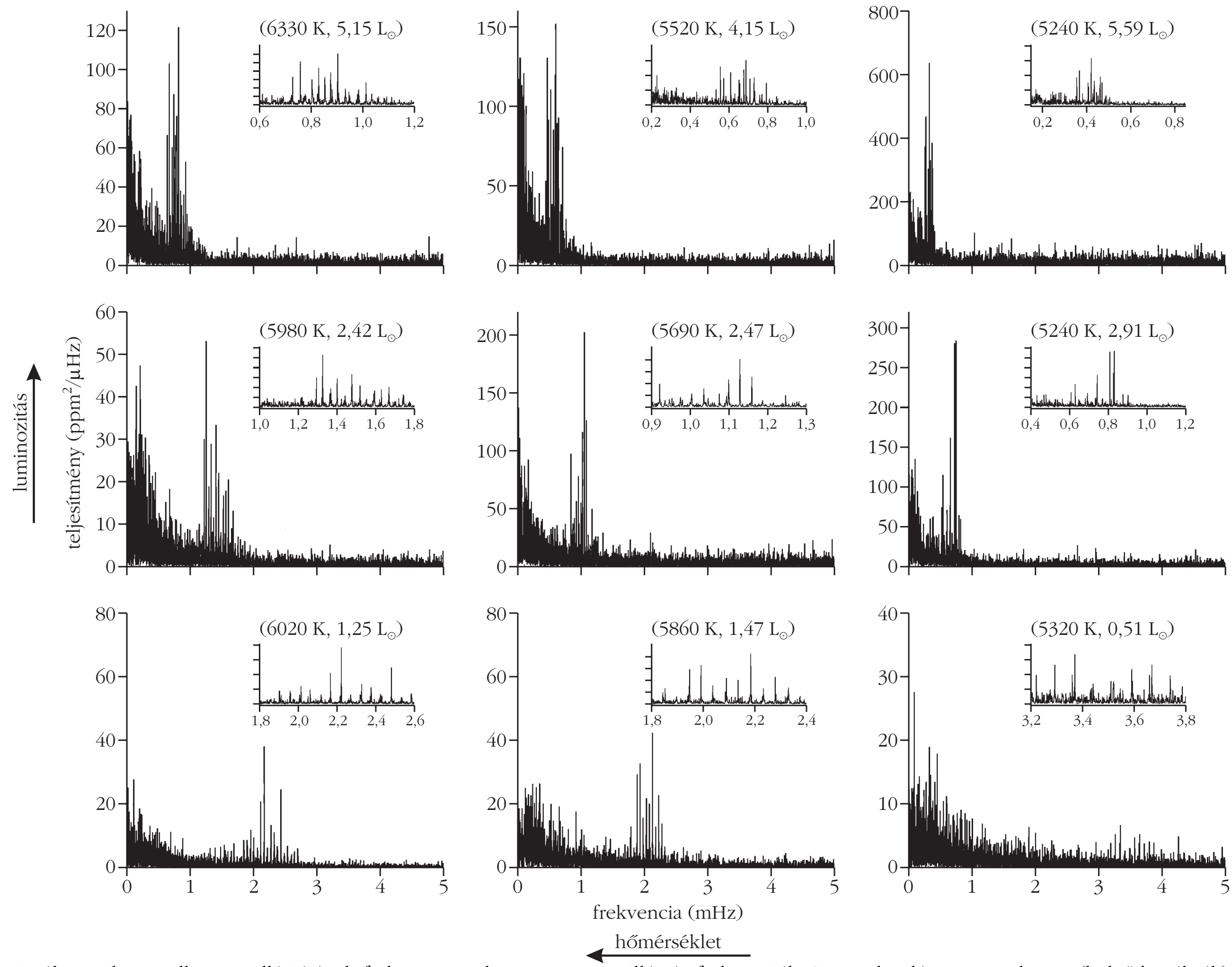
MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézet, Budapest

A Kepler-űrtávcső fő célja más csillagok körül található, Földhöz hasonló bolygók, valamint bolygórendszerek felfedezése [1]. Az űrtávcső immáron több mint két éve gyűjt fotometriai adatokat az ég egy bizonyos, 105 négyzetfokos területéről (a teljes égbolt körülbelül 40 000 négyzetfok), mintegy 160 000 csillagot monitorozva folyamatosan. Több mint 1200 bolygójelölt bejelentésével – amelyek meglepően nagy része több bolygót tartalmazó (nap)rendszerben található –, a Neptunusz és szuper-Föld méretű bolygók magas gyakoriságának megállapításával, a lakhatósági zónában keringő bolygók felfedezésével a Kepler alig két év alatt teljesen átformálta az exobolygókról szerzett ismereteinket. Azonban az utóbbi időben nemcsak a számos különleges exobolygó-felfedezés kötődik az űrtávcső nevéhez, hanem az asztrofizika egyéb területein is születtek jelentős áttörések. Ez nem meglepő, ha felidézzük, hogy a Kepler bolygókeresési stratégiája az úgynevezett tranzitmódszeren alapul, amely a távoli csillagok körül keringő bolygók csillaguk korongja előtti áthaladása által létrehozott fényességcsökkenés detektálását jelenti. (Fontos megjegyezni, hogy a csillag korongja a Keplerrel is felbonthatatlan, a bolygó maga pedig láthatatlan, mindössze a fényesség csökkenése mérhető.) Minthogy a Nap körül keringő Kepler 2–3 nagyságrenddel pontosabb fényességmérést tesz lehetővé a földi műszerekhez képest, ráadásul szinte folyamatosan figyel nagyszámú csillagot, ami a Földről vagy Föld körüli pályáról csak korlátozottan valósítható meg, ezért szinte törvényszerű volt, hogy magukról a csillagokról szerzett tudásunkat is forradalmasítsa a NASA űreszköze. Ennek alapja az, hogy a legtöbb csillag különféle fényváltozásokat mutat, amelyek az esetek többségében a csillag szerkezetéről, a benne végbemenő folyamatokról (pulzáció, oszcilláció), gravitációsan kötött kísérőjéről (fedési kettősök), esetleg forgásáról, aktivitásáról, csillag körüli anyagról stb. hordoznak információt. A legfrissebb, csillagok fizikájával kapcsolatos eredményekből szemezgetünk, külön kitérve a magyar vonatkozású felfedezésekre.

Szabó Róbertet a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj, Derekas Alizt a Magyary Zoltán Posztdoktori ösztöndíj, a KIK-csoport munkáját az MTA Lendület programja, az OTKA K83790 és MB08C 81013 számú pályázatai, valamint az Európai Közösség 7-es Keretprogramjának (FP7/2007–2013) 269194. számú szerződése támogatta.

Csillagrezgések bűvöletében

A csillagok rezgésével foglalkozó asztroszeizmológia segítségével bepillantást nyerhetünk a csillagok belső szerkezetébe is. Az első ismert pulzáló csillagok, a cefeidák rezgése meglehetősen egyszerű módja a pulzációnak, a csillag periodikusan kitágul és összehúzódik. A folyamatos rezgést az úgynevezett kappa-mechanizmus tartja fenn, amely a csillag bizonyos réte-



1. ábra. Kilenc csillag oszcillációjának frekvenciaspektruma. Az oszcillációs frekvenciák Gauss-eloszlást mutatnak ν_{max} (belső kis ábrák) körül. A csillagokat fényesség és hőmérséklet szerint rendezve jól látható, hogy a kisebb luminozitású csillagok oszcillációja gyengébb, mint a nagyobb luminozitású társaiké.

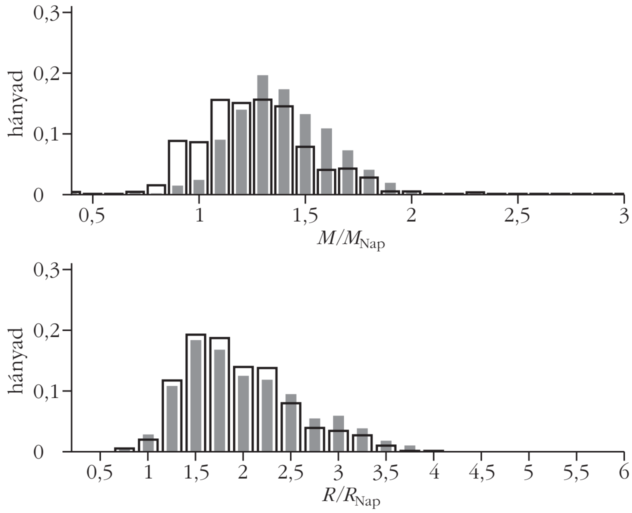
geiben végbemenő ionizációval és az anyag ezzel járó opacitás-változásával (a sugárzás szempontjából vett átlátszóság-változással) kapcsolatos. Az elmúlt évtizedekben másfajta pulzáló csillagokat is felfedeztek, amelyek több frekvenciával – több rezgési módusban – rezegnek. Ahogy a műszerezettség egyre jobb lett és egyre pontosabb méréseket tudtak végrehajtani, úgy nőtt a megfigyelhető, egyszerre gerjesztett módusok száma. Ez utóbbiban Napunk viszi el a pálmát: benne több mint egymillió oszcillációs módus együttes gerjesztettsége mutatható ki [2]. Az ezek által okozott fényességváltozás nagyon csekély, csak érzékeny műszerekkel mutatható ki. E rezgéseket egészen más mechanizmus váltja ki, mint a cefeidák esetében: a Nap felszíne alatti konvektív zónában levő anyag folyamatos mozgása berezgeti a csillagot, ami a sajátmódusaiban kezd el rezegni. Ezek a rezgések nem hosszú életűek, gerjesztés nélkül hamar lecsillapodnának, de a konvekció egyfolytában életben tartja őket. A más csillagokban előforduló ilyenfajta rezgéseket Nap típusú (szoláris) oszcillációnak hívjuk. Ezek a csillagok számos módusban rezegnek, amelyek széles frekvenciatartományban oszlanak szét, de a rezgések amplitúdója meglehetősen kicsi. Minden egyes rezgési módus a csillag belső szerkezetéről szolgáltat információt, hasonlóan ahhoz, ahogy a Földön haladó szeizmikus hullámok a Föld belső szerkezetébe engednek betekintést. Mivel a különböző módusok a csillag más és más rétegeibe hatolnak be, ezért minél több módust sikerül kimutatni, annál pontosabban meg lehet határozni az adott csillag felépítését. Szerencsére a csillagok széles csoportjánál várhatók ilyen rezgések, ezek azok, amelyek felszínén vagy ahhoz közel konvekciós réteg található. 2011 tavaszán négy cikk is megjelent a tekintélyes *Science* és *Nature* folyóiratokban, amelyek a Keplerrel végzett megfigyeléseken alapulnak, és ezen csillagrezgések tanulmányozásában nyújtanak nagy előrelépést [3].

Ötszáz tagú csillagzenekar

William Chaplin és munkatársai [4] ilyen rezgéseket használtak fel arra, hogy 500, Naphoz hasonló, de különböző korú csillag sugarának és tömegének eloszlását tanulmányozzák. A konvektív réteg keltette rezgések periódusa tipikusan néhány perc, amplitúdójuk pedig mindössze néhány milliomod rész (ppm – part per million). Korábban mindössze 25 hasonló csillag esetében voltak tanulmányozhatók ezek az oszcillációk.

Amint az *1. ábrá*n látható, a Nap típusú oszcillációk gazdag, szabályosnak tűnő, fésűszerű eloszlást mutatnak. Az ábrán látható *frekvenciák* (amelyek egyes rezgési módusok felhangjainak felelnek meg) *közötti jellemző távolság* (az úgynevezett nagy szeparáció) a csillag átlagos sűrűségének négyzetgyökével arányos. A rezgések amplitúdója nagyjából Gauss-eloszlást követ. A *maximális amplitúdóhoz tartozó frekvencia* $g\,T_{\mathrm{eff}}^{-1/2}$-nel arányos, ahol $g \sim M/R^2$ a csillag felszíni gravitációs gyorsulása, T_{eff} pedig a csillag effektív hőmérséklete. A csillagok hőmérsékletét földi többszín-fotometriai mérésekből megállapítva a Keplerrel mérhető két mennyiség lehetővé tette a csillagok tömegének és sugarának meghatározását csillagfejlődési modellektől függetlenül.

A sugarak eloszlása az elméleti számításoknak megfelelő eloszlást mutatta, a tömegeloszlás viszont meglepetést okozott. A megfigyelt eloszlás szélesebb és maximuma eltolódott a kisebb tömegű csillagok felé a várt eloszláshoz képest (*2. ábra*). Ez utóbbi a Kepler által megfigyelt csillagmező csillagaira jellemző paraméterek eloszlását modellező, a csillagfejlődést is figyelembe vevő szimulációján (szaknyelven populációszintézisen) alapszik. Amennyiben az eloszlás nagyobb mintára is hasonló, akkor át kell gondolnunk a születő csillagok tömegeloszlására és keletkezési ütemére vonatkozó elképzeléseinket, valamint a tömeg-sugár relációkat is újra kell kalibrálni. Ezenkívül a konvekció leírásának pontatlansága és a mintában rejtőzködő kettőscsillagok is hozzájárulhatnak a megfigyelt különbséghez – bár valószínűleg kisebb mértékben.



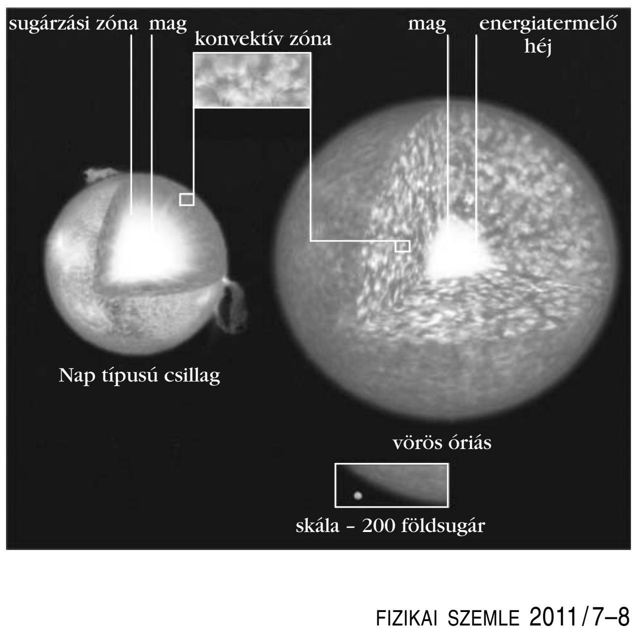
2. ábra. A fekete vonalak a Kepler-mintában vizsgált csillagok megfigyelt tömeg- (felső ábra) és sugáreloszlását (alsó ábra) mutatják, míg a szürkén satírozott eloszlások populációszintézis-modellezéssel készültek (és különböző megfigyelési effektusokra korrigáltak).

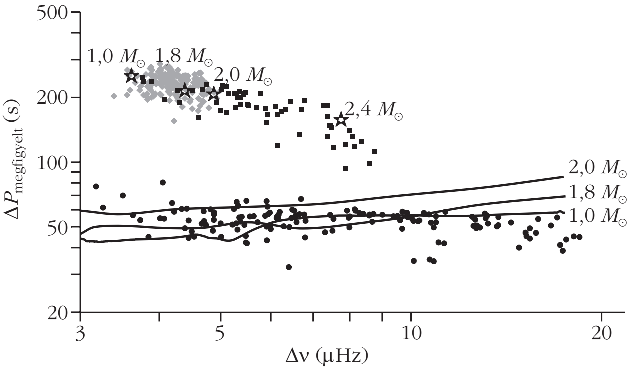
Pillantás a vörös óriások belsejébe

Beck és munkatársai [5] szintén a Nap típusú oszcillációkat használták fel, amikor a KIC 6928997 jelű vörös óriás csillagban mutatták ki a g-módusú rezgések perióduskülönbségeit 320 napnyi Kepler-megfigyelés alapján. A g-módusú rezgések nevüket az őket fenntartó erőről, a gravitációról kapták, szemben a p-módusú rezgésekkel, melyekben a nyomásé (pressure) a fő szerep. A legtöbb Nap típusú oszcilláció p-módusú, ezek többnyire a csillag felsőbb részein haladnak, és nem jutnak el mélyen a magba. A g-módusú rezgések azonban keresztülhaladnak a vörös óriáscsillag magján, így olyan információkat hordoznak magukkal a csillag kémiai összetételéről, sugárirányú sűrűségeloszlásáról és impulzusmomentumáról, amelyekről semmilyen más technikával nem szerezhetünk információt. A Kepler-űrtávcső segítségével ráadásul olyan kevert módusokat sikerült megfigyelni, amelyek a csillag külső tartományaiban p-módusú, a magban pedig g-módusú rezgésekként viselkednek. Ezen módusok perióduskülönbségei az elméleti számítások szerint a mag és a konvektív burok sűrűségkontrasztjára jellemzőek, így vizsgálatukkal sokkal jobban megérthetjük a vörös óriáscsillagok szerkezetét és fejlődését. A Kepler tehát elsőként engedett bepillantást a Nap távoli jövőjét megtestesítő csillagtípus szerkezetébe (*3. ábra*).

A *Tim Bedding* vezette kutatócsoport ennél is tovább ment [6]. Szintén a vörös óriásokban megfigyelt kevert módusok felhasználásával egyértelműen sikerült elkülöníteniük a csillagfejlődés különböző fázisaiban levő objektumokat, amelyek a felszíni tulajdonságaikat tekintve egyébként nem térnek el egymástól. Miután egy Naphoz hasonló, fősorozati csillag belsejében kellőképpen lecsökken a hidrogén aránya, a fúziós energiatermelés áttevődik egy, a mag körüli héjba, miközben a csillag külső rétegei felfúvódnak, és a csillag vörös óriássá válik. A későbbi fejlődés során a hélium is begyullad a magban. E különbségnek azonban semmilyen kívülről megfigyelhető hatása nincs a csillag külső rétegeire, amelyek sok szempontból lecsatolódtak a

3. ábra. Egy Nap típusú csillag és egy vörös óriáscsillag szerkezete.





4. ábra. A kevert módusok perióduskülönbségei 400 csillagra. Az ábra egyértelműen mutatja a két elkülönülő populáció létét. A hidrogént héjban égető vörös óriások (fekete körök) és a magban héliumot égető vörös óriások (szürke gyémántok és fekete négyzetek, ez utóbbiaknál nem lehetett megbízhatóan kimérni a frekvenciakülönbséget) jól elkülönülnek. A fekete vonalak a héjbeli hidrogénégető állapotra végzett modellszámítások eredményei.

magról, így eddig semmilyen megfigyelési információnk nem volt a két eltérő fejlődési állapotú csillagcsoportról. Itt jön a képbe a Kepler és az asztroszeizmológia. Ahogy korábban említettük, ezek a g-módusok és a kevert módusok a csillag mélyebb rétegeiben lévő folyamatokról árulkodnak, így a kutatócsoport a vizsgált Kepler-fénygörbék elemzése során arra jutott, hogy – összhangban az elméleti számításokkal – a két csoport elkülöníthető a kevert módusok perióduskülönbségei alapján. A mag körüli héjban hidrogént égető csillagoknál ez a különbség nagyjából 50 másodpercnek, míg a magban héliumot égető vörös óriásoknál 100–300 másodpercnek adódott, tehát a két csoport egyértelműen elkülönült (*4. ábra*). Ezen eredmények segítségével lehetőség nyílik arra, hogy tanulmányozhassuk a különböző fejlődési szakaszokban levő vörös óriások arányát, és tesztelhessük a csillag- és galaxisfejlődésről alkotott modelljeinket.

Vad csillagtánc

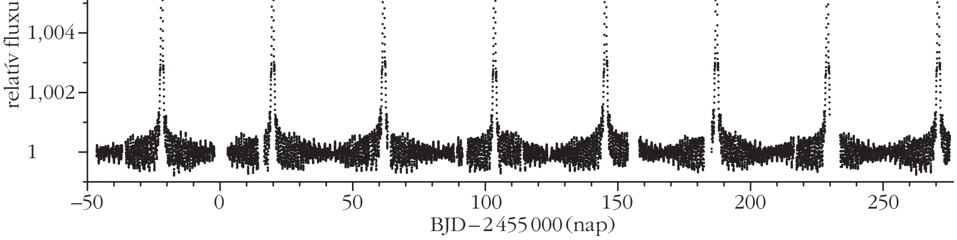
A Kepler által megfigyelt legtöbb csillagról nagyon kevés információ állt rendelkezésre az űrmisszió előtt. Ilyen a tőlünk nagyjából 1000 fényévre fekvő HD 187091 jelű objektum is. Egy évszázadon keresztül annyit tudtunk róla, hogy mind tömege, mind mérete körülbelül kétszerese a Napénak. A Kepler azonban drámaian más képet festett róla mindössze néhány hét megfigyelés alapján. Szabályos időközönként (42 naponként) a csillag 1%-nyi mértékben felfényesedik, majd visszahalványodik, a közbenső időben pedig jóval kisebb amplitúdójú, de komplex fényváltozások jellemzik (*5. ábra*). *William Welsh,* a San Diego-i Egyetem vizsgálatot vezető professzora szerint az első hipotézis az volt, hogy egy rendkívül egzotikus égitesttel – egy fekete lyukkal – állunk szembe, ami periodikusan felerősíti a körülötte keringő csillagkísérő fényét.[1] Ekkor azonban röntgensugárzást is kellene detektálnunk a fekete lyuk környezetéből, amit a NASA Swift röntgenteleszkópjával sikerült kizárni.

A rejtélyt további spektroszkópiai mérésekkel sikerült megoldani. Az időközben KOI-54 névre keresztelt csillagról[2] kiderült, hogy nem egy, hanem kettő, a Napnál kicsit nagyobb csillagot tartalmaz, amelyek nagyon elnyúlt elliptikus pályán keringenek egymás körül. Ennek eredményeként 42 naponként egészen közel viharzanak el egymás mellett, ami átmérőjük mindössze háromszorosát (120 millió km) jelenti. A felfényesedés azért következik be, mert a szoros megközelítés miatt a csillagok tojásdad alakúra formálódnak, miközben egymás felé forduló oldaluk jelentős mértékben felfűtődik. A legmeglepőbb azonban az a tény, hogy a felfényesedések alatt, illetve közben is az egyik (vagy mindkét) csillag olyan pulzációs frekvenciákat mutat, amelyek pontos többszörösei a keringési időnek, ami arra utal, hogy az árapály gerjesztette pulzációról van szó [7]. Ez a magyarázata tehát a fénymenetben megfigyelt oszcillációnak. Ezt a ritka jelenséget mindössze két másik alkalommal sikerült megfigyelni, de nem ilyen pontossággal és nem ilyen extrém pályaparaméterekkel bíró csillagpárosnál. A külső gerjesztés okozta pulzáció tálcán kínálja azt a lehetőséget, hogy a csillagok belsejét asztroszeizmológiai eszközökkel is vizsgáljuk, amire egyébként nem lenne módunk.

Magyar eredmények

Korábban már beszámoltunk a magyar vonatkozású eredményről, amelynek során *Derekas Aliz* (MTA KTM CsKI, korábban ELTE) és munkatársai egy egzotikus csillagrendszert fedeztek fel [8, 9]. A rendszer korábban szintén átlagosnak tűnt: mindössze két spektroszkópiai

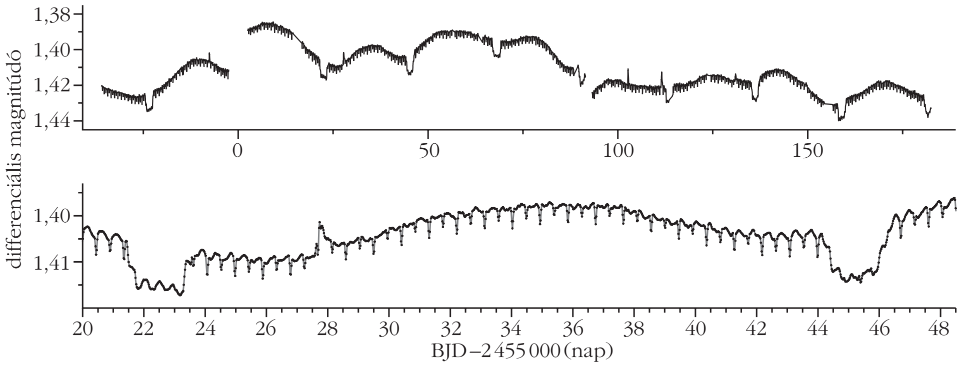
5. ábra. A KOI-54 normált fényessége az idő (a Naprendszer tömegközéppontjára vonatkoztatott baricentrikus Julian-napokban) függvényében.



[1] Ez az általános relativitáselméleten alapuló jelenség jól ismert a csillagászatban, mikrolencsézésnek hívják. Az 1990-es években számos égboltfelmérés kereste a mikrolencsejelenségeket a Galaxisunkban előforduló sötét – csillagászati méretű – égitestek után kutatva.

[2] Az érdekes, például bolygójelöltet mutató csillagok (Kepler Object of Interest) kapnak ilyen sorszámot.

mérés létezett róla az irodalomban, ennek alapján a HD 181068 körül egy kísérőt is feltételeztek. A később Trinitynek elnevezett rendszer igazi arcát szintén a Kepler mutatta meg: eszerint három csillagból áll, egy vörös óriásból és két vörös törpéből. Különlegességüket a rendszer speciális geometriája adja: a közel egy síkban mozgó hármasra szerencsés módon olyan szögben látunk rá, hogy a vörös törpepár 45,5 naponta eltűnik a vörös óriás mögött, közben pedig kölcsönös fedéseket is mutat 0,9 napos periódussal (*6. ábra*). A felfedezés és az azt követő földi megerősítő (follow-up) mérések rámutatnak a csillagászat művelésének mai gyakorlatára, hiszen nagyon sok tudós és mérnök dolgozott a Kepler-űrtávcső tervezésén, megépítésén és az adatok feldolgozásán, majd magyar vezetéssel, de széles nemzetközi összefogással sikerült a rendszer konfigurációját meghatározni. Így például a vörös óriás főkomponens átmérőjét ausztrál kutatókkal együttműködve, amerikai távcsöveket használva, interferometriai mérésekkel közvetlenül sikerült megmérni, amelyről így kiderült, hogy 12-szer nagyobb Napunknál. Magyar műszereknek is jutott szerep a munkában, ugyanis nagy szögfelbontású felvételek születtek Piszkés-tetőn az 1 méteres RCC-távcsővel, amelyek kizárták optikai kísérők összeolvadó képét egészen a 0,5 ívmásodperces határig.



6. ábra. A HD 181068 Kepler-fénygörbéje az idő (a Naprendszer tömegközéppontjára vonatkoztatott baricentrikus Julian-napokban) függvényében. A felső panelen 218 napnyi mérés, míg az alsón 28 napnyi szegmens látható, amely két egymást követő hosszú periódusú, valamint a rövid periódusú fedések részleteit mutatja be.

A csillag azonban még egy meglepetést tartogatott. Ha a KOI-54 esetében a keringés gerjesztette pulzációról beszéltünk, itt ennek éppen az ellenkezője történik. A CoRoT (európai fotometriai űrszonda) és a Kepler méréseiből tudjuk, hogy a hozzá hasonló vörös óriáscsillagok mindegyike mutatja a Nap típusú oszcillációk jelenségét (több mint ezer csillag alapján), ezen csillag esetében azonban ennek semmi jelét nem sikerült kimutatni, azaz valamilyen mechanizmus elnyomja, de legalábbis lecsökkenti az amplitúdóját. Vannak viszont hosszabb periódusú fényváltozások, amelyeknek elgondolásunk szerint közük lehet a vörös törpecsillag-pár keringéséhez, mivel ennek periódusa közel esik a talált rezgések periódustartományához. A Nap típusú oszcilláció hiánya teljesen váratlan, a pontos mechanizmus megértése egyelőre várat magára. További vizsgálatokat folytatunk, és sikerült elérnünk, hogy a Kepler általánosan használt 30 perces mintavételét a Trinity esetében cserélje fel a fontos csillagokra és bolygórendszerek megfigyelésére fenntartott 1 perces mintavétellel, ami a fedések pontosabb megfigyelését és a rendszer pontosabb leírását eredményezi majd, de azt reméljük, hogy közelebb visz a Nap típusú oszcillációk rejtélyes hiányának megértéséhez is.

A Kepler jövője

A sort még hosszan folytathatnánk az egyéb egzotikus csillag- (és bolygó-) rendszerekkel, befejezésként azonban csak kettőt említünk. A KIC 10195926 jelű, erős mágneses terű, A-típusú csillag olyan pulzációs módusokban rezeg, amelyek szimmetriatengelye nem esik egybe. Ráadásul torziós módusokat is mutat, amit úgy lehet legkönnyebben elképzelni, hogy hol a csillag északi, hol pedig a déli félgömbje forog gyorsabban [10]. A Kepler előtt egyik jelenséget sem sikerült megfigyelni. A másik a KOI-126, a Trinityhez hasonló, szintén hierarchikus hármas rendszer, ahol két kis tömegű (0,21 és 0,24 naptömegű) csillagból álló kettős kering egy nagyobb tömegű, fősorozati csillag körül. A keringési idők értéke 1,76 és 33,9 nap [11]. A rendszer fontossága abban rejlik, hogy az elméletek szerint mindkét kis tömegű csillag teljes mértékben konvektív, azaz bennük a Nap nagy részére jellemző sugárzási energiatranszport helyett a konvekció szállítja az energiát. Általában ezen (halvány) csillagok sugarát és tömegét csak nagy bizonytalansággal ismerjük. A fedési hármas rendszer elrendezése ebben az esetben viszont biztosítja, hogy e fontos csillagok alapvető paraméterei nagyon pontosan meghatározhatók.

✧

Úgy hisszük, sikerült meggyőzően bemutatni, hogy a Kepler nemcsak a bolygók, de a csillagok vizsgálatában is forradalminak nevezhető áttörést produkált. A Kepler által felfedezett, figyelemre méltó bolygórendszerek, az exoplanéták megsokszorozott száma és nem utolsósorban a korábban soha nem látott furcsa és sokszor bizarr, magányos és többszörös csillagok minden bizonnyal oda fognak vezetni, hogy az eredetileg 3,5 évre tervezett programot még 2,5 évvel meghosszabbítják. Erről 2011 végén születik döntés. Ha valóban így lesz, akkor nemcsak a hosszabb keringési idejű (ezáltal nagyobb valószínűséggel lakható) bolygók lesznek felfedhetők, hanem a fontos asztrofizikai mérföldköveknek tekinthető sztelláris objektumok felfedezése és vizsgálata is folytatódhat, és a magyar kutatókat is büszkeség töltheti el, hogy hozzájárulhattak korunk egyik jelentős űrprogramjának sikeréhez.

A magyar Kepler-csoportról (KIK: *K*epler *I*nvestigations at the *K*onkoly Observatory) annak honlapján http://www.konkoly.hu/KIK/ található további bőséges információ.

Irodalom

1. Szabó Róbert: Bolygóáradat és asztroszeizmológia – Elindult a Kepler-űrtávcső. *Fizikai Szemle 59/4* (2009) 121.
2. D. O. Gough, J. W. Leibacher, P. H. Scherrer, J. Toomre, *Science 272* (1996) 1281.
3. M. H. Montgomery, *Science 332* (2011) 180.
4. W. J. Chaplin, H. Kjeldsen, J. Christensen-Dalsgaard és mtsai, *Science 332* (2011) 213.
5. P. G. Beck, T. R. Bedding, B. Mosser és mtsai, *Science 332* (2011) 205.
6. T. R. Bedding, B. Mosser, D. Huber és mtsai, *Nature 471* (2011) 608.
7. W. F. Welsh, J. A. Orosz, C. Aerts és mtsai, *Astrophysical Journal* (2011) beküldve, arXiv:1102.1730
8. A. Derekas, L. L. Kiss, T. Borkovits és mtsai, *Science 332* (2011) 216.
9. *Fizikai Szemle 61/5* (2011) 180.
10. D.W. Kurtz, M. S. Cunha, H. Saio és mtsai, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 414* (2011) 2550.
11. J. A. Carter, D. C. Fabrycky, D. Ragozzine és mtsai, *Science 331* (2011) 562.

UTAZHATNAK-E ÉLŐLÉNYEK A BOLYGÓK KÖZÖTT?

Kereszturi Ákos

Collegium Budapest és Magyar Csillagászati Egyesület

Elméletileg nem kizárt, hogy élőlények a világűrbe is kijussanak, tetszhalott állapotban túléljék az ott uralkodó körülményeket, majd megfelelő viszonyok közé kerülve ismét életre keljenek. Ezeket a teóriákat pánspóra vagy pánspermia elméleteknek nevezik. Az elgondolás *Anaxagorasz*t követően, modern megközelítéssel elsőként *Berzelius* (1834), majd *Kelvin* (1871) és *Helmholtz* (1879) munkáiban olvasható. *Svante Arrhenius* 1903-ban közölt hasonló teóriát, ő meteoritok nélkül számolt azzal, hogy a baktériumok utazhatnak a világűrben.

Amikor egy élőlény egy kőzetdarabban utazik, a lehetőséget litopánspermiának nevezik. A fenti elméletek nem adnak magyarázatot az élet keletkezésére, eszerint az egyes égitestek egymást „fertőzik” meg az élettel. Mindehhez első lépésként egy élethordozó égitestet (például Föld) élőlények hagyják el, amelyek tetszhalott állapotba kerülnek. Ezt követően bizonyos ideig utaznak a világűrben, mozgásukat gravitációs és kis tömeg esetén sugárzási folyamatok erősen befolyásolják, majd véletlen folyamatok révén landolnak egy másik égitesten. Ha ott megfelelő körülmények közé kerülhetnek, ismét életképesekké válhatnak. Elkülöníthető Naprendszeren belüli és azon kívüli utazás.

Start egy bolygóról

Egy nagy becsapódás (*1. táblázat*) a felszínközeli kőzeteket úgy lövi ki, hogy bennük az ellenálló mikrobák kevéssé roncsolódnak, ha a start során fellépő nyomást és hőmérsékletet túlélik. Utóbbira egyrészt a jelenség gyors lezajlása miatt van lehetőség, de csak annál a testnél, amely a felszínhez közeli rétegben található, illetve nem a robbanás forró centrumában helyezkedik el.

A mélyebb rétegekben a kilökődés pillanatában nagy nyomás lép fel, amíg az anyag felgyorsul. Ellenben a felszínközeli réteg a kifelé haladó lökéshullámtól nem nyomódik össze ennyire, mivel felette nincs szilárd anyag, hanem kis nyomást átélve gyorsul a kritikus érték fölé (*1. ábra*).

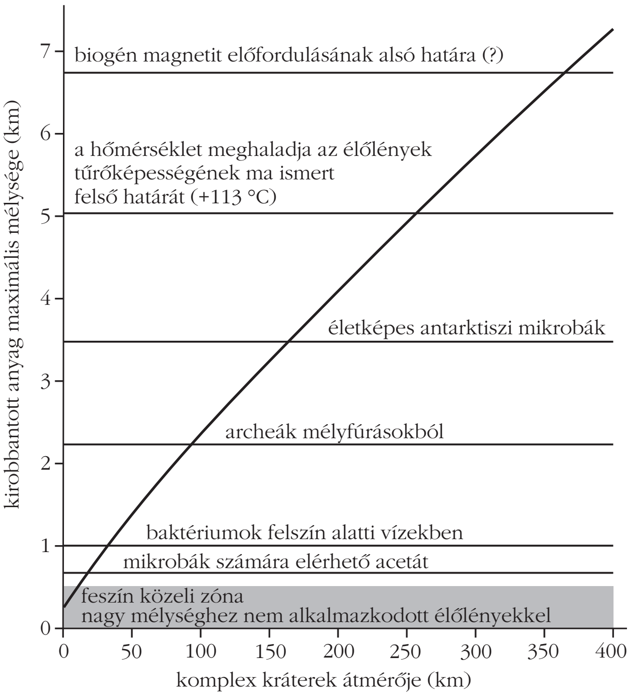
A fentinél talán lassabb folyamat is juttathat apró élőlényeket a világűrbe. Ennek keretében a szelek 10–50 kilométeres magasságba szállítják az apró sejteket. A viharfelhők szintje felett sok időt tölthetnek, miközben szaporodnak, illetve bizonyos mértékig alkalmazkodnak az ott uralkodó erősebb sugárzáshoz, kisebb légnyomáshoz és alacsonyabb hőmérséklethez. Az apró testek a felületükön megtapadó töltések miatt a globális mágneses térrel kölcsönhatásba lépnek, ha pedig az ekkor ébredő erő meghaladhatja a gravitációs erőt, tovább emelkedhetnek. A magnetoszférában az ideális esetben töltéssel még mindig bíró testeket elsősorban az úgynevezett magnetoszferikus buborékok szállítják tovább. Utóbbiakban a mágneses tér olyan szerkezetet vesz fel, amelynek hatására a környező erővonalakkal kölcsönhatva

1. táblázat

Becsapódáskor kirepülő anyag jellemzői a Marsnál

becsapódó test átmérője (km)	keletkező kráter átmérője (km)	100 °C alatti hőmérsékleten kidobott anyag mennyisége (g)
100	800	$8{,}3\times10^{17}$
30	250	$2{,}2\times10^{16}$
20	175	$5{,}5\times10^{15}$

Az alábbi írás az idén tavasszal megjelent *Asztrobiológia* című könyvből származó rövid fejezet. Célja, hogy példát mutasson a könyv témaköreiből és a tárgyalás szakmai mélységéről.



1. ábra. Egy becsapódással keletkezett kráter közelítő mélysége (vízszintesen) és a kidobott anyag maximális származási mélysége (függőlegesen), valamint néhány földi élőlény jellegzetes maximális előfordulási mélysége.

nagy sebességgel eltávolodnak bolygónktól – elvileg ekkor „csupasz” élőlények juthatnak a világűrbe.

Utazás a bolygóközi térben

A világűrben uralkodó körülményeket csak tetszhalott állapotban lehet túlélni. Erre egyes baktériumoknál ideális a spóraállapot, amikor inaktív fázisba kerülve szélsőséges környezeti viszonyokat (alacsony hőmérséklet, szárazság, erős sugárzások) képes túlélni a baktérium.

Az alacsony hőmérséklet és a teljes szárazság mellett súlyos problémát jelentenek az intenzív sugárzások. Ezek roncsoló hatása miatt tetszhalott állapotban is csak bizonyos nagyságú dózis (teljes sugárzásmennyiség) tolerálható – ha túl nagy a roncsolás, utána már kedvező körülmények esetén sem lesz életképes az élőlény. A sugárdózist a világűrben töltött idő, valamint az élőlényt övező sugárvédő borítás és annak esetleges saját sugárzása együtt határozza meg. Az egyszerű élőlények tetszhalott állapotban, rövid idő alatt védelem nélkül sem feltétlenül szenvednek el akkora sugárterhelést, hogy többé már ne legyenek életképesek.

Hosszabb időt pedig megfelelő sugárvédő réteg segítségével, például egy kőzet belsejében vészelhetnek át. Durva közelítéssel egymillió éves űrbeli tartózkodáshoz egy méter vastag kőzetréteg nyújthat megfelelő sugárvédelmet. Hosszú időskálán azonban már a kőzet saját radioaktivitása lehet veszélyforrás, amely az összetételtől függ.

2. táblázat

A Naprendszerben becsült bolygóközi anyagcsere mértéke

forrás égitest[1]	szökési sebesség (km/s)	cél égitest[2]	égitestre érkező anyag[3] (%)	átlagos utazási idő (10^6 év)
Merkúr	4,4	Merkúr	80	0,1–10
		Vénusz	7	5–30
		Föld és Hold	0,5	10–30
		Mars	–	–
Vénusz	10,4	Merkúr	0,5	1–10
		Vénusz	50	0,1–10
		Föld és Hold	9	0,1–10
		Mars	<1	1–50
Föld és Hold	11,2 és 2,4	Merkúr	–	–
		Vénusz	15	0,1–10
		Föld és Hold	50	0,01–10
		Mars	0,1	1–50
Mars	5,0	Merkúr	–	–
		Vénusz	4	1–20
		Föld és Hold	5	1–20
		Mars	3	0,1–20

[1] ahonnan az anyag kirepül
[2] ahol a kidobott anyag véletlenszerűen landol
[3] a teljes kidobott anyagmennyiséghez viszonyítva

Landolás egy „lakható” égitesten

A légköri belépéskor lezajló események a test tömegétől, sebességétől, érkezési szögétől, a légköri sűrűség függőleges eloszlásától és a test belső szerkezetétől is függenek. A legkisebb szemcsék erős felhevülés nélkül magasan lelassulnak, majd lassan ülepednek a felszín felé. A nagyobb testek a légkörben felizzanak, közben lassulnak. Gyakran teljesen megsemmisülnek, esetleg a magasban felrobbannak, de lelassulhatnak, majd szabadeséssel lehullanak. A legkisebb testeknél tehát nincs felhevülés, viszont csak rövid űrbeli tartózkodás lehetséges veszélyes sugárterhelés nélkül. A nagyobbaknál jobb a sugárvédelem, de csak a kőzetek belsejében lehet túlélni a külső felület felhevülését a légköri fékeződéskor.

Egy adott bolygórendszeren belül sokkal nagyobb az esély az élet ilyen vándorlására (*2. táblázat*), mint hogy a kirepült test egy másik csillag körüli planétán landoljon. A Chicxulub becsapódás alkalmával például körülbelül 10^9–10^{10} tonna anyag repült ki a Földről, amelyből a hozzánk száz fényévnél közelebbi egy-egy csillag környezetébe már csupán gramm nagyságrendű anyagmennyiség juthatott el. Jelenleg évente tonnányi anyag hagyhatja el a Naprendszert.

2. ábra. A Foton-M3 visszatérő egysége, amelynek külső felületén a STONE-6 kísérlet kőzetmintái kaptak helyet (ESA).

Kísérletek

A pánspóra elméleteknél kísérletesen vizsgálható az élőlényeknek a nagy nyomással és sokkhatással szemben mutatott túlélőképessége, amely a „kilövés" és a „landolás" pillanatában léphet fel. Az űrbeli túlélőképesség Föld körüli pályán és szimulációs kamrákban tanulmányozható, a mesterséges meteoritokkal pedig a „leszállás" előtti légköri fékeződés vizsgálható. Az alábbi példák ezek közül mutatnak be néhányat.

Az LDEF (Long Duration Exposure Facilty) műholdon, amely 1984 és 1990 között keringett a Föld körül, spórákat helyeztek el. Az űreszköz hazaszállítása után a baktériumspórák közel kétharmada ismét életképes volt. Célirányosabb összeállítás az orosz FOTON műholdak fedélzetén elhelyezett BIOPAN kísérlet volt, amelyben két hétig vákuumnak, a világűr sugárzásainak és extrém hőmérsékleteknek tettek ki élőlényeket (főleg mikrobákat, növénymagvakat), valamint szerves anyagokat. A tetszhalott állapot után a Földön legjobban vizsgázott a *Bacterium subtilis*. Ezeket agyagban, vörös homokkőben, a Millbillie meteorit és a Zagami marsi meteorit anyagában, valamint szimulált marstalajmintákban helyezték el. A világűr körülményeinek közvetlenül kitett példányoknak körülbelül egymilliomod része maradt csak életképes, ellenben amelyeket kőzetszemcsékkel kevertek össze, 50–90% között volt az arány. Kiderült továbbá, hogy nem csak a sporulációra képes élőlények élhetnek túl egy űrbeli utazást. Ezek között említhető a *Synechococcus* cianobaktérium, amely populációjának közel negyede életképes maradt.

A STONE-1 kísérlet során 1999-ben egy-egy kapszula tért vissza a Föld körüli pályáról bolygónkra, és 7–8 km/s sebességgel lépett be a légkörbe. A visszatérő egység külső felületére különböző kőzetmintákat rögzítettek, és a landolás után a légköri súrlódás, valamint a magas hőmérséklet hatását vizsgálták rajtuk. Egyes minták hátoldala (amely a szonda testével és nem a légkörrel érintkezett) *Chroococcidiopsis* cianobaktériumokat is tartalmazott.

A STONE-6 kísérletben a visszatérő kapszula külső felületén helyezték el a mintákat, köztük üledékes kőzeteket és bazaltokat. Az egység 12 napos Föld körüli keringés után landolt. A külső felületen lévő 3,5 milliárd éves vulkáni homokból álló, összecementált üledék az ausztráliai Pilbaból származott. Ennek közel fele elizzott a visszatérés során, de a mélyebben lévő fosszíliák egy része felismerhető maradt benne. Egy 350 millió éves agyagkőnek közel 30%-a maradt meg épségben. Miközben körülbelül 1700 °C lépett fel a minták felületén, az élőlényeket a körülbelül 2 cm vastag kőzetréteg nem tudta megvédeni a forróságtól. A cianobaktériumok nem élték túl a visszatérést a 2 cm vékony minta belső oldalán, azonban fosszíliáik (akárcsak a kőzetmintákban lévő idős fosszíliák) a lehullás után is felismerhetőek maradtak, ugyanakkor jelentős ásványtani átalakulások is történtek.

A MarsTox kísérletben szimulált marsi regolit mintába helyeztek baktériumokat. Ezeket szerény sugárzásvédelemmel is ellátták a Föld körüli pályán, ami a Mars felszínére jellemzőhöz közeli sugárdózist eredményez. Itt a marstalaj mérgező hatását és az erős ultraibolya sugárzás együttes következményét vizsgálták. A MarsTox I a FOTON M-2 kísérlet keretében 2005-ben, a MarsTox II a FOTON M-3 fedélzetén 2007. szeptember 14–26. között volt Föld körüli pályán, utóbbinál már a Mars légköri portartalmának következményét is megpróbálták figyelembe venni (*2. ábra*). A marsihoz hasonló körülmények között jobban élték túl a baktériumok az űrutazást, mint a vákuumnak közvetlen kitéve, a minta mérgező kémiai hatása pedig nem volt kimutatható.

Inaktív formában néhány millió éves tetszhalott állapot utáni „feléledést" már több alkalommal kísérletesen bizonyítottak. 30–40 millió éves baktériumokról készült megfigyeléseken egyelőre vitatkoznak a szakemberek, mivel nehéz a méréseket nagy pontossággal kivitelezni. Egy, az új-mexikói sókristályban talált 250 millió éves baktérium életképessé válásáról pedig még bizonytalanabbak az ismeretek.

Vastagabb, vagy rosszabb hővezető anyagnál kedvezőbb lehet a helyzet. A korábbi feltételezésekkel ellentétben, a földihez hasonló üledékes kőzetek is egyben maradhatnak a légköri belépés során (ilyen marsmeteoritokat eddig nem találták, és feltételezték, hogy azok teljesen elizzanak, illetve szétdarabolódnak a légkörben).

A pánspóra alapú utazás az élőlényeknél elsősorban a Föld és a Mars viszonylatában érdekes. Mivel bolygónk gravitációs tere erősebb a Marsénál, kevesebb földi meteorit landolt a vörös bolygón, mint fordítva. A „bolygóközi anyagcserére" főleg a Naprendszer korai időszakában kerülhetett sor, amikor gyakoribbak voltak a becsapódások. Nem kizárt, hogy a gyorsabban hűlő Marson korábban lett annyira hűvös a felszín, hogy ott a folyékony víz megjelenjen, és ott akár korábban is kialakulhatott az élet, mint a Földön. Ha ez megtörtént, meteoritokban a Földre is juthattak az első „marslakók". Fontos megemlíteni továbbá, hogy ha a földi életet a világűrből érkezett élőlényekkel magyarázzuk, azzal még nem adtunk választ az élet kialakulására. Utóbbira mai ismereteink alapján az ősi Földön jó esélyek voltak.

EGYEDI MOLEKULÁK SZERKEZETMEGHATÁROZÁSA: SEGÍTHET-E A RÖNTGEN SZABADELEKTRON-LÉZER?

Jurek Zoltán, Faigel Gyula, Bortel Gábor, Tegze Miklós
MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet

A különböző anyagok, anyagcsaládok tulajdonságainak megismerése, majd megszerzett tudásunk alapján igényeinknek megfelelő új anyagok előállítása nagyban elősegítette a technika fejlődését, mai modernizált világunk kialakulását. Mindennek lényeges pillére a szerkezetkutatás, amelynek célja az anyagokban található atomi elrendeződés meghatározása. Ez az ismeret azért fontos, mert az anyagok fizikai és kémiai tulajdonságai szorosan összefüggnek azzal, hogy milyen atomokból, molekulákból épülnek fel és ezek hogyan helyezkednek el a térben.

Az anyagvizsgálat, szerkezetkutatás alapvető módszerei közé tartoznak a szóráskísérletek. Ilyenkor egy ismert tulajdonságú hullámot bocsátunk a mérendő objektumra, majd a kölcsönhatásuk miatt megváltozott hullámtér detektálásából következtetünk a minta tulajdonságaira, például szerkezetére. Ahhoz, hogy atomi elrendezésekről kapjunk információt, az alkalmazott hullám hullámhosszának az atomi távolságok nagyságrendjébe kell esnie, azaz $\lambda \sim 0{,}1$ nm. Elektromágneses hullámot alkalmazva ez a röntgensugárzás tartományát jelenti. A röntgensugárzás rugalmas szóródása legerősebben a minta elektronjain megy végbe, ezért a módszerrel a térbeli elektronsűrűséget térképezhetjük fel. A röntgen behatolási mélysége viszonylag nagy, segítségével az anyagba „beleláthatunk”, tömbi információhoz jutunk.

A röntgensugárzás 100 éves történetének tudományos fontosságát mi sem tükrözi jobban, mint hogy hozzá kapcsolódóan az 1900-as évektől napjainkig 14 Nobel-díjat ítéltek oda.

A szerkezetkutatás új kihívása: a kristályoktól az egyedi molekulák felé

Általában elmondhatjuk, hogy a kísérleti berendezések fejlődése a kapcsolódó tudományágak intenzív fejlődését vonja maga után. Erre jó példa a szinkrotron források megjelenését követő forradalmi változás a kristályosítható fehérjék szerkezetkutatásában: a publikus Protein Data Bank (www.pdb.org) adatbázis ma már több, mint 70 000 fehérje szerkezetét tartalmazza. Azonban nem minden molekula kristályosítható, vagy előfordulhat, hogy nem a kristályos forma szerkezete érdekel minket. Különösen a biológia területén mutatkozik nagy igény az egyedi molekulák feltérképezésére.

Egy röntgenszórásos (*röntgendiffrakciós*) mérés során a mintán szóródott sugárzás irány szerinti intenzitáseloszlása, a szóráskép kerül rögzítésre. Kristályok esetén cél az elemi egységet alkotó molekulák rekonstrukciója és azok térbeli periodikus rendjének, a kristályrácsnak a meghatározása. A röntgenszórás a minta 10^9–10^{23} db azonos atomcsoportján egyszerre történik, ami az egy molekulán elvileg mérhető jel jelentős felerősödését eredményezi. Azonban, ha a minta csupán egyetlen molekulából áll, nincs ez az erősítő hatás, ami a mérhetőséget drasztikusan megnehezíti.

Azt gondolhatnánk, hogy ha kicsi a jel, ezt pótolhatjuk hosszabb mérési idővel. A helyzet nem ilyen egyszerű. Egyrészt még a legmodernebb szinkrotron sugárforrásokat felhasználva is irreálisan hosszú mérésidőket kapunk. Másrészt a minta jelentős sugárkárosodást szenved, jóval a megmérhetősége előtt tönkremegy.

Ennek oka, hogy a mérés során nemcsak a számunkra szerkezeti információt hordozó rugalmas, hanem a rugalmatlan, energiaátadással (például fotonok elnyelődésével) járó folyamatok is végbemennek. Ezek okozzák a minta ionizációját, kötések felszakadását, átrendeződését, a károsodást. A biológiai rendszerek atomjainak legnagyobb része könnyű elem (mint szén, nitrogén, oxigén), amelyekre ráadásul mintegy 10-szer nagyobb (!) a fotoeffektus (rugalmatlan folyamat) valószínűsége, mint a röntgen rugalmas szóródásáé. Azaz mire atomonként legalább 1 rugalmasan szóródott fotont detektálnánk, drasztikusan roncsolódik a minta. A sugárkárosodás természetesen a kristályos minták esetén is probléma: gyakran a szinkrotronos mérés alatt is tönkremegy egy kristályos biológiai minta. Azonban az a tény, hogy az atomok elmozdulása egy kristályban jelentősen korlátozott, lassítja a károsodást. Továbbá, mivel sok molekulapéldány átlagát mérjük, a véletlenszerűen végbemenő roncsolódásoknak a szóráskép megváltozásában tükröződő hatását a kiátlagolódás jelentősen csökkenti.

Egyedi (tehát nem kristályos) minta esetén ezek a hatások nincsenek: minden egyes változás az eredeti szerkezet irreverzibilis megváltozását eredményezi. Amennyiben a mérésidő ezen folyamatok tipikus időskálájánál jóval nagyobb (ahogy ez a 20. század röntgenforrásai esetén van), a szerkezetmeghatározáshoz elégséges információ elvileg sem gyűjthető össze az eredeti szerkezetről a károsodás előtt [1].

Svédországban élő magyar kutató, *Hajdu János* ismert fel egy lehetséges kiutat [2]. Ötlete a következő gondolatmeneten alapul: végezzük el olyan gyorsan a mérést, ami alatt még nem, vagy csak alig mozdulnak el az atomok. Becslések azt mutatják, hogy ez

A 2010. évi Fizikus Vándorgyűlésen elhangzott előadás szerkesztett változata.

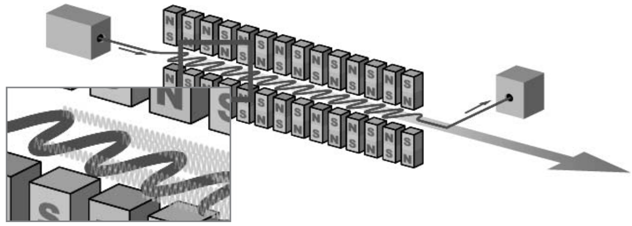
az idő rövidebb kell legyen, mint 100 fs. Ez sokkal kisebb, mint a szinkrotronokból jövő impulzusok hossza (tipikusan 50 ps). A mérésre mégis az ad reményt, hogy az utóbbi évtizedben egy új típusú röntgen sugárforrást dolgoztak ki, a röntgen szabadelektron-lézert, amely képes 100 fs-nál rövidebb, nagyon intenzív impulzusokat előállítani. Azonban a későbbiekben írottakból látni fogjuk, hogy önmagában a rövid impulzusok még nem elégségesek a szerkezetmeghatározás minden problémájának megoldásához, ehhez számos gyakorlati és elvi kérdés megválaszolása szükséges. Ezeket a következő fejezetekben tárgyaljuk.

A röntgenforrások új generációja: a röntgen szabadelektron-lézerek

Az optikai lézerek által kibocsátott fény unikális tulajdonságokkal rendelkezik: keskeny sávszélesség (azaz nagy pontossággal egyféle hullámhosszú fénykomponenst tartalmaz), nagy térbeli (cm – km) és időbeli (ns – ms) koherencia, nagy intenzitás. Különböző üzemmódú lézerek léteznek: vannak folytonos és impulzus üzeműek, napjainkban pedig már az ultrarövid fs-os impulzushossz is elérhető. E fényforrások kétségkívül az anyag megismerésének lényeges eszközeivé váltak.

A speciális tulajdonságú fény keletkezéséhez szükség van valamilyen közegre, amely egy hullámhosszon történő sugárzást preferál, valamint a közeg és a kibocsátott hullám közötti kölcsönhatásra, ami majd a sugárzás felerősödését eredményezi. A hullámhosszt kiválaszthatja például atomok elektronállapotai közötti energiakülönbség: ha az elektronok erősebben kötött állapotokból a gyengébben kötöttbe való gerjesztése után visszatérnek alapállapotukba, az átmenet során az energiakülönbségnek megfelelő karakterisztikus sugárzás jelenik meg. A közeg és a már kibocsátott sugárzás kölcsönhatását úgy tesszük lehetővé, hogy a fényt tükrökkel visszavezetjük a közegbe. A tükrök megfelelő távolsága esetén állóhullám alakul ki, az állóhullám pedig a gerjesztett atomokat vele megegyező fázisú hullám kibocsátásával járó átmenetre készteti (indukált emisszió). Ha kívülről (például egy villanólámpával) fenntartjuk az atomok gerjesztettségét (populációinverziót létrehozva), a rendszerbe pumpált energia áttételesen a kialakuló és egyre erősödő hullámtérnek adódik át. A sugárzás kicsatolása például az egyik tükrön keresztül történhet.

Az ultrarövid impulzusú optikai lézerek nagy időfelbontású méréseket tesznek lehetővé, viszont a nagy térbeli (atomi) felbontáshoz a hullámhossz csökkentése szükséges. A fent említett séma sajnos nem alkalmazható a rövid hullámhosszú röntgenlézer előállítására, mert ugyan találhatunk olyan atomokat, amelyek rendelkeznek a kívánt energiakülönbségű elektronállapotokkal, de a röntgensugárzás számára merőleges beesésben működő tükrök nem léteznek.

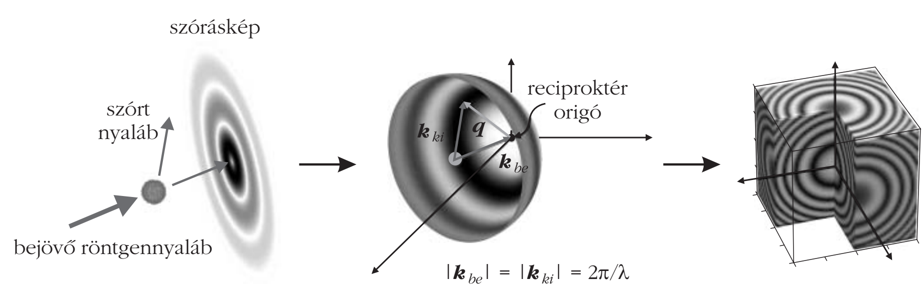


1. ábra. A szabadelektron-lézer sugárzásának kialakulása az undulátorban. Az elektroncsomag elektronjai pályájuk kanyarulataiban előre sugároznak, az átfedő sugárzásból felerősödő komponens hullámhosszát az elektronok energiája és az undulátor paraméterei határozzák meg. A paraméterek megfelelő hangolása esetén (egy pályaperiódus alatt az elektronok pontosan egy fényhullámhossznyit maradnak le a sugárzástól) rezonancia alakul ki az elektronok és a tér között, ami önerősítő spontán emissziót (Self-Amplified Spontaneous Emission, SASE) eredményez (kép forrása: http://en.wikipedia.org/wiki/Free-electron_laser).

A szabadelektron-lézerek (Free Electron Laser, FEL) [3–5] működési elve viszont lehetőséget adhat a kívánt rezonancia huzamos fenntartásához, bár ahhoz, hogy technológiailag megvalósítható legyen a röntgen tartományban működő FEL (röntgen szabadelektron-lézer, XFEL), napjainkig kellett várni. A lézerhatás a szinkrotronokban alkalmazott periodikus mágnesen (undulátoron) áthaladó ultra relativisztikus, 10–15 GeV-es energiájú szabad elektronok csomagja és az általuk kibocsátott sugárzás kölcsönhatására épül. A mágneses tér hullámpályára állítja a relativisztikus elektronokat, amelyek a görbült pályaívek mentén egy előre irányuló keskeny kúpba koncentráltan sugároznak. Ha a rendszer paraméterei (elektronok energiája, mágneses periódushossz) bizonyos tartományba esnek (úgynevezett gyenge terű eset), a kúpok folyamatosan átfednek (*1. ábra*). Ekkor egy, a rendszerparaméterektől meghatározott hullámhosszú összetevőre igaz lesz az, hogy a különböző ívek mentén kisugárzott hullámok fázishelyesen (rezonanciában) adódnak össze. Ezen a hullámhosszon a kijövő intenzitás a mágneses periódusszámtól négyzetesen függ, azaz jelentős erősítés tapasztalható. Az elektronok viszont egymáshoz képest nem összehangoltan sugároznak, az erősítés az elektronok számának első hatványával arányos.

A szabadelektron-lézerben – az elektrongyorsító és az undulátor paramétereinek megfelelő megválasztása esetén – az undulátor vége felé az elektronok által kibocsátott röntgensugárzás elektromágneses tere már olyan nagy lesz, hogy jelentősen visszahat az elektronok mozgására és egyúttal fázishelyesen találkozik az elektroncsomagokkal. Ennek eredményeképpen az undulátoron áthaladó elektroncsomag térbeli szerkezete fokozatosan megváltozik, úgynevezett mikrocsomagokba rendeződés indul meg. Az undulátor elején még összehangolatlanul, spontán sugároznak az elektronok, az undulátor végére érve viszont már egymással fázisban. Az erősítés az undulátor mentén exponenciálisan növekedve éri el telítési értékét, ami a elektronok számának négyzetével arányos – az egy csomagban lévő elektronok számát, tipikusan ~10^9-t figyelembe véve ez igen jelentős.

A kijövő impulzus hossza és minősége az elektroncsomag minőségétől függ. Az eredeti tervek szerint ez 100 fs körüli, de a legújabb kísérleti eredmények szerint a < 10 fs-os tartomány is elérhetővé válhat. Az XFEL lényeges és igen előnyös tulajdonsága, hogy a sugárzás hullámhossza az elektronok és undulátor paraméterein keresztül folytonosan hangolható.



2. ábra. a) a minta megvilágításával 2D szóráskép mérhető. b) a 2D szórásképet a reciproktérbeli Ewald-gömbre vetítve ábrázoljuk. c) sok különböző állású (különböző mintaorientációból adódó) 2D Ewald-gömbfelülettel kitölthető egy reciproktérbeli 3D térfogat.

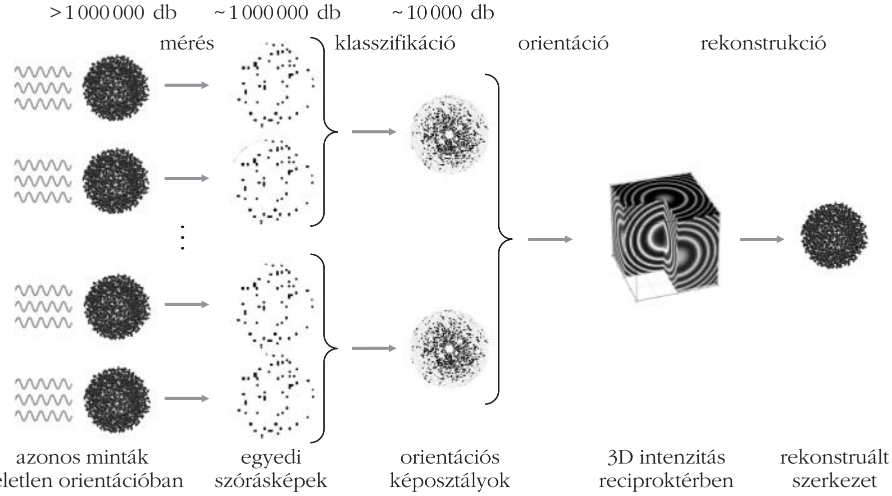
Az FEL sugárzás hullámhosszát alapvetően az elektronok energiája határozza meg. A röntgentartomány eléréséhez szükséges ~17 GeV-es elektroncsomagok létrehozásához dedikált lineáris gyorsító szükséges, valamint rendkívül precíz undulátortechnológia. Mindez egy ilyen berendezés megépítésének magas költségét eredményezi. A lágy röntgen (λ ~ 6–50 nm) tartományban működő Free-Electron Laser in Hamburg (FLASH) XFEL prototípus szerényebb technikát igényel, a hamburgi Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) területén 2005-ben indult be. Az első (és egyenlőre egyetlen) kemény röntgent (~1,5 Å) szolgáltató Linac Coherent Light Source (LCLS) pedig 2009-ben az amerikai Stanfordban lett üzembe helyezve. Az európai XFEL (European XFEL, Hamburg) 2014-re várható, amely az LCLS-nél valamelyest rövidebb (1 Å) hullámhosszon másodpercenként mintegy 300-szor több impulzust szolgáltat majd. A Föld más pontján is terveznek röntgen szabadelektronlézert (Japán, Svájc), azonban paramétereik alapján az atomi felbontású egymolekulás szerkezetmeghatározásra leginkább az európai ígérkezik megfelelőnek.

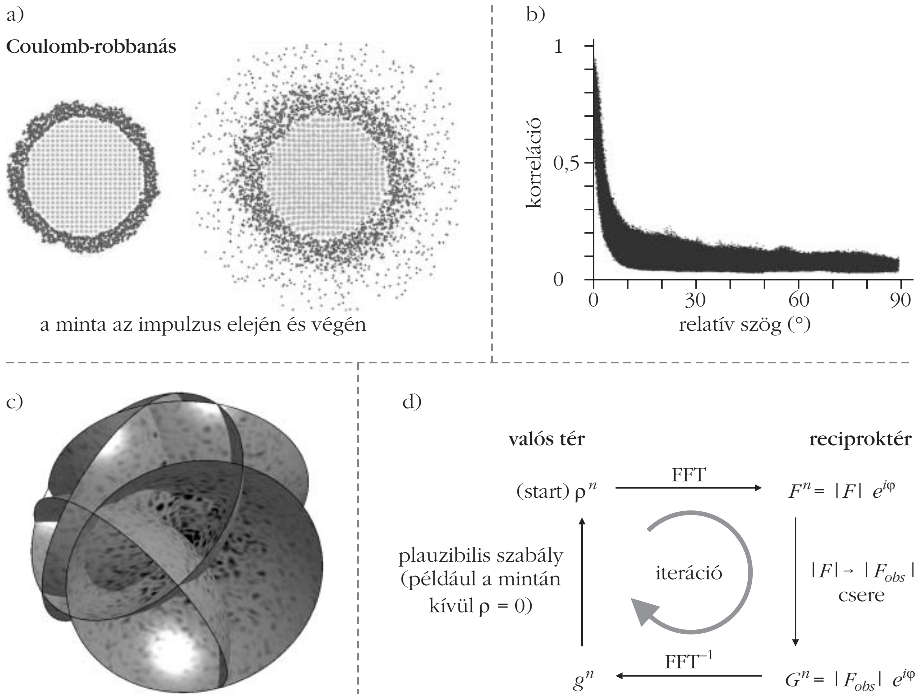
A szerkezetmeghatározás elvi lépései

Hagyományos, kristályokon történő diffrakciós mérések esetén, a kristályt a bejövő nyalábhoz képest különböző (nagyon sok) orientációba állítva, megmérjük a rugalmasan szórt fotonok számát. Azt tapasztaljuk, hogy csak bizonyos jól meghatározott orientációk esetén, akkor is csak bizonyos irányokban van számottevő intenzitás, máshol közel nulla értéket kapunk. Részletes elemzés azt mutatja, hogy ezen irányoknak megfeleltethetünk egy 3 dimenziós rácsot. Ezt nevezzük reciprokrácsnak, illetve a befoglaló 3D teret reciproktérnek. Megmutatható, hogy a valós térbeli periodikus atomi szerkezet egyértelműen megfeleltethető a 3D reciproktérbeli intenzitáseloszlásnak amennyiben az egyes reciprokrács-pontokba szórt hullámok fázisát is ismerjük. A két tér között Fourier-transzformáció létesít kapcsolatot. A nem-periodikus egyedi molekulák szórásképe abban különbözik a kristályos mintákétól, hogy nemcsak a reciprok rács pontjaiban van jelentős szórt intenzitás, hanem a térben folytonosan. A legnagyobb probléma itt abból adódik, hogy ugyanazt a mintát nem tudjuk különböző orientációban a nyalábba helyezni, mert már egy lézerimpulzus alatt nagy sugárkárosodás éri (felrobban). Ezt a problémát úgy kerülhetjük meg, ha ugyanabból a mintából számos replika áll rendelkezésre és ezeket egymás után lőjük be az egymást követő impulzusokba. Így sok szórásképet kapunk, ugyanazon szerkezetű, de véletlenül orientált mintákról. Ezeket a képeket kell összeraknunk egy 3D reciprok térbeli képpé. A szerkezetmegoldást még az is nehezíti, hogy az intenzitás mérésekor csak a fotonok számát mérjük, amiből aztán a szórt hullámok amplitúdóját kapjuk meg, a hullámok fázisát viszont nem. Ez a probléma a kristályos esetben is fennáll, és fázisprobléma néven ismert.

A fentiek szerint tehát a mérés és rekonstrukció menete vázlatosan a következő: mérjünk szórásképeket egy 2D helyzetérzékeny detektorral (*2.a ábra*), amiből 2D gömbfelülethez kapcsolódó adatokhoz juthatunk (*2.b ábra*). A sok, különböző mintaorientáció mellett elvégzett mérésből (sok gömbfelület 2D adataiból) állítsuk össze a reciprok térbeli 3D eloszlást (*2.c ábra*), majd végezzük el az inverz Fourier-transzformációt az elektronsűrűség előállításához.

3. ábra. A szerkezetmeghatározás lépései – séma.





4. ábra. A kiértékelés lépései. a) modellszámolás egy 10 fs-os impulzusban lévő, vízburokkal körbevett szénklaszter sugárkárosodásáról (keresztmetszet) [8]. A mintát pozitív össztöltése miatt az elektrosztatikus erők szétvetik (Coulomb-robbanás), de a centrumba vonzott kváziszabad lassú elektronok árnyékoló hatása lelassítja a belső atomok mozgását. Az atomok jobb láthatóságának kedvéért az elektronokat nem ábrázoltuk. b) Klasszifikáció: a közel azonos mintaorientációhoz tartozó képek korrelációja magas, a távoliaké zérushoz közeli [9]. c) Orientáció: az egyes szórásképeknek megfelelő reciproktérbeli Ewald-gömbök közös metszésvonallal rendelkeznek. d) Rekonstrukciós iteratív algoritmus sémája.

A következőkben áttekintjük az egyedi molekulák szerkezetmeghatározásának sémáját (*3. ábra*) – ahogy azt ma elképzeljük –, a felbukkanó nehézségeket és azok lehetséges megoldásait.

Mérés, a sugárkárosodás

Az egyedi molekulák gondosan beállított spray-technika segítségével juttathatók egyesével az impulzusba. Mivel a mérés során nem csak a minta eredeti, hanem a sugárzás miatt már roncsolódott állapotán szóródott fotonokat is detektáljuk, a mért szóráskép eltér az ideálistól. A képek megváltozásának a mérés paramétereitől (például az alkalmazott sugárzás tulajdonságaitól, vagy a minta összetételétől) való függésének vizsgálatához a sugárkárosodás időbeni lefolyásának megismerése, modellezése szükséges [6].

A károsodást beindító folyamat a röntgensugárzás ionizáló hatása, a fotoeffektus. Könnyű atomok (C, N, O) esetén a beeső foton energiája (~10 keV) sokkal nagyobb a kötési energiáknál (<0,5 keV), ezért a kilökött fotoelektronok kinetikus energiája 10 keV körüli, ami azt eredményezi, hogy elhagyják a rendszert. A fotonok nagyobb valószínűséggel ütik ki a mélyebben kötött atomi elektronokat, így a fotoeffektust követően az atomok gerjesztett állapotba kerülnek, amiből egy ~250 eV-os elektron kibocsátásával (Auger-relaxáció) jutnak alacsonyabb energiájú állapotba. Ezek az elektronok további ionizációs lavinákat okozhatnak a mintában. Az eltávozott fotoelektronok miatt a minta pozitívan töltött lesz és így vonzó hatást fejt ki a kis energiás kváziszabad elektronokra. A vonzás hatására ezek a mintában maradnak, méghozzá a molekula belső régiójában. Töltésszeparáció alakul ki a mintában: egy belső, semleges, plazmaszerű mag és egy elektronszegény külső, pozitív töltésű héj jelenik meg. A centrumban az elektronok árnyékoló hatása miatt lassú az ionmozgás, míg kívül egy erőteljes tágulás tapasztalható (*4.a ábra*). Az ionok dinamikáját az elektrosztatikus erők határozzák meg, ezért a jelenséget *Coulomb-robbanásnak* hívják.

A mérés alatti sugárkárosodás két módon is csökkenthető: rövidebb impulzusok (<10 fs) használatával és/vagy keskeny víz védőburok alkalmazásával [7, 8] (*4.a ábra*). Az első megoldás működése egyértelmű, hiszen rövidebb idő alatt kevesebbet tudnak elmozdulni az atomok. A második megoldás úgy segít, hogy a vízréteg lesz a pozitívan töltött réteg, míg a minta a belső semleges mag, amelyben a mozgások lassúbbak.

Szórásképek orientáció szerinti osztályozása, a klasszifikáció

A mérőnyaláb és a minta paramétereit ismerve kiszámíthatjuk a szórási képet. Kiderül, hogy a kép egy-egy pixelébe átlagosan nagyon kevés (0,01–1) foton szóródik. Ez statisztikusan nem ad elégséges információt a rekonstrukcióhoz. A statisztikát úgy tudjuk javítani, hogy azonos orientációnál sok képet veszünk fel. Azonban, ahogyan azt korábban már említettük, a minták véletlenszerű, számunkra ismeretlen orientációban érkeznek a nyalábba. A szórásképeket magukat használhatjuk az orientáció utólagos megállapításához. A legegyszerűbb, ha csak annyit akarunk megállapítani, hogy két kép azonos vagy különböző orientációban érkezett-e. Ezt a lépést *klasszifikációnak* nevezzük. Megmutatható [9, 10], hogy ha a képeket egyes pixeljeik beütésértékeiből képzett vektorokkal reprezentáljuk, akkor az azokon értelmezett normált skaláris szorzat, mint korrelációs faktor segítségével a klasszifikáció elvégezhető: azonos, vagy igen közeli mintaállású képek között a szorzat 1 körüli, de a nagy szögeltérésűek között zérus közeli (*4.b ábra*). Az eljárás sikerességét természetesen befolyásolja a képek statisztikája, azonban a szerkezetmeghatározáshoz szükségesnél sokkal (~100-szor) kevesebb beütésszám esetén is már elvégezhető ez a lépés. Nagyobb molekula, vagy több megvilágító foton esetén több lesz a beütésszám a képben, és sikeresebben végezhető el a klasszifikáció.

A sikeres klasszifikáció eredményeképp immár jó statisztikájú szórásképeket kapunk, azonban általános esetben nem ismert, hogy ezek milyen mintaorientációhoz tartoznak.

Szórásképek orientálása

A következő feladat tehát a 2D szórásképekből felépíteni a reciproktérbeli 3D intenzitáseloszlást. Egy szóráskép a reciproktérben egy, a tér origóján átmenő gömbön adja meg az intenzitást. Egy másik mintaorientáció egy másik gömbön, ezek a gömbök a *4.c ábra* szerint metszik egymást egy közös ív mentén. Az egyik orientációs módszer, a *közös vonal* módszer ezt felhasználva keresi meg a lehetséges metszésvonalakat és illeszti össze a gömböket [11, 12]. Egy másik kidolgozás alatt álló módszer (GTM, az *önszervező térkép egy változata* [13]) a klasszifikációt és az orientációt egy lépésben igyekszik megoldani, kihasználva, hogy a közeli képek hasonlók: ez mért képek közvetlen rendezését valósítja meg a szomszédok hasonlósága alapján. Lehetséges mindkét jellegzetességet egyszerre kihasználni [14]: a mért képet minden lehetséges orientációban hozzápróbáljuk a reciproktérbeli feltételezett 3D megoldáshoz, majd a hozzá legjobban illeszkedő orientációban javítjuk vele a megoldást. Az eljárások egyelőre alternatívák, mindnek megvan a maga előnye és hátránya. A két leglényegesebb szempont a képek zajosságára való érzékenység, és az, hogy a numerikus megoldás ideje hogyan skálázódik a feladat (azaz a meghatározandó molekula) méretével. Ideális esetben ebben a lépésében tehát összeállítjuk a 3D reciproktérbeli intenzitás-, illetve amplitúdóeloszlást.

A szerkezet rekonstrukciója

A numerikus megoldás során a valós (és reciprok) teret diszkretizáljuk, cél az ehhez bevezetett rács rácspontjaiban lévő sűrűségértékek meghatározása. Az amplitúdóadatok önmagukban nem elegendőek az elektronsűrűség előállításához: a feladat alulhatározott (az ismeretlenek száma nagyobb, mint a független egyenleteké), az inverz Fourier-transzformáció nem végezhető el. A hiányzó információt valahonnan pótolni kell, azaz másfajta ismeretünket is fel kell használni. Ilyen például az, hogy az elektronsűrűség csak valós pozitív lehet, vagy az atomicitás, azaz hogy a sűrűség jellemzően az atomcentrumok körül mutat éles maximumot. További lényeges információhoz juthatunk a mért intenzitásértékekből: a minta méretére lehet következtetni (a reciproktérbeli intenzitáseloszlás a valós térbeli elektronsűrűség autokorrelációs függvényének Fourier-transzformáltja). A keresett sűrűségmegoldást tehát véges, a mintát magába foglaló térfogatra korlátozhatjuk, amin kívül szükségszerűen zérus. A következő stratégiát választhatjuk: a minta méreténél jóval nagyobb valós térbeli tartományban keressük az elektronsűrűséget, ami arányosan nagyobb reciproktérbeli finomságot követel meg és arányosan több változót (amplitúdó, fázis) és egyenletet eredményez (mivel az egyedi molekulák szórásképei folytonosak, ez megtehető). Azonban tudjuk, hogy a bennfoglaló térfogaton kívül zérus a megoldás, tehát ezzel csökken a valódi ismeretlenek száma. A minta méreténél legalább kétszer nagyobb tartományt kell választani, a gyakorlatban azonban ennél nagyobbat szoktak (*oversampling*).

Ezeken az adatokon pedig iteratív eljárással állíthatjuk elő a megoldást (*4.d ábra*): véletlenszerű kiindulási 3D elektronsűrűségen (diszkrét) Fourier-transzformációt végzünk, majd kicseréljük az amplitúdóértékeket a mért értékekre. Ezután inverz Fourier-transzformációval visszajutunk a valós térbe, ahol újabb kényszert alkalmazunk, például a mintán kívül lenullázzuk a sűrűséget. A kapott elektronsűrűségen végzett Fourier-transzformációval az iteráció újabb ciklusát kezdjük meg. Az iterációt addig végezzük, amíg stabil megoldást nem kapunk, azaz amin a következő iterációs lépések és alkalmazott kényszerek már nem változtatnak.

Több ilyen, a tapasztalat szerint jól működő iteratív eljárás is létezik [15–18], azonban a felmerülő elvi és gyakorlati kérdésekre nehéz matematikai precizitású választ adni, például: valóban a valós sűrűség megoldást kapjuk vissza, vagy esetleg egy másik, nem fizikai megoldás is kijöhet? Konvergál-e mindig az eljárás? Ha igen, milyen gyorsan?

Első kísérletek és kilátások

Összegezésül azt mondhatjuk, hogy a fő nehézséget két tényező okozza: az, hogy a minta egyedi molekula, és az, hogy atomi felbontással szeretnénk megismerni. A legfrissebb, 2010-es kísérleti eredmények jól mutatják, hogy az idő haladtával közeledünk a cél felé. Hajdu János és csoportja az úgynevezett Mimivírus egyedi példányain végzett sikeres méréseket [19], bár az elért felbontás (32 nm) egyelőre még nem atomi. *H. Chapman* és társai pedig membrán fehérje komplex nanokristályait (0,2–2 μm méret, 10^3–10^5 db molekula) mérték, szubnanométeres felbontást elérve [20]. Mindkét mérés az amerikai LCLS-nél történt.

Az elmúlt 10 év elméleti és kísérleti eredményei, valamint a röntgen szabadelektron-lézerek továbbfejlesztésére vonatkozó jelenlegi tervek alapján tehát egyértelműen kijelenthető, hogy joggal bizakodunk az egyedi molekulák atomi szintű szerkezetmeghatározásának jövőbeli sikerében.

Irodalom

1. R. Henderson, *Q. Rev. Biophys. 28* (1995) 171.
2. R. Neutze, et al., *Nature 406* (2000) 752.
3. J. M. J. Madey, *J. Appl. Phys. 42* (1971) 1906.
4. Z. Huang, K. J. Kim, *Phys. Rev. Spec. Topics – Acc. And Beams, 10* (2007) 034801.

5. B. W. J. McNeil, N. R. Thompson, *Nature Photon. 4* (2010) 814.
6. Z. Jurek, G. Faigel, M. Tegze, *Eur. Phys. J. D 29* (2004) 217.
7. S. P. Hau-Riege, R. A. London, A. Szőke, *Phys. Rev. E 69* (2004) 051906.
8. Z. Jurek, G. Faigel, *Eur. Phys. J. D 50* (2008) 35.
9. G. Bortel, G. Faigel, *J. Struct. Biol. 158* (2007) 10.
10. G. Bortel, G. Faigel, M. Tegze, *J. Struct. Biol. 166* (2009) 226.
11. G. Huldt, A. Szőke, J. Hajdu, *J. Struct. Biol. 144* (2003) 219.
12. V. L. Shneerson, A. Ourmazd. D. K. Saldin, *Acta Cryst. A64* (2008) 303.
13. R. Fung, V. L. Shneerson, D. K. Saldin, A. Ourmazd, *Nature Phys. 5* (2009) 64.
14. N.-T. D. Loh, V. Elser, *Phys. Rev. E 80* (2009) 026705.
15. R.W. Gerchberg, W. O. Saxton, *Optik 35* (1972) 237.
16. J. R. Fienup, *Appl. Opt. 21* (1982) 2758.
17. J. Miao, P. Charalambous, J. Kirz, D. Sayre, *Nature 400* (1999) 342.
18. G. Oszlányi, A. Sütő, *Acta Cryst. A60* (2004) 134.
19. M. M. Siebert et al., *Nature 470* (2011) 78.
20. H. N. Chapman et al., *Nature 470* (2011) 73.

MŰTÁRGYAK RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATA NEUTRONOKKAL – AZ EU ANCIENT CHARM PROJEKT

Kis Zoltán, Belgya Tamás, Szentmiklósi László, Kasztovszky Zsolt
MTA Izotópkutató Intézet, Nukleáris Kutatások Osztálya
és az Ancient Charm Együttmûködés

Az Ancient Charm projekt

Az Európai Közösség 6. keretprogramjában (EU FP6) került elfogadásra az *A*nalysis by *N*eutron Resonant *C*apture *I*maging and other *E*merging *N*eutron *T*echniques: New *C*ultural *H*eritage and *A*rchaeological *R*esearch *M*ethods (ANCIENT CHARM) elnevezésű nemzetközi pályázat. Célja a roncsolásmentes neutronanalitikai módszerek kombinálása, továbbfejlesztése volt, illetve ezen technikák alkalmazása értékes műtárgyak háromdimenziós elemeloszlásának, fázisszerkezetének feltérképezésére [1]. A 4 éves kutatási program 2006 januárjában, 10 nemzetközi kutatócsoport (egyetemek, kutatóintézetek, múzeumok) részvételével indult.

A vizsgálatok során a mintákat kivezetett termikus-, illetve hidegneutron-nyalábbal sugároztuk be. A neutronok elektromosan semleges részecskék, így könnyen behatolnak a minta belsejébe, és ott magreakciókat válthatnak ki. Lassú neutronok esetén a reakciók és így a mérési eljárások két fő csoportra oszthatók az alapján, hogy a mért jel a neutronok sugárzásos befogásából vagy szóródásából keletkezik. Befogás révén az elemi összetételről, szóródás révén a szerkezetről kapunk információt. Az első csoportba tartozik a prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA) és a rezonancia-neutronbefogásos analízis (NRCA), míg a másodikba a repülési idő-neutrondiffrakció (TOF-ND). A tárgyon átbocsátott neutronnyaláb gyengülése általában mindkét hatás együttes következménye, amelynek képi megjelenítésére alkalmas a neutronradiográfia (NR), illetve -tomográfia (NT). A fenti módszerek sok tekintetben kiegészítik egymást, ezért együttes alkalmazásukkal a vizsgálati eredmények teljesebb információt szolgáltatnak például a műtárgyak kívülről láthatatlan részeinek jellegzetességeiről, közvetve a készítésük módjáról, a származási helyükről és a restaurálást befolyásoló tényezőkről.

A behatolás mélysége és a reakció végbemenetelének valószínűsége erősen függ a mintát besugárzó neutronnyaláb energiaeloszlásától és a nyaláb „útjában lévő" vizsgált anyagtól. A neutron és a MeV-es energiájú gamma-foton akár több cm anyagon is át tud haladni, így nagyobb tárgy belseje is sikerrel vizsgálható.

A következőkben röviden áttekintjük az ANCIENT CHARM projektben szereplő neutronos módszerek jellegzetességeit. A vizsgálatok során lehetővé tettük a minták pontos térbeli pozicionálását és forgatását. Ezáltal a mért információ (elemösszetétel, szerkezet) térbeli koordinátákhoz köthetővé vált, vagyis háromdimenziós (3D) leképezést hoztunk létre: a vizsgált tárgy belsejének jellemzői térképszerűen megjeleníthetők.

A mintán áthaladó neutronnyaláb gyengülésén alapuló neutrontomográfia/radiográfia a tárgyak valódi 3D/2D-s képalkotására alkalmas módszer. Jelenleg az irodalomból ismert [2] elérhető legjobb térbeli felbontás körülbelül 25 μm. Mi a kísérleteinkben 330 μm-es felbontást valósítottunk meg. A transzmissziós kép kémiai elemek azonosítására azonban csak korlátozottan alkalmas. Előnyös a szerves anyagot tartalmazó tárgyak megjelenítésére (a nyalábgyengülés a hidrogéntartalom miatt számottevő), illetve a hasonló rendszámú elemek elkülönítésére (amelyek a röntgen radiográfiával nem adnak megfelelő kontrasztot). A projekt keretében a tomográfiai/radiográfiai módszer fejlesztése nem volt cél, csak az általa kapott szerkezeti információ került felhasználásra.

Bizonyos atommagok a neutronbefogását követően másodpercekkel, percekkel vagy akár napokkal később úgynevezett késő gamma-fotonokat bocsátanak ki, általában β-sugárzás kíséretében. *Hevesy György*

Kutatásunkat az EU FP6 ANCIENT CHARM (015311) projekt és a NAP VENEUS08 (OMFB-00184/2006) projekt támogatta.

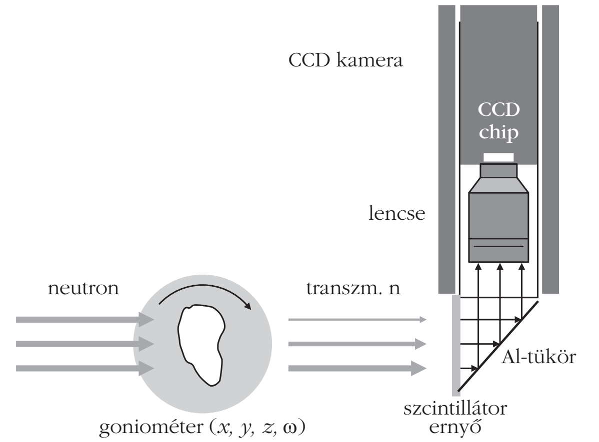
erre a jelenségre alapozva dolgozta ki 1936-ban a neutronaktivációs analízist (NAA). A módszer az 1950-es évektől általánosan elterjedt, régészeti anyagvizsgálati (archeometriai) kutatásokban is régóta alkalmazzák. A hagyományos neutronaktivációs analízis azonban roncsolásos eljárás, tehát mintát kell venni a vizsgált objektumból, ezért gyakran nem alkalmazható leletek elemzésére.

A roncsolásmentes megoldást sok esetben a sugárzásos neutronbefogási reakció közvetlen alkalmazása jelenti, amelynek során az atommagok magasan gerjesztett állapotba kerülnek, majd az atommagra, illetve az elemre jellemző, azonnali (prompt) γ-fotonokat kibocsátva alapállapotba jutnak. A kisugárzott prompt gamma-fotonok energiaeloszlása az elemre jellemző, míg számuk a mintában lévő atomok mennyiségével arányos. Az ilyen mérési eljáráson alapuló módszert prompt-gamma aktivációs analízisnek (PGAA) nevezzük. Alkalmazása során előnyös a nagyobb neutronbefogási hatáskeresztmetszettel rendelkező lassú (hideg vagy termikus) neutronokkal történő besugárzás. Ugyanannak az anyagnak a hideg vagy termikus neutronokkal történő besugárzása mindig azonos energiaeloszlású spektrumot eredményez (kivéve néhány irreguláris elemet), ezért az eloszlást jellemző arányokból az elemekre jellemző könyvtár hozható létre [3, 4].

Homogén minta esetén (általában ilyenek a fémötvözetek, üvegek és sokszor a kerámiák is), a mért összetétel jellemző lesz a teljes mintára és így a minta nyersanyagára. Inhomogén mintára ez nem igaz, ezért a térbeli eloszlás meghatározására kidolgoztuk a prompt-gamma aktivációs képalkotás (PGAI) módszerét, amelyet a későbbiekben részletesen bemutatunk.

A termikusnál nagyobb energiájú (1 eV – 10 keV), epitermikus neutronok rezonanciaszerűen is befogódnak az atommagokba. A jelenséget a mintán áthaladó neutronok számának hirtelen csökkenésével vagy a befogást követő gamma-fotonok számának hirtelen növekedésével észlelhetjük. A jel nagysága nem-lineárisan függ az anyag mennyiségétől. Ezen a jelenségen alapszik a rezonancia-neutronbefogásos analízis (NRCA) [5]. A mintán áthaladó neutronok energiafüggő detektálásával rezonancia-neutrontranszmissziós (NRT – Neutron Resonance Transmission) vizsgálat is végezhető [6]. Ekkor a különböző neutronenergiákon mért rezonanciaeloszlást mutató gyengülés jellemző az összetételre. A kis beütésszámok esetében alkalmazott nagy neutronnyaláb-átmérő (> 1 cm) miatt ennél a módszernél is az anyag besugárzott részére átlagosan jellemző összetételt kapunk eredményül.

Az anyagok kristályszerkezete (az atomi szerkezet periodikus, hosszú távú rendezettsége, illetve a rendezettség hiánya vagy csökkenése) meghatározza a neutronok szóródását (diffrakcióját). Az eltérülés mértékéből következtethetünk a szerkezet homogenitásának, torzulásának mértékére, illetve a rácsállandókra. A neutronszóródás jelenségén alapszik a repülési idő-neutrondiffrakciós (TOF-ND) módszer [7]. A diffrakciós spektrum felvételével – hasonlóan a széles körben alkalmazott röntgendiffrakcióhoz (XRD) – vizsgálhatjuk a minták (például bronz, kerámia, kőzetek) kristályszerkezetét, fázisösszetételét és feszültségi viszonyait. Számos esetben az anyagban jelenlévő kémiai vegyületek is azonosíthatók.



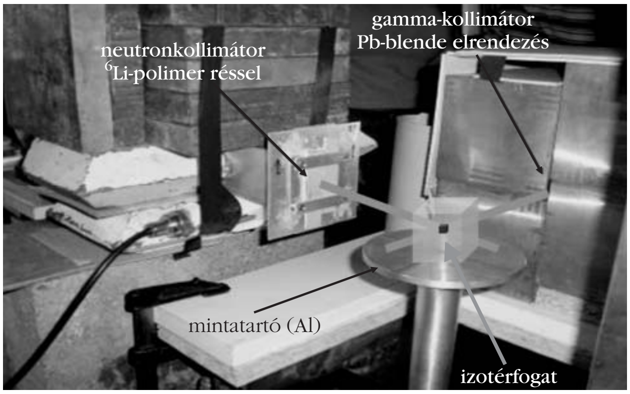
1. ábra. A neutrontomográf elvi felépítése.

Neutrontomográfiával kombinált prompt-gamma aktivációs képalkotás (PGAI-NT)

A teljes neutronnyaláb általában jól használható a tárgy tomografikus (3D), illetve radiografikus (2D) leképezésére. A minta egyes részeinek eltérő neutrongyengítése miatt a szürkeárnyalatos vetületi képeken a belső felépítés nagy pontossággal jeleníthető meg. Ezáltal láthatóvá válnak a régészeti szempontból érdekes részletek, és azok kijelölhetők a további vizsgálatokhoz [8]. Amennyiben a kijelölt részekhez hozzákapcsoljuk pontos térbeli koordinátáikat, a későbbiekben ezen részek a minta mozgatásával a kollimált neutronnyalábba vihetők és elemi összetételük meghatározható. A tomográf elvi felépítése az *1. ábrá*n látható.

A prompt-gamma aktivációs analízis elemi képalkotássá (PGAI) történő fejlesztése réssel kollimált párhuzamos neutronnyalábbal valósítható meg [9]. Minél kisebb résen keresztül engedjük a mintára a neutronokat, annál kisebb térfogatból származik az analitikai információ. Két fontos aleset különböztethető meg a detektálás szempontjából (*2. ábra*). Ha a neutronok elnyelése után felszabaduló γ-sugárzást kollimálás nélkül detektáljuk, a γ-fotonok a mintán keresztülhúzódó, teljes húrszerű térfogatból eljutnak detektorba, vagyis ez az elrendezés a húr irányában homogén minták vizsgálatára alkalmas. Kettős kolli-

2. ábra. A PGAI-NT mérőrendszer elvi felépítési lehetőségei: húrgeometria, illetve izotérfogat.



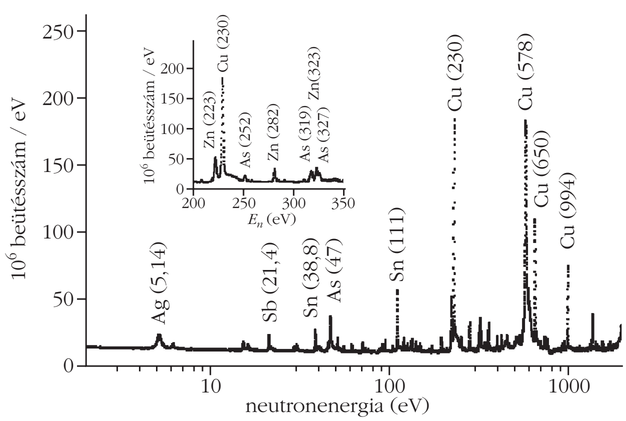
3. ábra. A PGAI-NT mérőrendszer kettős kollimációval.

máció esetén (amikor a neutronok és a detektált gamma-fotonok is kollimáltak) a kibocsátott γ-sugárzás csak egy kis térrészből juthat a detektorba. Ekkor az analitikai információ a kollimált nyaláb és a detektor látószögének metszési térfogatából, az izotérfogatból származik. Ezzel az elrendezéssel jobb térbeli felbontás érhető el a húrgeometriához képest, azonban a szükséges mérési idő hosszabb. A neutrontomográfia nyújtotta előnyöket kihasználva, a PGAI vizsgálat a teljes minta pásztázása helyett csak a kijelölt területekre koncentrálható [10], így ezeken a területeken az adott mérési idő mellett pontosabb elemi összetétel határozható meg (*3. ábra*).

Rezonancia-neutronbefogásos, illetve rezonancia-neutrontranszmissziós képalkotás (NRCI, illetve NRT)

A hideg, illetve termikus energiával rendelkező neutronokhoz képest a nagyobb energiájú, azaz epitermikus neutronok mélyebben képesek behatolni az anyagba. A rezonanciaenergiáknál nagyságrendileg megnő a neutronbefogás valószínűsége. Az egyes energiatartományokban végzett besugárzások az eltérő elemi érzékenységek miatt jól kiegészítik egymást. Az NRCA és NRT módszerrel például jól mérhető a PGAA-val nehezen kimutatható As, Sb, Sn (tipikus bronzösszetevők).

4. ábra. Rezonancianeutron elnyelődési spektrum repülési idő alapján.



Az NRCA, illetve NRT mérések során a mintára bocsátott impulzusszerű neutroncsomagban a neutronok energiaeloszlása folytonos. A nagyobb energiájú, gyorsabb neutronok hamarabb érik el a tárgyat, mint a kisebb energiával rendelkezők. Tehát a repülési idő (a kibocsátás időpillanatának és a rezonanciaelnyelődés révén felszabaduló γ-sugárzás detektálásának időkülönbsége) egyértelmű kapcsolatban van az elnyelődött neutronok energiájával, amiből az abszorbeáló anyag összetételére következtethetünk. Az *4. ábrá*n a rezonanciaszerűen elnyelődött neutronok ujjlenyomatát (NRCA spektrumát) láthatjuk. NRT esetén csúcsok helyett abszorpciós völgyekkel találkozunk.

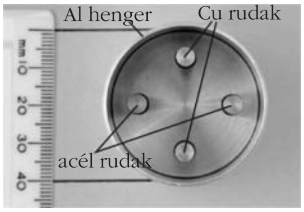
Ebben a formájában az NRCA módszer – hasonlóan a standard PGAA-hoz – tömbi információt nyújt az anyagról. A neutronnyaláb szűkítése és a tárgy mozgatása (*4. ábra*) most is az analitikai információ forrásának térbeli leszűkítését eredményezte (NRCI). A γ-sugárzás mérésére használt detektor YAP (ittrium alumínium perovszkit, YAlO3:Ce) szcintillációs kristály volt, míg a neutronnyaláb kollimálását és árnyékolását ^{6}Li-ban dúsított lítium-karbonáttal (Li_2CO_3) oldották meg.

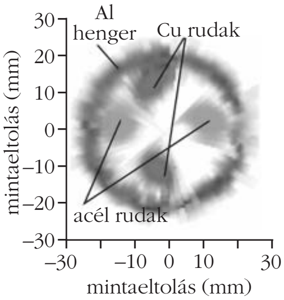
Amennyiben a tárgy mögé neutronokra érzékeny és időinformációt is rögzítő pixeldetektort helyezünk, akkor – a nyaláb szűkítése nélkül is – lehetőség van natív 2D, illetve forgatás révén 3D-s információ gyűjtésére, a rezonancia-neutrontranszmissziós (NRT) képalkotására. A transzmisszió mérése során a repülési idő alapján meghatározható az elnyelt neutronok energiája, és így a minta elemi összetétele. A térbeli felbontás a neutronok helyérzékeny detektálásának korlátaiból eredően a néhány mm-es nagyságrendbe esik.

Neutrondiffrakciós tomográfia (NDT)

A diffrakciós mérések során a tárgy köré helyezett detektorrendszer a szóródott nyaláb intenzitáseloszlását méri a szórási szög függvényében. Kristályos anyagok esetében az eloszlás diszkrét (nem folytonos), ellentétben a nem-periodikus szerkezetű anyagokkal (például amorf, folyékony), ahol az intenzitás eloszlása folytonos. Több fázis együttese esetén az egyes eloszlások egymásra rakódnak. A szóródott neutronok segítségével az anyag mikroszkopikus szerkezetéről nyerünk információt: például ásványi és fémes fázisok léte és aránya, kristályos textúrák felismerése, porozitás mértéke. Ezek a tulajdonságok számos esetben kapcsolatban vannak a tárgy előállításának, korábbi kezelésének és deformációjának történetével.

A standard mérési elrendezés során a besugárzás nagyobb keresztmetszetű (néhány cm^2) neutronnyalábbal történik, tehát a szerkezeti jellemzőknek viszonylag nagyobb térfogatra való átlagértékét kapjuk. A számos egyéb elrendezési lehetőség közé tartozik a korábbiakban bemutatott húrgeometria (a mérés során csak a neutronnyaláb kollimált). A tárgy vízszintes és függőleges letapogatásával, valamint forgatásával a szóródási csúcsok intenzitásának változásából vissza-





5. ábra. Kétdimenzós neutrondiffrakciós képalkotás.

nyerhető a tárgy belsejének szerkezete, ebben az esetben két acél és két réz rúd egy alumínium hengerbe helyezve (*5. ábra*). Forgatás és eltolások segítségével háromdimenziós térkép is előállítható [7].

Összefoglalás a módszerek tulajdonságairól

Az *1. táblázat* áttekintést ad a fenti módszerek legfontosabb jellemzőiről. Ahol nincs szükség a neutronok impulzusszerű kibocsátására, tehát a vizsgálatok állandó intenzitású nyalábbal történnek (NT, PGAI), ott az elsődleges neutronforrás a kutatóreaktor. A rezonancia-neutronbefogásos és a rezonancia-neutrontranszmissziós képalkotás esetén impulzusüzemű (például spallációs) neutronforrás biztosítja a neutronokat, mert itt a repülési idő-neutronenergia összefüggés meghatározásához szükséges a kibocsátás idejének ismerete. Diffrakciós vizsgálatok végezhetők mindkét típusú neutronforrással.

A különféle vizsgálatok érzékenysége jelentős mértékben eltérhet az egyes kémiai elemekre nézve. Szerencsés körülmény, hogy sok esetben egymást kiegészítő eredmények nyerhetők. Külön érdemes megemlíteni, hogy a neutrontomográfia és a prompt-gamma aktivációs analízis sok könnyű elemre is nagyobb érzékenységgel alkalmazható, míg a rezonancia-neutronbefogásos analízis inkább a közepes tömegszámú, illetve nehezebb elemeket méri jól. Mindhárom vizsgálati eljárással nehezen mutatható ki a szén, az oxigén és a nitrogén. A neutrondiffrakciós tomográfia leginkább a tökéletes rácsszerkezetű mintáknál nyújt jól értelmezhető eredményt.

Két eredmény

Az ANCIENT CHARM projekt keretében a Magyar Nemzeti Múzeumból származó két tárgy, egy 6. századi germán korong fibula (*6. ábra*), valamint egy 7. századi meroving övcsat (*7. ábra*) PGAI-NT, illetve NRT vizsgálatát mutatjuk be. A méréseket a garchingi FRM-II reaktornál és a didcoti ISIS pulzált neutronforrásnál végeztük.

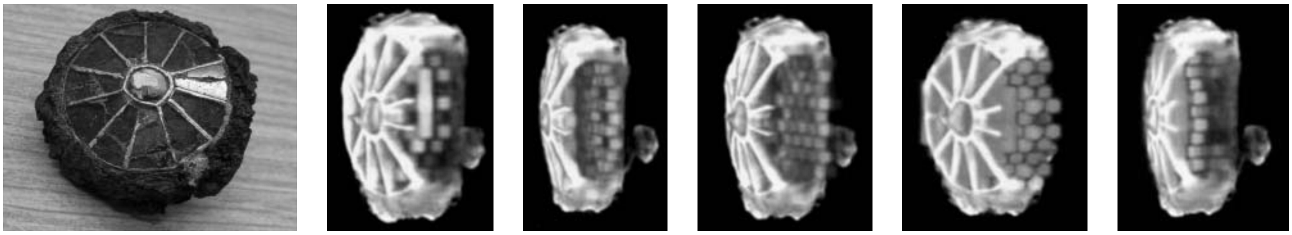
A PGAI mérés során a fibula – alumínium keretbe történt befogása után – mozgatható mintatartó asztalra került. Neutron-radiográfiás, illetve -tomográfiás felvétel alapján határoztuk meg a neutronnyalábbal letapogatandó térrészt. A nyaláb mérete, vagyis a térbeli felbontás 2×2,5 mm^2 volt. A rendelkezésre álló viszonylag nagy neutronfluxus lehetővé tette az izotérfogatos mérést, ezáltal valódi 3D-s elemtérkép készítését.

A nagy számú gamma-spektrum kiértékelése után az egyes letapogatott térfogatelemek koordinátáihoz hozzárendeltük a lokális elemösszetételt. A *6. ábrá*n az összetevők eloszlása látható. A mérés kiértékelésének jelenlegi fázisában számos korrekciós tényezőt még nem vettünk figyelembe, így nem számoltunk a neutronok önárnyékolásával, a gamma-sugárzás önabszorpciójával és a mérőrendszer hatásfokával. Ezért az előzetes eredmények csak kvalitatív, minőségi analízist adnak. A módszer továbbfejlesztésével a későbbiekben lehetőség lesz mennyiségi eredmények megadására is.

1. táblázat

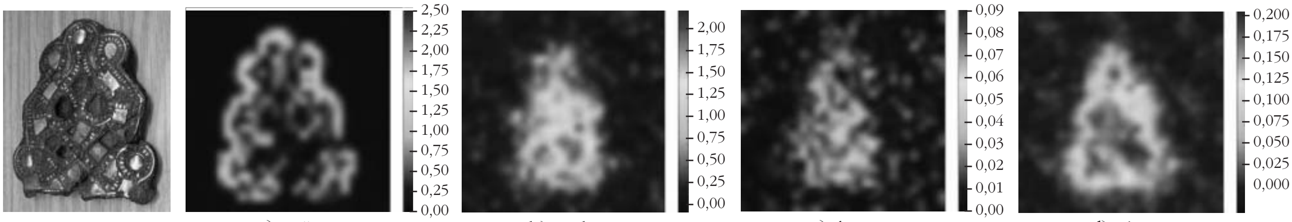
Áttekintés a roncsolásmentes neutronos vizsgálati módszerek legfontosabb jellemzőiről

	NT	PGAI	NRCI/NRT	NDT
neutronenergia	hideg és termikus neutron	hideg és termikus neutron	epitermikus neutron	termikus neutron
sugárforrás	reaktor	reaktor	gyorsító	reaktor / gyorsító
információ	neutrongyengülés (elnyelés + szórás)	elemi összetétel elnyelésből	elemi összetétel elnyelésből	atomok térbeli helyzete (például rácsszerkezet)
érzékenység				
nagy	B, Cd, Sm, Gd	B, Cd, Sm, Gd	Cu, As, Zn, Ag, Sb, Sn, Sm, Gd, Au, Co	tökéletes rácsszerkezet
közepes	H, K, Mn, Fe, Ti, Cu, Ag, Au	H, Cu, Ag, Au, Na, K, Mn, Fe, Al, T	Pb, Al, Fe, Ni, Ti, Ca, Na, K, Cl, Si	polikristály
kicsi	C, N, O, Na, Al, Sn, Pb	C, N, O, Mg, Si, Sn, Pb	H, B, C, N, O	amorf
jellemzően vizsgálható tárgyak	összetett fémek, fa, szerves	kerámiák, kövek, fémek, üveg	fémek, ötvözetek, kerámiák	ötvözetek, márvány, kerámiák
behatolási mélység	egy-két cm	egy-két cm	több cm	több cm
térbeli felbontás	~100 μm	1-3 mm	~10 mm	~10 mm



a) ezüst b) arany c) réz d) vas e) kén

6. ábra. Kölked-Feketekapu lelőhelyről előkerült 6. századi germán korong fibula és a PGAI vizsgálattal kapott 3D elemtérkép.



a) ezüst b) cink c) ón d) réz

7. ábra. Környe lelőhelyről előkerült 7. századi meroving övcsat elemi összetételének 2D térképe NRT mérések alapján.

A térképek alapján kiderült, hogy a készítés, illetve esetleges javítás során az almandin betétek alatt aranylemez-borítást alkalmaztak, ami ritkaság volt az adott kultúrában.

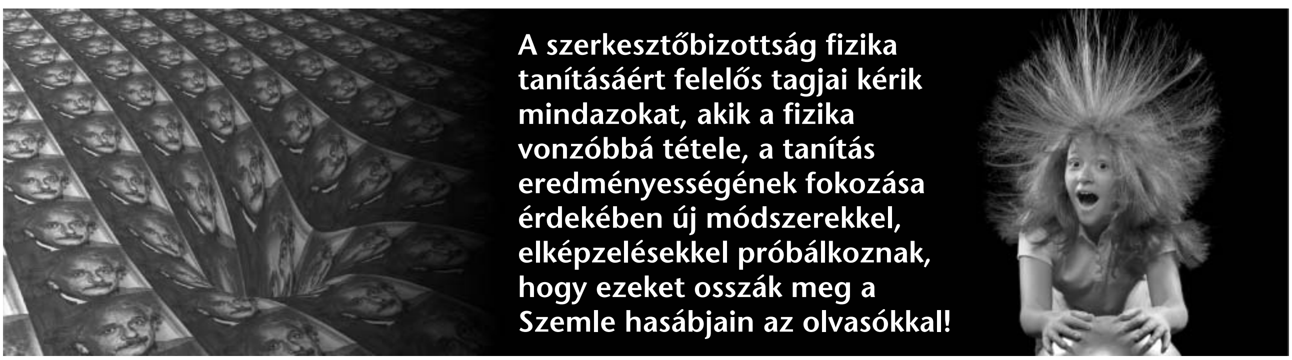
Az övcsat rezonancia-neutrontranszmisszós (NRT) méréseinek során a neutronnyaláb teljes keresztmetszetét használtuk; az elemi képeket egy 10×10 pixelre bontott neutrondetektorral felvett rezonancia-neutrontranszmisszós spektrumokból nyertük. A kiértékelés eredményéből kapott 2D-s elemi térképek a *7. ábrá*n láthatók. Az eredmények alapján a készítési technológia követhető és ez utalással szolgál a készítő műhelyek kapcsolataira. Vizsgálataink alapján megerősítést nyert, hogy a Dunántúlon élő germán népesség az avar hódítás után is kiváló nyugati kapcsolatokkal rendelkezett.

A (nem is túl távoli) jövő

Az ANCIENT CHARM projekt keretében a PGAI-NT módszer részletes kidolgozását a Budapesti Kutatóreaktorhoz kapcsolódó NIPS mérőhelyen végeztük. A projektben elvégzett méréseink eredményén felbuzdulva megterveztünk egy új, NORMA névre keresztelt műszeregyüttest, amelynek megépítésére a Baross Gábor Program – Közép-Magyarország (REG_KM_INFRA_09) pályázatán NORMA_10 azonosítóval támogatást nyertünk. Várhatóan 2011 végére elkészül az új berendezés, és ezzel a PGAI-NT technika, elsők között a világon, hazánkban is elérhetővé válik.

Irodalom

1. Gorini, G.: Ancient Charm: A research project for neutron-based investigation of cultural-heritage objects. *Il Nuovo Cimento 30C(1)* (2006) 47–58.
2. Lehmann, E. H. et al.: The micro-setup for neutron imaging: A major step forward to improve the spatial resolution. *Nucl. Instr. and Meth. A576* (2007) 389–396.
3. Molnár, G.: *Handbook of Prompt Gamma Activation Analysis with Neutron Beams*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2004.
4. Révay et al.: Cold neutron PGAA facility at Budapest. *Nucl. Instr. and Meth. B213* (2004) 385–388.
5. Postma, H., Schillebeeckx P.: Neutron-resonance capture as a tool to analyse the internal compositions of objects non-destructively. *Notiziario Neutroni e Luce di Sincrotrone 11(2)* (2006) 14–18.
6. Schooneveld, E. M. et al.: A new position-sensitive transmission detector for epithermal neutron imaging. *Journal of Physics D: Applied Physics 42* (2009) 152003.
7. Kockelmann, W., Kirfel, A.: Neutron diffraction imaging of cultural heritage objects. *Archaeometry Workshop 2006/2* (2006) 1–15.
8. Kasztovszky, Zs., Belgya, T.: From PGAA to PGAI: from bulk analysis to elemental mapping. *Archaeometry Workshop 2006/2* (2006) 16–21.
9. Belgya, T. et al.: A new PGAI-NT setup at the NIPS facility of the Budapest Research Reactor. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 278(3)* (2008) 713–718.
10. Kis, Z. et al.: Prompt Gamma Activation Imaging on “black boxes” in the “ANCIENT CHARM” project. *Archaeometry Workshop 1* (2008) 41–60.



VEKTOROK PÁRHUZAMOS ELTOLÁSÁNAK SZEMLÉLTETÉSE – I. RÉSZ

A délirányt jelző kordé, a Foucault-inga és egyebek

Bokor Nándor, BME Fizika Tanszék
Laczik Bálint, BME Gyártástudomány és -technológia Tanszék

Vektorok párhuzamos eltolása

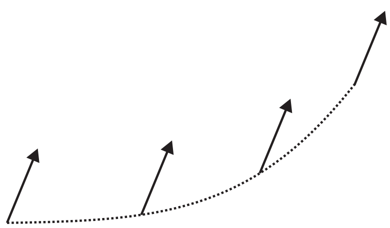
Mikor párhuzamos két vektor? A válasz magától értetődőnek tűnik: ha ugyanabba az irányba mutatnak. Menjünk tovább: szeretnénk egy vektort a sík adott pontjából egy másikba párhuzamosan *elmozgatni*. Körülményesebbnek tűnő megfogalmazással: szeretnénk apró lépésenként úgy odébb vinni, hogy mindegyik lépés végén kapott vektor párhuzamos legyen a lépés kiinduló vektorával. Így joggal várhatjuk, hogy a teljes művelet végén kapott vektor is párhuzamos lesz a kezdeti vektorral. A mozgatási szabály ismét magától értetődőnek tűnik (legalábbis sík felületen): úgy kell a vektort elmozgatni, hogy közben mindig az eredeti irányba mutasson (*1. ábra*).

De mi a helyzet görbült felületen? Hogyan magyarázzuk el például egy gömb felületén élő „laposlényeknek” (akik számára nem létezik a harmadik dimenzió, nem látnak ki a felületből), hogy mi a teendő, ha a saját világukban egy vektort párhuzamosan akarnak eltolni? A precíz matematikai szabályt előbb saját magunknak kell kiokoskodnunk, hogy aztán tudathassuk kétdimenziós barátainkkal. Világos, hogy az „úgy eltolni, hogy végig a [3-dimenziós értelemben] eredeti irányba mutasson” szabály itt nem működik, hiszen akkor a vektorok előbb-utóbb kifordulnának a felületből. Márpedig a laposlények vektorai mind a felület érintősíkjában állnak; különben olyan irányú komponensük is lenne, amely dimenzió nem is létezik (a laposlények számára).

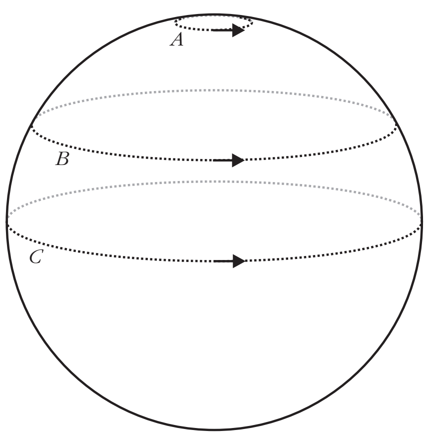
Nézzünk először néhány könnyen tárgyalható konkrét esetet a gömbfelületen, aztán próbáljuk meg megfogalmazni az általános szabályt. A *2. ábra* egy gömbfelületet, a laposlények univerzumát ábrázolja. Lapos barátaink szeretnének az *A, B* és *C* jelű görbéken párhuzamos eltolással körbevinni egy-egy olyan vektort, amelyek a kiinduláskor az adott görbével érintő irányúak. Ezt az első gondolatkísérletünket célszerű úgy megválasztanunk, hogy mindhárom görbe szabályos kör legyen. A nyilvánvaló analógia miatt szemléletes úgy gondolni ezekre, mint Földünk különböző szélességi köreire: az *A* jelű közel van az Északi Sarkhoz, a *B* jelű valahol az északi félteke közepe táján helyezkedik el, a *C* jelű pedig maga az Egyenlítő. Próbáljuk berajzolni az ábrába, hogyan néznek ki a három esetben az apró lépésenként párhuzamosan eltolt vektorok!

Az *A* görbe esetén a legegyszerűbb a dolgunk. A bejárt tartomány a teljes gömbnek nagyon kicsi része, amelyről tudjuk, hogy gyakorlatilag síknak tekinthető. Ahogy egy stadionban körbefutó atléta mozgásának elemzéséhez sem kell a Föld görbületét figyelembe vennünk, úgy itt is minden további nélkül alkalmazható a síkbeli szabály: ábránkat úgy kell megrajzolni, hogy az összes eltolt vektor „nézzen ugyanabba az irányba” (*3. ábra*). A vektor tehát előbb kifordul az *A* görbéből, aztán a teljes kör megtétele után visszajut eredeti állapotába. Az eredeti vektor és a teljes kör megtétele után visszajutott vektor 0 fokos szöget zár be egymással, ahogy síkbeli rajzaink tapasztalatai után várjuk.

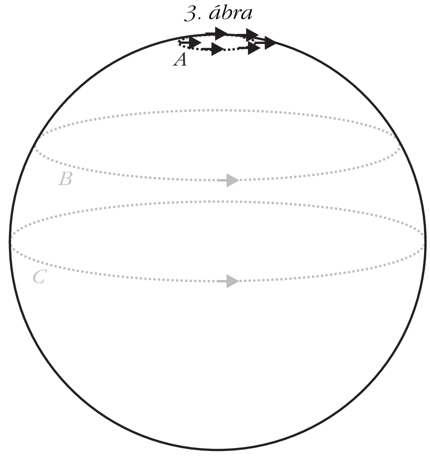
1. ábra

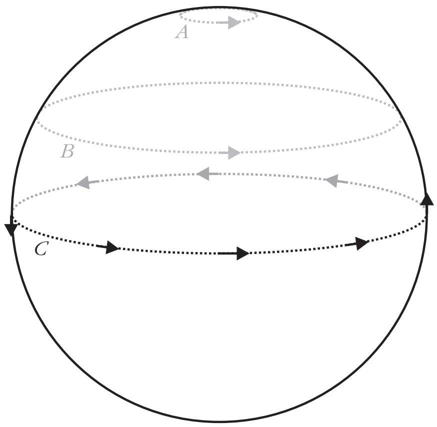


2. ábra

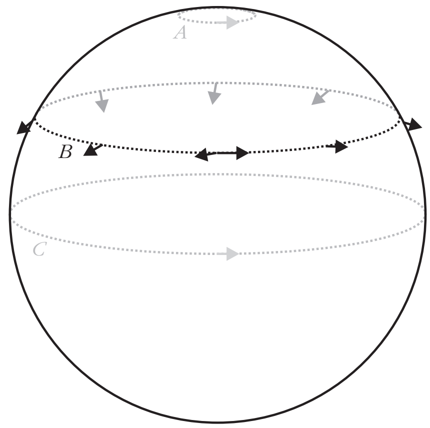


3. ábra





4. ábra

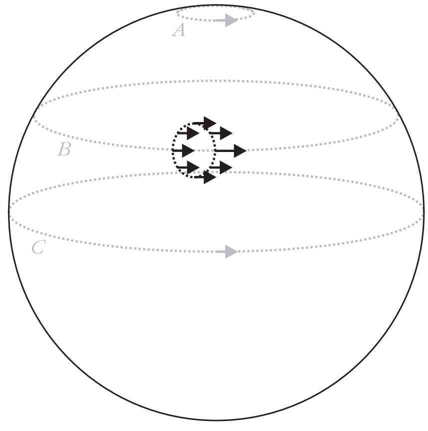


5. ábra

A *C* görbe esete is egyszerű. Először is, az ábrára a „párhuzamosan eltolt" vektorokat úgy kell berajzolnunk, hogy végig a felület érintősíkjaiban maradjanak (hiszen a laposlények számára csak ilyen vektor értelmezhető). Másodszor, mivel a *C* görbe a gömb egyenlítője, amely szimmetrikusan osztja két részre a gömböt, érintővektora a „párhuzamos eltolás" folyamán nem fordul*hat* ki sem lefelé, sem felfelé a görbéből, különben megsértené az ábra szimmetriáját. (Akár a lefelé, akár a felfelé elfordulást választjuk, nem tudnánk választásunkat megindokolni.) A vektor tehát mindvégig a görbe érintővektora marad (*4. ábra*). Mint az *A* görbe esetében, a vektor a kiindulópontba visszajutva ekkor is fedésbe kerül eredeti helyzetével, de most közben – kívülről, a 3 dimenziós térből nézve – tett egy teljes kört (ebből a nézőpontból nem igaz tehát, hogy mindvégig „ugyanabba a irányba mutatott"!). Helyesebb ezért, ha úgy fogalmazunk: az eredeti vektor és a teljes kör megtétele után visszatért vektor 2π szöget zár be egymással.

Az *A* és a *C* görbe esete markánsan különbözik egymástól: az *A* görbe mentén – jó közelítéssel sík felületen – végigvitt vektor a teljes kör megtétele után is ugyanabba az irányba mutat, bár menet közben a *görbéből* erősen kifordul. A *C* görbe mentén végigvitt vektor viszont a görbéhez képesti helyzetét őrzi meg, miközben a külső (3 dimenziós) szemlélő számára drasztikusan változtatja az irányát. Szerencsés véletlennek tűnik, hogy a teljes kör megtétele után éppen 2π-nek adódik az összes szögelfordulás.

6. ábra

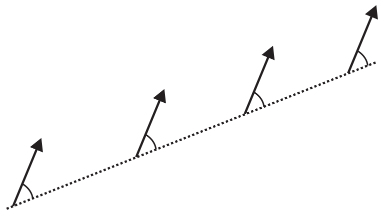


A *B* görbe közbülső eset. Eddigi tapasztalataink alapján a következőképpen okoskodhatunk: a vektor a párhuzamos eltolás során biztosan ki fog fordulni a görbéből (hiszen nem alkalmazható rá a *C* görbénél indokolt szimmetria-érvelés), de *nem olyan mértékben,* mint az *A* görbe esetén (*5. ábra*). Bár okoskodásunk hibátlan, a kapott ábra mégis bántóan ellentmond az ösztöneinknek. A berajzolt vektorok egyszerűen „nem tűnnek párhuzamosnak"; ráadásul az a zavarba ejtő furcsaság adódik, hogy a kiindulási vektor és a teljes kör után ugyanoda érkezett eredmény-vektor nyilvánvalóan egészen más irányba mutatnak.

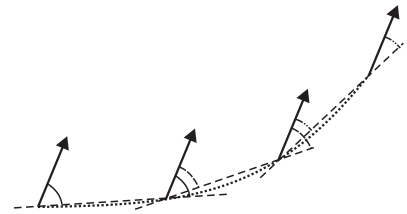
Mielőtt pontosan megértenénk, miért történik ez, gondoljuk végig a következőket: a gömb olyan alakzat, amelynek minden pontja egyenértékű. A *B* görbén végigvitt vektor furcsa viselkedéséért tehát a bejárt görbe a felelős, nem pedig a kiindulópontnak a gömbön elfoglalt helyzete. Ha ugyanabból a kiindulópontból ugyanazt a vektort egy kis tartományon hordoztuk volna körbe (mondjuk egy az *A*-hoz hasonló kör mentén), a végeredményül kapott vektor biztosan fedésbe került volna a kiindulási vektorral (*6. ábra*).

Gondolkodjunk el ezek után, milyen általános szabályt tudunk megfogalmazni, amely a szemléletünknek is megfelel, és az *5–6. ábrá*k furcsaságait is megnyugtatóan magyarázza. Érezhetjük, hogy naiv szabályunkkal mi volt az egyik baj: a „mindig ugyanarra mutasson" követelmény csak a vektorokról mond egy (ráadásul eléggé pongyolán megfogalmazott) állítást, a görbéről, amely *mentén* a vektort eltoljuk, tudomást sem vesz. A gömbi példákból viszont láttuk, hogy a vektor helyzetét ahhoz a görbéhez *képest* kell megadni, amely mentén odébb visszük.

Térjünk vissza oda, ahol a legnagyobb biztonságérzettel mozgunk: egy sík felületre. Először toljuk el vektorunkat párhuzamosan egy *egyenes mentén* (*7. ábra*). Megfigyelésünk egyszerű: az eltolás során a vektor *a bejárt egyenes vonallal mindvégig azonos szöget zár be*. (Érezzük, miért nagy lépés ez: a felület két vonala közötti *szög* a laposlények számára is könnyen értelmezhető, ellentétben a kissé megfogha-



7. ábra



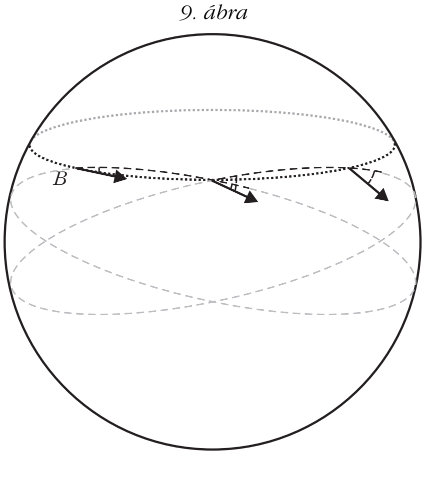
8. ábra

tatlan „ugyanarra mutasson” szabállyal.) Új szabályunk tehát: „Ha egyenes mentén akarod párhuzamosan eltolni a vektorodat, akkor lépésről lépésre gondoskodj arról, hogy a vektor mindvégig azonos szöget zárjon be az egyenessel.” A biztonságot adó sík felületen most görbe vonal mentén vigyük végig a vektort (*8. ábra*). A görbével bezárt szög nyilvánvalóan változik. Előbb felállított szabályunkat mégis átmenthetjük erre az esetre, az alábbi módon: „Ha *görbe* mentén akarod párhuzamosan eltolni a vektorodat, akkor a görbét közelítsd kicsiny egyenes szakaszokkal – ezek adják az eltolás lépéseit –, és minden kicsiny egyenes szakaszra követeld meg, hogy a szakasz elején és végén a vektor azonos szöget zárjon be az adott egyenes szakasszal” (*8. ábra*). Másodikként felállított szabályunk természetesen önmagában is megállja a helyét, hiszen az egyenes mentén történő eltolás speciális esetként kiadódik belőle. De alkalmas-e arra, hogy görbült felület (például gömb) felületén élő laposlényeknek használható receptet adjon a párhuzamos eltolásra? Egyetlen apró átfogalmazásra van csak szükség: az „egyenes” szó görbült felület esetén homályos értelmű, ezért cseréljük ki az általánosításaként használt „geodetikus” szóval. (A geodetikus definíciója: a két adott pontot összekötő vonalak közül a legrövidebb.)

Összefoglalva tehát eddigi tapasztalatainkat, bármilyen felületen élő laposlényeknek a következő eltolási szabályt adjuk:

Ha adott vonal mentén párhuzamosan akarod eltolni a vektorodat, akkor a vonalat közelítsd kicsiny geodetikus szakaszokkal – ezek adják az eltolás lépéseit –, és minden kicsiny geodetikus szakaszra követeld meg, hogy a szakasz elején és végén a vektor azonos szöget zárjon be az adott geodetikus szakasszal.

9. ábra

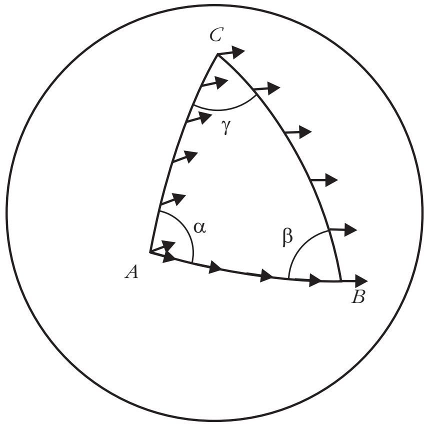


Ellenőrizzük szabályunk használhatóságát a gömbi laposlények esetére! Ismert (és a laposlények is tudják), hogy gömbfelületen két pont közötti legrövidebb út főkör mentén vezet: a főkörök a gömbfelület geodetikusai. A *2. ábra C* görbéje pontosan ilyen. Szabályunk azt diktálja, hogy például az ilyen görbe érintővektorának párhuzamos eltoltja mindvégig a görbe érintővektora maradjon. És valóban: a *4. ábra* megrajzolásakor – más megfontolásból kiindulva – pontosan ezt az eredményt kaptuk. Ami még ennél is meggyőzőbb: szabályunkat a *B* görbe mentén való eltolásra következetesen alkalmazva valóban az *5. ábrá*n látható, elsőre furcsának tűnt viselkedést kapjuk. (A repülés történetének jelentékeny eseménye volt, amikor a légitársaságok rádöbbentek, hogy az azonos szélességi körön fekvő városok – például New York és Isztambul – között *nem* az őket összekötő szélességi kör mentén érdemes repülni, mert nem az a legrövidebb út.) *Természetes,* hogy a vektor kifordul a *B* szélességi körből, hiszen ez a szélességi kör *görbe* vonal a gömbön, amit „egyenes” (= geodetikus) szakaszokkal kell közelítenünk. A szabályunk alkalmazását illusztráló *9. ábra* tulajdonképpen a *8. ábra* megfelelője gömbfelületre.

A Gauss–Bonnet-tétel

Már tudjuk, hogy a vektor teljes szögelfordulása, miután zárt görbén párhuzamos eltolással visszavittük eredeti helyzetébe, függ a görbe alakjától, az általa bezárt terület nagyságától. De mekkora ez a teljes szögelfordulás? Ezt a kérdést a Gauss–Bonnet-tétel válaszolja meg, amelynek *Euler*től származó elegáns bizonyításváltozatát [1] az alábbiakban vázoljuk.

Görbült felületre éppúgy rajzolhatunk sokszögeket, mint síkra, csak a sokszög síkbeli definícióját – egyenes szakaszokkal határolt alakzat – kell értelmesen módosítanunk: a sokszög *geodetikus* szakaszokkal határolt alakzat. Példaként a *10. ábra* egy gömbfelületre rajzolt háromszöget mutat. Mindhárom oldal a gömb geodetikusának – azaz egy-egy főkörének – darabja. Vigyünk körbe egy vektort a gömbi háromszögön a párhuzamos eltolás szabályának megfelelően. Mint láttuk, geodetikus vonal mentén párhuzamosan eltolt vektor megtartja a geodetikushoz képesti irányát (*4. ábra*). Mivel alakzatunk csupa geodetikus vonalból áll, a párhuzamos eltolás ábrája könnyen megrajzolható. Az egyszerűség kedvéért az *A*-ból kiinduló vektor legyen az *AB* oldal érintővektora. Érintő irányát megtartja egészen addig, amíg a *B* csúcshoz ér. Ott a *BC* oldallal $\beta - \pi$ szöget zár be (úgy is mondhatjuk, hogy az *AB* oldallal be-



10. ábra

zárt 0°-os szöghöz ekkora szög*növekmény* adódik), és ezt a szöget a *BC* oldalon való végighaladás során mindvégig megtartja. Amikor a *C* csúcshoz ér, és elindul a *CA* oldalon, újabb, ezúttal $(\gamma-\pi)$ nagyságú szögnövekményt kap, azaz a *BC* oldallal bezárt szöge $(\beta-\pi) + (\gamma-\pi)$ lesz. Végül az *A* csúcshoz, azaz a kiinduló ponthoz érve az *AB* oldallal – és saját eredeti irányával – bezárt szöge immár $(\beta-\pi) + (\gamma-\pi) + (\alpha-\pi)$ lesz.

A vektor a teljes hurok megtétele után tehát

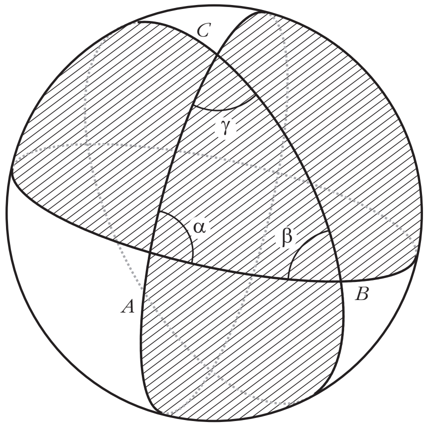
$$\begin{aligned} \delta &= (\beta - \pi) + (\gamma - \pi) + (\alpha - \pi) \\ &= \alpha + \beta + \gamma - \pi \end{aligned} \tag{1}$$

szögelfordulást végez (a szögelfordulást „moduló 2π" értelmezzük, tehát 2π többszörösei elhagyhatók).

A képlet gyors ellenőrzése: síkháromszög esetén $\alpha+\beta+\gamma = \pi$, tehát δ-ra zérus adódik, amint egy sík felületen párhuzamosan eltolt vektortól el is várjuk.

Tegyünk fel egy látszólag nem ide tartozó kérdést: mekkora a *10. ábrá*n látható gömbi háromszög *területe?* A válaszhoz rajzoljuk le a háromszöget még egyszer, de úgy, hogy az oldalakat adó főköröket végig kirajzoljuk (*11. ábra*). A három főkör – ezt egy gumilabdán, a főköröket golyóstollal berajzolva könnyen ellenőrizhetjük – a gömbfelületet nyolc részre osztja. Ha ezek közül kiválasztunk négyet: az eredeti *ABC* gömbháromszöget, valamint az *AB*, a *BC* és a *CA* oldalakkal érintkező további 1-1, összesen három gömbháromszöget – lásd

11. ábra



a vonalkázott részeket a *11. ábrá*n –, érdekes megfigyelést tehetünk (segít a már említett gumilabda): a bevonalkázott rész a gömb felületének éppen a felét fedi le, sőt egybevágó a be nem vonalkázott maradék résszel. A vonalkázott terület tehát

$$\frac{4R^2\pi}{2} = 2R^2\pi,$$

ahol *R* a gömb sugara.

Az ábrán az is látszik, hogy az *ABC* háromszög voltaképpen három elnyújtott (és bevonalkázott) „kifli-alakzat" metszet-tartománya. Mindhárom kifli-alakzat úgynevezett gömbi kétszög (az elnevezés teljesen logikus; mindazonáltal ennek az egzotikus sokszögnek hiába keresnénk a síkbeli megfelelőjét, ott ugyanis két egyenes nem metszheti egymást kétszer.) A gömbi kétszög egy narancsgerezd héjához hasonlít, ezért területének kiszámítása magától értetődő: területe a gömbfelületnél annyiszor kisebb, ahányszor kisebb a nyílásszöge 2π-nél. A *11. ábrá*n bevonalkázott, *A* csúcsú kétszög területe például:

$$4R^2\pi\frac{\alpha}{2\pi} = 2R^2\alpha.$$

Az *ABC* gömbi háromszög *T* területét ezek után a következő gondolatmenettel kaphatjuk meg: ha a három gömbi kétszög területét összeadjuk, majd az eredményből kétszer kivonjuk a triplán figyelembe vett *ABC* gömbháromszög területét, megkapjuk a bevonalkázott összterületet:

$$2R^2\alpha + 2R^2\beta + 2R^2\gamma - 2T = 2R^2\pi, \tag{2}$$

amiből a gömbháromszög területe:

$$T = R^2(\alpha + \beta + \gamma - \pi). \tag{3}$$

A (3) és (1) egyenletek egybevetésével azonnal látjuk, hogy párhuzamosan körbevitt vektor teljes δ szögelfordulása a bejárt területtel arányos:

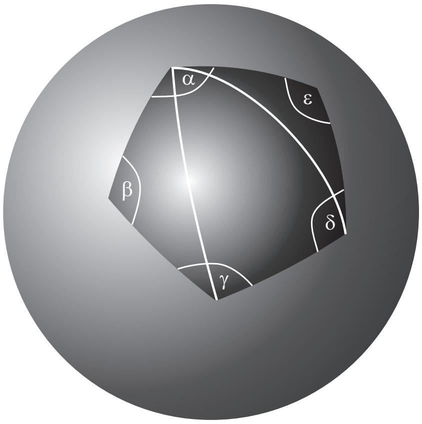
$$\delta = \frac{T}{R^2}. \tag{4}$$

(Innen adódik a δ-ra gyakran használt *felületi* excesszus elnevezés.)

Ahogyan egy szöghöz tartozó körívhossz osztva a kör sugarával adja a radiánban mért szög definícióját, úgy a szteradiánban mért térszög definíciója: a térszöghöz tartozó *gömbfelület*-darab osztva a gömb sugarának *négyzetével*. A (4) egyenlet jobb oldalán tehát éppen az *ABC* gömbháromszöghöz tartozó Ω térszög szerepel, azaz a végeredmény ebbe az egyszerű alakba írható:

$$\delta = \Omega. \tag{5}$$

Szavakkal: a gömbi háromszög mentén párhuzamosan eltolt vektor teljes felületi excesszusa (radiánban



12. ábra

mérve) egyenlő a háromszög által lefedett (és szteradiánban mért) térszöggel.

A (4) egyenlet könnyen általánosítható: érvényessége igazolható előbb tetszőleges gömbi sokszögre, majd tetszőleges zárt görbére a gömbfelületen. Egy gömbi sokszög ugyanis felbontható gömbi háromszögekre (*12. ábra*). Könnyen belátható, hogy a teljes felületi excesszus megkapható, mint a háromszögekhez tartozó felületi excesszusok összege. Ugyanakkor – triviális módon – a teljes terület is a háromszögek területének összegeként adódik. A (4) egyenlet tehát változatlan formában igaz. Másrészt a gömbfelületen tetszőleges zárt görbe közelíthető – tetszőleges pontossággal – gömbi sokszöggel, azaz a (4) egyenlet a gömb felületén valóban tetszőleges görbére igaz.

*Gauss*nak a görbült felületek geometriájában elért egyik legfőbb eredménye az volt, hogy talált egy olyan mérőszámot – ezt tiszteletére Gauss-görbületnek nevezzük –, amely egyértelműen és pontról pontra jellemzi az adott felület görbültségének mértékét [2]. A probléma nehézsége abból adódik, hogy a görbület-mérőszámtól elvárjuk: a felület deformációmentes változtatása – mint például egy sík lap felgörgetése hengerré – „ne tudja becsapni”: egy újságlap a lényegét tekintve akkor is sík felület, amikor legyet akarunk vele agyonütni.

A Gauss-görbület kiszámításának módját a következő gondolatkísérlet illusztrálja: az adott pontban húzzuk meg a felület érintősíkját. Állítsunk erre az érintősíkra merőleges síkokat az összes létező irányban. Ezeknek a merőleges síkoknak és a görbült felületnek a metszésvonalai síkgörbék, amelyeknek az adott pontban meghatározható a görbületi sugaruk. A végtelen sok merőleges síkhoz végtelen sok síkgörbe tartozik, mindegyikhez 1-1 görbületi sugár. Ezeket a görbületi sugarakat előjelesen értelmezzük, attól függően, hogy az adott érintőkör középpontja a felület „alatt” vagy „fölött” helyezkedik-e el. A végtelen sok görbületi sugár érték között lesz egy (előjelesen) legkisebb és egy legnagyobb: $R_{\min}$ és $R_{\max}$. Gauss zseniális meglátása az volt, hogy a

$$K \equiv \frac{1}{R_{\min} R_{\max}} \tag{6}$$

mennyiség tökéletesen megfelel a céloknak. Igazi mérőszáma a felület adott pontban értelmezett görbületének, ráadásul előjeles mennyiség. Nem csak síkra, hanem – a sík felületté torzításmentesen kiteríthető – hengerfelületre is zérust ad (utóbbi esetben $R_{\max} = \infty$ miatt) Nyeregfelületre negatív szám, gömbfelületre pozitív. Hangsúlyozandó, hogy *K*, a Gauss-görbület, pontról pontra értelmezett mennyiség, csak éppen gömbfelület esetén minden pontra ugyanaz: $K = 1/R^2$. Ez utóbbi összefüggéssel a (4) egyenlet a következő alakba írható:

$$\delta = T K. \tag{7}$$

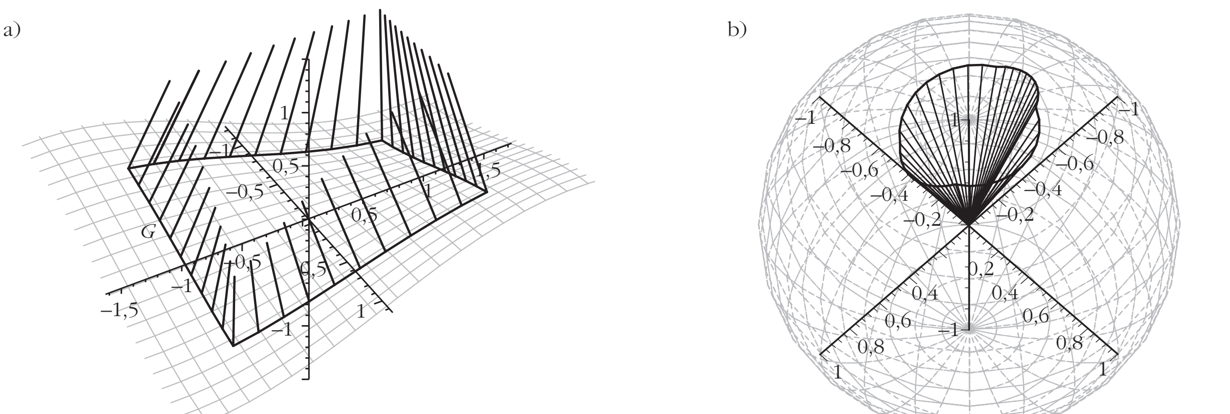
Ez a felírásmód csak állandó görbületű felületekre (a gömbre, és a később tárgyalandó pszeudoszférára) alkalmazható. Tetszőleges görbült felületre így általánosítható: a felületen, adott zárt görbe mentén párhuzamosan eltolt vektor *teljes* felületi excesszusa egyenlő a Gauss-görbületnek a görbe által körülzárt felületre számított integráljával:

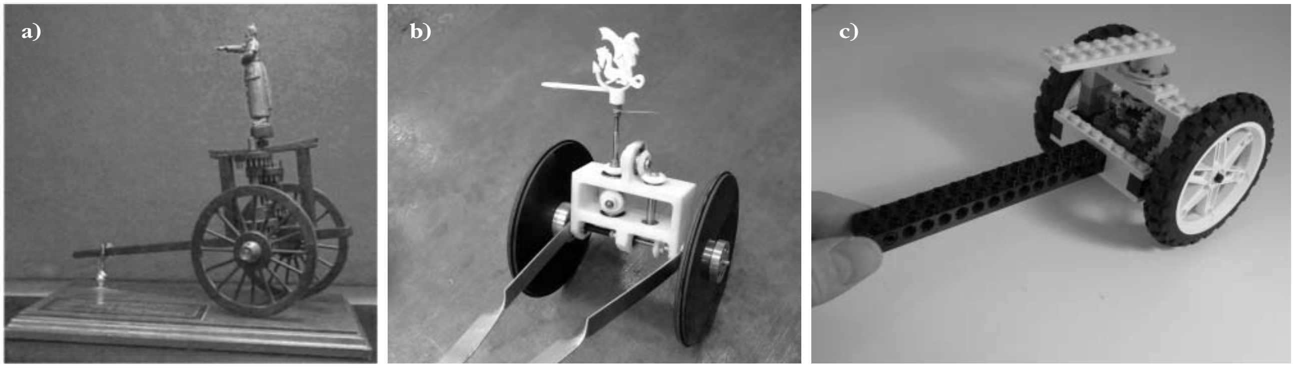
$$\delta = \int_T K \, dT. \tag{8}$$

Ez a Gauss–Bonnet-tétel.

Érdekesség, hogy a Gauss–Bonnet-tételnek az (5) egyenlet változtatás nélkül, általánosan használható alakját adja. Ilyenkor, tetszőleges (nem gömbi) gör-

13. ábra





14. ábra

bült felület esetén, az (5) jobb oldalán szereplő Ω térszöget a *13. ábra* szerint értelmezzük: amint a görbült felület normál egységvektora végigvándorol a G zárt görbén, ugyanezek a normál egységvektorok egy egységgömb középpontjából kiindítva egy másik zárt görbét írnak le az egységgömb felületén. Ennek az egységgömb felületén kialakult zárt alakzatnak a területe adja Ω-t (egyben a G görbéhez tartozó δ felületi excesszust, egyben az eredeti görbült felület Gauss-görbületének a T felületre számított integrálját).

A *13.a ábra* az

$$\boldsymbol{r}(u, v) = \begin{bmatrix} u \\ v \\ \frac{1}{2}\sin(u)\sin(v) \end{bmatrix}$$

felületet és az $-0{,}8 \le u \le 0{,}7$, $-1 \le v \le 1{,}1$ tartomány határán az

$$\boldsymbol{n} = \frac{\dfrac{\partial \boldsymbol{r}}{\partial u} \times \dfrac{\partial \boldsymbol{r}}{\partial v}}{\left| \dfrac{\partial \boldsymbol{r}}{\partial u} \times \dfrac{\partial \boldsymbol{r}}{\partial v} \right|}$$

normál egység vektorokat szemlélteti, a tartomány úgynevezett gömbi képét (azaz az egység sugarú gömb középpontjából indított normál egységvektorok végpontjai által kijelölt alakzatot) pedig a *13.b ábra* mutatja.

Szellemes technikai megoldásokkal vagy egyszerű fizikai elvek kihasználásával többféle olyan eszköz konstruálható, amelyek – adott felület adott görbéje mentén elmozogva – ténylegesen megvalósítják vektorok párhuzamos eltolását. (Itt a „vektort” például egy a felület érintősíkjában adott irányban álló rúdnak képzeljük el, amely az eszköz többi részéhez képest elfordulhat, de mindig a felület érintősíkjában marad.[1]) Az ilyen eszközökkel kétféle alapkísérlet is végezhető: (1) adott felületen adott zárt görbe mentén végigtolva az eszközt, a „vektor” teljes elfordulásából megkapható a felületi excesszus, és így belső méréssel meghatározható az integrált Gauss-görbület; (2) ügyeskedve úgy végigtolva az eszközt a felületen, hogy a „vektor” orientációja (*az eszközhöz képest*) ne változzon, meg lehet találni a felület geodetikus vonalait.

[1] Ez a megjelenítés annyiban félrevezető, hogy egy valóságos vektor „kezdő-” és „végpontja” ugyanabban a pontban van.

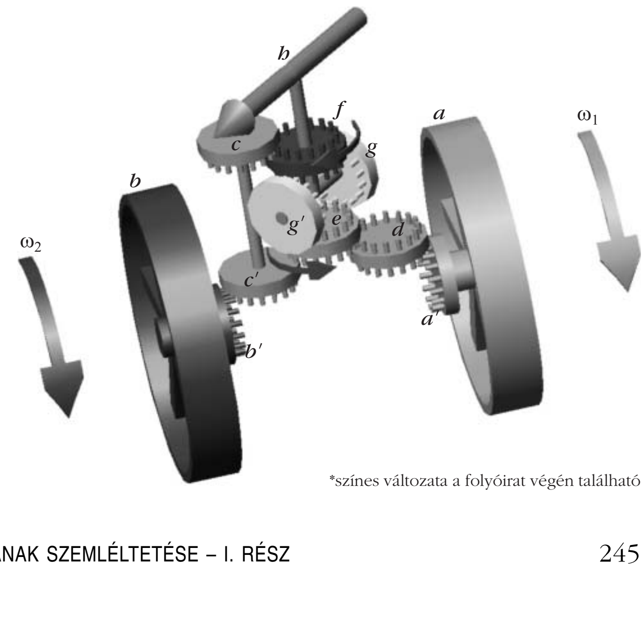
A kínai délirányt jelző kordé

A délirányt jelző kordé [3–5] nevű ókori kínai találmány – egyes feljegyzések szerint i.e. 2634-ben (!) találta fel a „Sárga császár”, a nagy birodalom akkori uralkodója – a kietlen terepen utazók tájékozódását segítette. Szerkezetének legfontosabb része egy briliáns műszaki lelemény, a fogaskerék differenciál (amely a gépkocsik mindmáig fontos szerkezeti része). A délirányt jelző kordé egy, a British Museumban kiállított modellje a *14.a ábrá*n látható. A működő szerkezet felső részén álló szobor kinyújtott karja a jármű mozgásirányától függetlenül állandó irányba mutatott. (A kordé indulásakor tetszőleges alapirányt lehet választani, a korabeli kínai navigáció szerint azonban a figura a déli világtájat jelezte.)

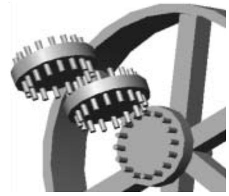
A *14.b kép*en egy általunk készített modell látható. Az interneten számos LEGO-változat található, ezek egyikét is összeraktuk (*14.c ábra*).

A szerkezet eredeti verziójának egyszerűsített vázlatát a *15. ábra* szemlélteti. Az eredeti mechanizmusban a fogaskerekek legrégebbi alakjai, az úgynevezett

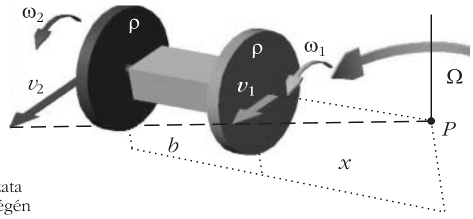
*15. ábra**



*színes változata a folyóirat végén található a)



b)



*színes változata a folyóirat végén

*16. ábra**

homlokcsapos vagy pálcás fogazatok találhatók. Az *a* és *b* jelű, azonos átmérőjű kerekeken gördül a szekér; a bal és jobb oldali kerekek szögsebessége ω_2, illetve ω_1. A fogaskerekek azonos átmérőjűek, homlokfelületükön megegyező osztású pálcákból épülnek fel. A koronaszerű kialakítás lehetővé teszi mind a párhuzamos, mind a merőleges tengelyelrendezésű kerekek kapcsolódását (*16.a ábra*). (Az ábrán a fogaskerekek tengelyeit nem tüntettük fel.)

Azonos alakú fogaskerekek esetén a bal oldali kordékerék a hozzákapcsolt *b′*, a két részből álló *c,* valamint az *f* jelű fogaskerekeket ω_2 szögsebességgel hajtja. Hasonlóképpen a jobb oldali kerék a vele öszszekapcsolt *a′*, valamint a mindkét homlokfelületükön fogazott *d* és *e* jelű fogaskerekeket ω_1 szögsebességgel forgatja. A felsorolt kerekek mindegyike a szekérhez rögzített tengelyek körül foroghat.

A *csúszás nélkül gördülő,* azonos ρ sugarú kerekek talajjal éppen érintkező pontjai pillanatnyi nyugalomban vannak, a kerekek középpontjai pedig $v_1 = \omega_1\rho$, illetve $v_2 = \omega_2\rho$ sebességgel mozognak (*16.b ábra*). Ha például $\omega_1 < \omega_2$, a jármű a *P* pont körül Ω szögsebességgel elfordul:

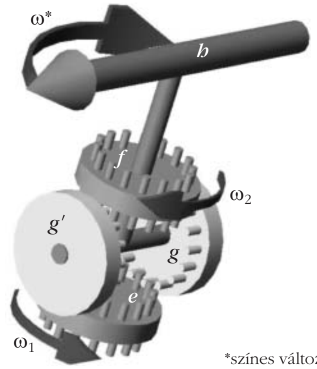
$$\Omega = \frac{v_2 - v_1}{b} = \frac{\rho}{b}\left(\omega_2 - \omega_1\right), \tag{9}$$

ahol *b* a kerekek nyomtávolsága.

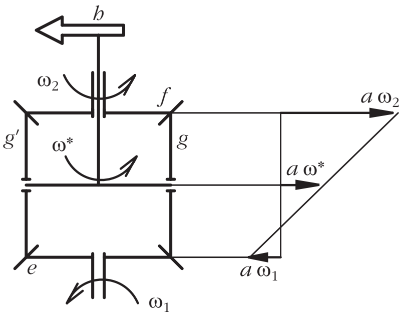
A szerkezet legérdekesebb része az *e, f, g* és *g′* jelű fogaskerekekből felépülő differenciálmű (*17. ábra*).

Az *e* és *f* fogaskerekek a kordéhoz rögzített függőleges tengely körül foroghatnak, a *g* és *g′* kerekeket hordozó vízszintes tengely azonban az *e* és *f* kerekek közös tengelyvonala körül képes elfordulni. A *g* és *g′* kerekeket hordozó vízszintes tengelyhez kapcsolódik az állandó irányt jelző *h* kar. Az *f* kereket a kordé bal oldali kerékrendszere ω_2 szögsebességgel, az *e* jelű fogaskereket pedig a jobb oldali kerékcsoport $(-\omega_1)$ szögsebességgel hajtja. Azonos méretű fogaskerekek esetén a *g* és *g′* jelű fogaskerekek középpontjai

$$\omega^* = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \tag{10}$$



*színes változata a folyóirat végén



*17. ábra**

szögsebességgel keringenek az *f* és *e* kerekek tengelyei körül. (9) és (10) összevetéséből látható, hogy *ha a kordé kerekek* 2ρ *átmérője megegyezik a b nyomtávval,* az ω^* szögsebességgel keringő tengelyhez kapcsolt *h* irányjelző éppen a jármű Ω pillanatnyi kanyarodási szögsebességével ellentétes mértékben fordul el. Ez azt jelenti, hogy – hacsak a kerekek nem csúsznak meg – bármilyen pályán is haladjon a jármű, a szobor mindig a jármű pillanatnyi kanyarodásával ellentétesen fordul, a jelző kar tehát mindvégig az indulásnál beállított irányba mutat.

Bár elemzésünket sík felületi mozgást feltételezve végeztük el, bizonyítható, hogy a kordét bármilyen felület bármely zárt görbéje mentén csúszásmentesen gördítve a szobor karja *párhuzamos eltolást* végez. A kordé használatával tehát elvileg vizsgálható a Gauss–Bonnet-tétel[2], ennek azonban az a feltétele, hogy a *b* nyomtávolság sokkal kisebb legyen, mint a vizsgálan-

[2] A délirányt jelző kordé differenciálgeometriai alkalmazhatóságának eszméje világosan felsejlik *Hilbert* páratlan geometriai ismeretterjesztő művében. A kordéról szóló első európai beszámoló *Herbert Allen Giles* (1845–1935) angol diplomata és sinológus 1909-ben közzétett ismertetője. A beszámolót azonban – a szerzők véleménye szerint – Hilbert aligha olvasta.

„A geodetikus vonalakat úgy állíthatjuk elő, hogy valamely végtelen kis görbeívet a felületen mindig »egyenest előre« tolunk. Megköveteljük, hogy *A* és *B* pályái egyenlő hosszúak legyenek, és hogy e pályák mindegyike *AB*-re merőleges legyen. Ez a pálya, amelyet ekkor *AB* középpontja ír le, tetszőleges pontossággal geodetikus, ha az *AB* görbeívet elég kicsinynek választjuk. Ebből a definícióból valószínű, hogy mindegyik pontból mindegyik irányba pontosan egy geodetikus vonal indul ki. E definíció szerint továbbá a geodetikus vonalakat úgy lehet megközelítőleg előállítani, hogy a felületen lehetőleg kis kétkerekű kocsit gördítünk, amelynek kerekei mereven össze vannak kötve a közös tengelyükkel, tehát azonos a fordulatszámuk."

Forrás: D. Hilbert, S. Cohn-Vossen: *Szemléletes geometria*. Gondolat Kiadó, 1982, 252 o., Strommer Gyula fordítása.

dó felület bármely görbületi sugara. Másképp megfogalmazva: a kordé karakterisztikus méretskáláján a felület nem lehet túl görbült vagy „göcsörtös”.

Ennek illusztrálására nézzünk egy egyszerű példát, amikor a kordé egy gömb szélességi köre mentén gurul, majd a továbbiakban elemezzük a mozgást az úgynevezett pszeudoszférán.

A kordé mozgása gömbfelületen

A differenciálmű által mozgatott szobor szögelfordulása a szekérvázhoz képest a mozgás T időtartama alatt

$$\Phi = \int_0^T \omega^* \, dt. \tag{11}$$

A kerekek szögelfordulásai a szekérvázhoz képest hasonlóképpen

$$\Phi_1 = \int_0^T \omega_1 \, dt, \qquad \Phi_2 = \int_0^T \omega_2 \, dt. \tag{12}$$

A kerekek csúszás nélkül legördült ívhosszai

$$S_1 = \rho\, \Phi_1, \qquad S_2 = \rho\, \Phi_2. \tag{13}$$

Mivel

$$\Phi = \int_0^T \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \, dt, \tag{14}$$

a szobor Φ szögelfordulása, valamint a kerekek által megtett S_1 és S_2 utak kapcsolata:

$$\Phi = \frac{S_1 - S_2}{2\rho}. \tag{15}$$

Gördüljön a kordé ω_1 szögsebességgel forgó kereke az O középpontú, ismeretlen R sugarú gömb k_1 körvonalán, az ω_2 szögsebességgel forgó kerék pedig a k_2 körvonalán (*18. ábra*).

Legyen $AD = r_1$, $BC = r_2$. A korábbiakkal összhangban $CD = b = 2\rho$ a nyomtáv. A k_2 kör sugara a geometriai viszonyokból (elemi trigonometriai azonosságokat alkalmazva) könnyen megkapható:

$$r_2 = r_1 \sqrt{1 - \left(\frac{b}{R}\right)^2 \left[1 - \left(\frac{b}{2R}\right)^2\right]} + b \sqrt{1 - \left(\frac{r_1}{R}\right)^2} \sqrt{1 - \left(\frac{b}{2R}\right)^2} \tag{16}$$

A kerekek által megtett utak az r_1, illetve r_2 sugarú körök kerületei:

$$\rho\, \Phi_1 = 2\pi\, r_1, \qquad \rho\, \Phi_2 = 2\pi\, r_2. \tag{17}$$

A (15)–(17) összefüggések alapján, a Maple R14 formulamanipulációs software alkalmazásával a

$$\frac{\rho\,\Phi}{\pi} - r_1 + \frac{2\rho\sqrt{R^2-\rho^2}\sqrt{R^2-r_1^2} + r_1 R^2 - 2 r_1 \rho^2}{R^2} = 0 \tag{18}$$

egyenlet adódik. A (18) egyenletet a gömb keresett R sugarára megoldva:

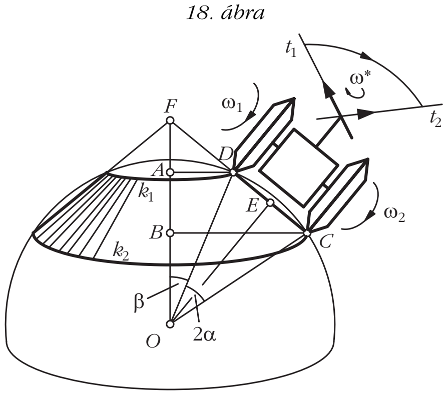
$$R = \pm \frac{2\sqrt{\pi}\sqrt{\pi\rho^2 - \Phi r_1 \rho + r_1^2 \pi}}{\sqrt{4\pi^2 - \Phi^2}}. \tag{19}$$

A *19. ábra* a $\rho = 100$ mm keréksugárhoz az r_1 sugár és a Φ szög függvényében az R = állandó függvényeket szemlélteti.

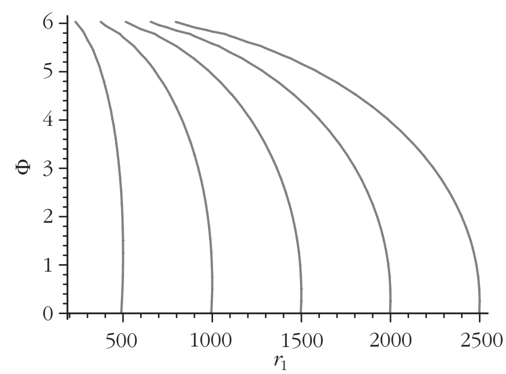
Legyen a továbbiakban $r = r_1$. A (20) formulából nyilvánvaló, hogy $\Phi \to 2\pi$ esetén $R \to \infty$, vagyis a síkon egy teljes kört megtevő kordé irányjelzője pontosan egy teljes körülfordulást végez. A kordé kerekeinek ρ sugarát – és egyúttal a $b = 2\rho$ nyomtávot – 0-ra csökkentve a (19) határértéke:

$$\lim_{b \to 0} R = \frac{2 r\pi}{\sqrt{4\pi^2 - \Phi^2}}. \tag{20}$$

18. ábra



19. ábra



20. ábra

A (20) kifejezésből a szobor elfordulása a szekérvázhoz képest ekkor tehát

$$\Phi = \pm \frac{2\pi\sqrt{R^2 - r^2}}{R}. \tag{21}$$

Az R sugarú gömbfelület r sugarú körvonala által határolt gömbsüveg felülete

$$T = 2\pi R\left(R - \sqrt{R^2 - r^2}\right). \tag{22}$$

(21) és (22) összevetéséből látszik, hogy a $b \to 0$ határesetben a kordé szobrának Φ szögű elfordulása valóban kimutatja a Gauss–Bonnet-tétel szerinti δ felületi excesszust:

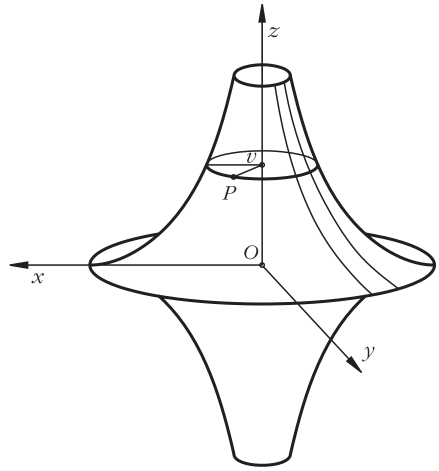
$$\delta = \frac{T}{R^2} = 2\pi\left(1 - \frac{\sqrt{R^2 - r^2}}{R}\right), \tag{23}$$

tehát

$$\delta = 2\pi - \Phi. \tag{24}$$

A *14.b ábrá*n szereplő kordéval az ELTE TTK Lágymányosi Campus központi épületének előcsarnokában álló földgömbön ellenőrző méréseket végeztünk (*20. ábra*).

A ρ = 103 mm kerék sugarú, b = 206 mm tengelytávú kordét a jó közelítéssel gömbnek tekinthető glóbuszon körbe gördítve,[3] az irányjelző Φ = 285° szögelfordulása mellett az egyik kereke $n = 7\,^1/_3$ körülfordulást végzett. A vizsgált kerék ekkor az



21. ábra

$$r_1 = \frac{2\rho\pi n}{2\pi} = 755{,}33 \text{ mm}$$

sugarú körön mozgott. A (19) formulát alkalmazva a gömb sugarára $R \approx 1107$ mm-t kaptunk. (Ellenőrzésül: a földgömb egyenlítői kerülete a modell talpán látható felirat szerint 6660 mm, ez alapján a glóbusz sugarára $R^* \approx 1060$ mm adódik.)

A pszeudoszféra[4]

A gömb mellett egy további állandó, $K = -1$ Gauss főgörbületű felület a pszeudoszféra. Az [1,0,0] ponton[5] átmenő traktrix görbe z tengely körül forgatásával előállított pszeudoszféra (21. ábra) egyenlete:

$$\boldsymbol{r}(u, v) = \begin{bmatrix} \mathrm{sech}(u)\cos(v) \\ \mathrm{sech}(u)\sin(v) \\ u - \tanh(u) \end{bmatrix}. \tag{25}$$

A pszeudoszféra első rendű Gauss-féle főmennyiségei a definiáló összefüggésekkel (r_i a (25) vektor i-edik komponense):

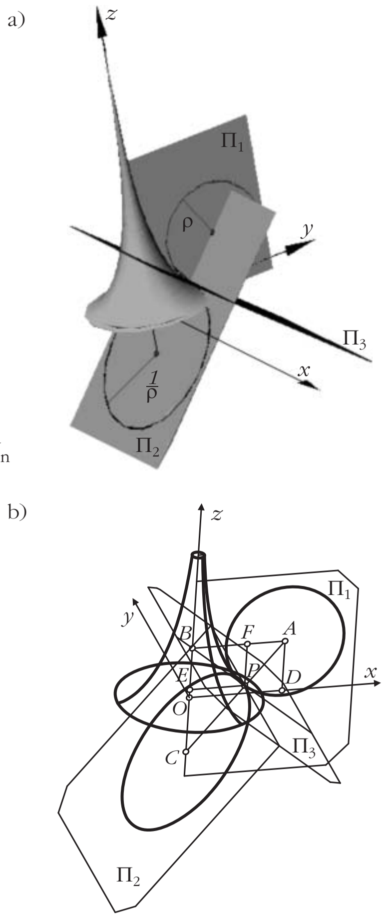
$$\begin{aligned} E &= \left(\frac{\partial r_1}{\partial u}\right)^2 + \left(\frac{\partial r_2}{\partial u}\right)^2 + \left(\frac{\partial r_3}{\partial u}\right)^2 = \frac{\sinh(u)}{\cosh(u)^2}, \\ F &= \frac{\partial r_1}{\partial u}\frac{\partial r_1}{\partial v} + \frac{\partial r_2}{\partial u}\frac{\partial r_2}{\partial v} + \frac{\partial r_3}{\partial u}\frac{\partial r_3}{\partial v} = 0, \\ G &= \left(\frac{\partial r_1}{\partial v}\right)^2 + \left(\frac{\partial r_2}{\partial v}\right)^2 + \left(\frac{\partial r_3}{\partial v}\right)^2 = \frac{1}{\cosh(u)}. \end{aligned} \tag{26}$$

A pszeudoszféra felszíne az $a \le u < \infty$, $0 \le v \le 2\pi$ határok között:

[3] Az aulában tartózkodók csendes derültségére a földgömböt – a működtető motor hibája miatt – a déli félteke óceánjain gördülő kordét helyben tartva, kézzel forgattuk körbe.

[4] Lásd például Coxeter, H.S.M.: *A geometriák alapjai*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987.

[5] A vektor valamennyi komponensét $q > 0$ számmal szorozva, a $[q, 0, 0]$ ponton átmenő traktrix forgatásával adódó pszeudoszféra egyenletét nyerjük. Az egyszerűbb tárgyalásmód érdekében azonban az „egység” objektumokat vizsgáljuk.



*színes változata a folyóirat végén

*22. ábra**

$$A = \int_0^{2\pi} \int_a^{\infty} \sqrt{E\,G - F^2}\; du\, dv = \frac{2\,\pi}{\cosh(a)}. \qquad (27)$$

A Π_1 jelű x–z koordináta-síkban ($v = 0$) a pszeudoszféra traktrix meridián görbéjének egyenlete:

$$\begin{aligned} x &= \operatorname{sech}(u), \\ z &= u - \tanh(u). \end{aligned} \qquad (28)$$

A traktrix görbületi sugara (az u változó szerinti deriválásokat vesszővel jelölve):

$$\rho = \frac{\left(x'^2 + y'^2\right)^{3/2}}{\begin{vmatrix} x' & y' \\ x'' & y'' \end{vmatrix}} = -\sinh(u) \qquad (29)$$

és a görbületi kör A középpontjának koordinátái:

$$\xi = x - x' \frac{x'^2 + y'^2}{\begin{vmatrix} x' & y' \\ x'' & y'' \end{vmatrix}} = \cosh(u),$$

$$\eta = y + y' \frac{x'^2 + y'^2}{\begin{vmatrix} x' & y' \\ x'' & y'' \end{vmatrix}} = u. \qquad (30)$$

Mivel a pszeudoszféra forgásfelület, az $y = 0$ helyzetű P pontjához tartozó Π_3 érintősík merőleges Π_1-re. A Π_1 és Π_3 síkokra egyaránt merőleges Π_2, a felület normálmetszeti síkja. Mivel a pszeudoszféra Gauss-görbülete $K = -1$, a Π_2 síkmetszetben a görbületi sugár:

$$\frac{1}{\rho} = \operatorname{cosech}(u). \qquad (31)$$

A geometriai viszonyokat a *22. ábrá*k szemléltetik. A *22.b ábra* jelöléseivel

$$\begin{aligned} \overline{AP} &= \rho = -\sinh(u), \\ \overline{CP} &= \frac{1}{\rho} = \operatorname{cosech}(u) = -\frac{1}{\sinh(u)}, \\ \overline{AF} &= \cosh(u) - \operatorname{sech}(u) = \cosh(u) - \frac{1}{\cosh(u)}, \\ \overline{AC} &= \overline{AP} + \overline{CP} = -\sinh(u) - \frac{1}{\sinh(u)}, \\ \overline{AB} &= \cosh(u). \end{aligned} \qquad (32)$$

Az APF és ACB hasonló derékszögű háromszögek megfelelő oldalainak aránya:

$$\frac{\overline{AF}}{\overline{AP}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}}. \qquad (33)$$

A hiperbolikus függvények definíciói alapján nyilvánvaló, hogy

$$\frac{\cosh(u) - \dfrac{1}{\cosh(u)}}{-\sinh(u)} = \frac{\cosh(u)}{-\sinh(u) - \dfrac{1}{\sinh(u)}}. \qquad (34)$$

Azaz a Π_2 síkmetszet görbületi körének C középpontja éppen a z tengelyre esik.

A P ponthoz tartozó parallel kör sugara (28) szerint, $u = a$ helyettesítéssel

$$r = \overline{EP} = \operatorname{sech}(a) = \frac{1}{\cosh(a)}. \qquad (35)$$

A *22.b ábra* jelöléseivel a gömbre levezetett (23) összefüggés:

$$\delta := 2\,\pi \left(1 - \frac{\sqrt{\left(\dfrac{1}{\sinh(a)}\right)^2 - \left(\dfrac{1}{\cosh(a)}\right)^2}}{\dfrac{1}{\sinh(a)}} \right), \qquad (36)$$

egyszerűsítve

$$\delta := 2\,\pi \frac{\cosh(a) - 1}{\cosh(a)} = 2\,\pi - \frac{2\,\pi}{\cosh(a)}. \qquad (37)$$

Ezzel a pszeudoszféra példáján is illusztráltuk a Gauss–Bonnet-tétel állítását.

A pszeudoszféra $r = \overline{EP}$ sugarú parallel körén gördített kordé mérési eredményei nyilván megegyeznek a $R = \overline{CP}$ sugarú gömb r sugarú parallel körén nyert adatokkal.[6] A gömbfelület és a pszeudoszféra lakói azonban – ha csak *erre az egy* mérésre támaszkodnak – a kordé alkalmazásával nem tudják világaik erősen eltérő alakjait megkülönböztetni.

[6] Egy olyan kúpfelületen is ugyanezt a mérési eredményt kapnánk, amely érinti a gömböt és a pszeudogömböt a szóban forgó kör mentén. Ez a felület a kúp csúcsának a kivételével mindenütt görbületlen (sík)! (Lásd erről Hraskó Péter: *Relativitáselmélet.* Typotex, Budapest, 2002, 401. oldalát.)

Irodalom

1. J. von Bergmann, H. Ch. von Bergmann: Foucault pendulum through basic geometry. *Am. J. Phys. 75/10* (2007) 888.
2. Lánczos Kornél: *A geometriai térfogalom fejlődése.* Gondolat Kiadó, Budapest, 1976.
3. Laczik B: A délirányt jelző kordé. *Term. Vill.* (2009) 2.
4. M. Santander: The Chinese south-seeking chariot: a simple mechanical device for visualizing curvature and parallel transport. *Am. J. Phys. 60/9* (1992) 782.
5. F. Duditza, D. Diaconescu: Ein sinnreiches Zahnräderdifferential aus dem antiker China. *Maschinenbautechnik 36/6* (1987) 268.

AZ ELSŐ SOLVAY-KONFERENCIA CENTENÁRIUMÁN – I.

Radnai Gyula
ELTE Anyagfizikai tanszék

Simonyi Károly A fizika kultúrtörténete című könyvében sok érdekes dokumentumot, fotót közöl. Az egyik legérdekesebb ezek közül az, amelyik az első Solvay-konferencia résztvevőiről készült. A fotót egy brüsszeli fényképész, bizonyos *Benjamin Couprie* készítette egy szerencsés pillanatban. *Eduardo Amaldi* (1908–1989) olasz fizikus, az 1970-es és 1973-as Solvay-konferencia elnöke szerint ez talán minden idők leghíresebb fényképe, amit fizikusokról készítettek. A helyet és az időpontot is jól ismerjük: Brüsszel, Hotel Metropole, 1911. október 30. – november 3. Itt és ekkor tartották az első Solvay-konferenciát (*1. kép*).

A konferencia létrejötte

A SOLVAY márkanév ma már egy multinacionális vegyi konszernt jelöl, amelynek központja Brüszszelben van és 40 országban 17 ezer embert foglalkoztat. Megalapítója *Ernest Solvay* (1838–1922) belga iparmágnás, aki az ipari méretű szódagyártás olcsó és hatékony módszerét dolgozta ki. Nem járt egyetemre (elég sokat betegeskedett), viszont nagybátyja kémiai üzemében sok jó ötlettel állt elő és nemsokára önállósította magát. 1872-ben szabadalmaztatta ipari szódagyártási találmányát, gyárakat létesített Németországban, Angliában, Amerikában és viharos gyorsasággal meggazdagodott (*2. kép*).

1. kép. Az első Solvay konferencia résztvevői. Ülnek (balról jobbra): Nernst, Brillouin, Solvay, Lorentz, Warburg, Perrin, Wien, Mme Curie, Poincaré. Állnak (balról jobbra): Goldschmidt, Planck, Rubens, Sommerfeld, Lindemann, de Broglie, Knudsen, Hasenöhrl, Hostelet, Herzen, Jeans, Rutherford, Kamerlingh-Onnes, Einstein, Langevin.

A 19. században a gazdag emberek előtt több út is állt vagyonuk hasznosítására, nemes cselekedet volt a jótékonykodás. Magyarországon például *Semsey Andor* (1833–1923) tűnt ki ebben az időben a természettudomány pártolásával. Földbirtokát bérbe adva fejedelmi bőkezűséggel támogatta azokat az intézményeket, amelyek feladata a természettudomány és a műveltség terjesztése volt. A Nemzeti Múzeum, a Földtani Intézet, a Természettudományi Társulat anyagi támogatása mellett *Eötvös Loránd* gravitációs méréseit több mint százezer koronával segítette. Jelentős összeggel járult hozzá az Eötvös Collegium könyvtárának felszereléséhez, ösztöndíjat létesített az egyetemen maradó fiatal tudósok számára.

Belgiumban Ernest Solvay maga alapított tudományos kutatóintézeteket. A századforduló körül Európában tért hódító szabadegyetemi mozgalom keretében 1894-ben hozta létre az Institut des Sciences Sociales nevű szociológiai kutatóintézetet, majd nemzetközi fizikai-kémiai intézetet alapított. A nemzetközi jelző hangsúlyos, Solvay-nek több országban voltak érdekeltségei, ezért természetesnek tartotta, hogy a tudományos kutatást is nemzetközileg összehangoltan végezzék a tudósok, ezt akarta elősegíteni.

2. kép. Ernest Solvay (1838–1922)

Így jött az az ötlete is, hogy nemzetközi részvételű konferenciát hívjon össze Brüsszelbe a tudomány legaktuálisabb kérdéseinek megvitatására. A meghívottak számát 20 és 30 között, a konferencia időtartamát egy hétben szabta meg. Minden költséget vállalt, még az utazási költségeket is. De mi legyen a konferencia tárgya, és kik legyenek a meghívottak? Ezt valószínűleg nem akarta egyedül eldönteni. Talán azt szerette volna, ha a hozzá közel álló kémiai-fizikai problémák közül jelölik ki a megvitatandó témát. Ennek kiválasztására pedig a berlini egyetem fizikai-kémiai intézetének vezetője, *Walther Nernst* (1864–1941) látszott a legalkalmasabbnak, aki maga is feltaláló volt, akárcsak Solvay. Sejteni lehetett, hogy jól megértik egymást.

A téma kitűzése

Walther Nernst Solvay által is ismert találmánya egy fényforrás volt, amely mindenek előtt az ívlámpát készült kiváltani az utcai közvilágításban. A „Nernst-lámpa” világítótesteként kerámiarúd szolgált, amelyet először egy platina izzószál fűtött fel olyan magas hőmérsékletre, aminél már a rajta átfolyó áram hatására önálló világításba kezdett. Nernst megfogalmazása szerint ez a kerámiarúd „szilárd elektrolit” volt, a hőmérséklet emelkedésével egyre nőtt a vezetőképessége, ezért még vashuzalt is sorba kellett kötni vele, hogy stabilizálják a működését. Mindez egyetlen lámpatesten belül – kissé bonyolult eszköz lehetett Edison szénszálas izzólámpájához képest. Egyetlen előnye az volt, hogy normál légköri nyomáson működött, nem kellett hozzá vákuum, mint az izzólámpához. Nernst azonban nemcsak jó feltaláló, hanem jó menedzsere is volt találmányának, sikerült eladnia az AEG számára. Az érte kapott pénzt Göttingenben az általa alapított fizikai-kémiai intézet fejlesztésére fordította. Ezért is bízott benne Solvay, akinek a szemében ő az igazi, alkotó tudóst testesítette meg (*3. kép*).

3. kép. Walther Nernst (1864–1941)

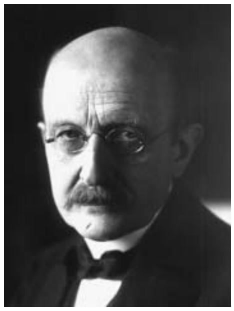
Nernst 1905-ben Göttingenből Berlinbe ment át, mivel az itteni egyetemi fizikai-kémiai intézet igazgatójává nevezték ki. Itt alkotta meg és hozta nyilvánosságra – egy karácsony előtti társulati előadáson – nevezetes tételét, a termodinamika harmadik főtételét. A jókor, jó helyen kimondott tétel nagy visszhangra talált. Először *Max Planck* (1858–1947) fogalmazta át fizikusok számára: „az abszolút zérus hőmérséklethez közeledve az entrópia is zérushoz tart”, nemsokára pedig a tudományos köztudatba is bevonult, mint „az abszolút zérus fok elérhetetlenségének elve”. Ez a tétel végleg megalapozta Nernst tudományos tekintélyét.

1910-ben Berlinben az anyagok fajhőjének viselkedését tanulmányozta egyre alacsonyabb hőmérsékleteken, és elméleti magyarázatot keresett arra, miért tart a szilárdtest fajhője nullához, miközben hőmérséklete az abszolút zérushoz közeledik. Kiváló fiatal segítői voltak: *Frederick Lindemann* (1886–1957) Angliából és *Arnold Eucken* (1884–1950) Jénából nála doktoráltak. Az elméleti megalapozást Svájcból várta egy nemrég feltűnt fiatal elméleti fizikustól, akit 1905 óta kísért figyelemmel. 1909-ben Salzburgban találkoztak, a német orvosok és természettudósok társulatának évi közgyűlésén. *Albert Einstein* (1879–1955) nagy visszhangot váltott ki előadásával az itteni matematikai konferencián. Max Planck és *Arnold Sommerfeld* (1868–1951) egyaránt el voltak ragadtatva tőle.

A rejtélyes elméleti probléma az energiakvantum mibenléte volt, amelyet Planck a feketesugárzás tárgyalására vezetett be már egy évtizeddel ezelőtt. Planck azt tételezte fel, hogy az üregsugárzásban az üreg falait alkotó oszcillátorok energiája csak diszkrét értékeket vehet fel. Einstein a hatáskvantum érvényességét 1905-ben kiterjesztette magára a fényre (fotonhipotézis) és 1906-ban a kristályos szilárdtest minden atomjára. Így tudta megmagyarázni a szilárdtest fajhőjének nullához tartását. Egyelőre az abszolút hőmérséklettel való exponenciális függés jött ki Einstein modelljéből, ami sajnos nem nagyon egyezett a mérésekkel, de legalább kijött annyi, hogy nullához tart a fajhő.

Einstein modelljét később *Peter Debye* (1884–1966) finomította, majd *Max Born* (1882–1970) és *Kármán Tódor* (1881–1963) közösen megalkották a kristályban egymáshoz csatolt atomi rezgések dinamikai elméletét (fononhipotézis), és ez már kiadta a fajhőnek az abszolút hőmérséklet harmadik hatványával való arányosságát az abszolút zérus fok közelében, ami jól egyezett a mérésekkel. Mindez azonban már a Solvay-konferencia után történt, a konferencia előtt egyedül Einstein kvantumos levezetése létezett. Érdekességként érdemes megemlíteni, hogy az 1970-es években Angliában a Nuffield Physics Project *Nevill Mott* (1905–1996) bátorítására a középiskolások számára is érthető szinten tárgyalta az „Einstein-kristályt” a kvantumfizika bevezetőjeként. Nálunk *Marx György* (1927–2002) szellemi irányítása mellett *Tóth Eszter* kísérelte meg ennek adaptálását a gimnáziumok negyedik osztálya számára írt fizika tankönyvében.

Nernst úgy gondolta, hogy leginkább a kvantumhipotézis az a téma, ami ennek a konferenciának megvitatandó témája lehet, ezért a kvantumhipotézis megalkotóját, Max Planckot (*4. kép*) kérte meg 1910-ben, hogy vállaljon főszerepet a leendő konferencián, előtte pedig segítsen a meghívandó résztvevők kiválasztásában, szervezzék együtt a konferenciát. 1910-ben Planck 52 éves volt, Einstein csak 31. Einstein neve még nem jelentett elég vonzerőt a meghívandó tekintélyes tudósok számára, vagyis Nernst helyesen döntött, amikor Planckot választotta. Planck azonban 1910-ben még elutasította Nernst ajánlatát. Nem elvi, fizikai meggondolásból, hanem személyes okból. Még csak egy éve múlt akkor, hogy felesége meghalt tbc-ben, s ő egyedül maradt négy gyerekükkel. Egy évvel később azonban Planck magára talált, újra megnősült és bizakodóan tekintett a világba. Elvállalta, hogy segít a konferencia szervezésében. Megállapodtak a konferencia címében is: *La Théorie du Rayonnement et les Quanta* (Sugárzás- és kvantumelmélet).



4. kép. Max Planck (1858–1947)

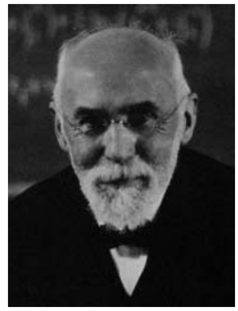
A brüsszeli konferencia hivatalos nyelve érthetően – az akkori általános szokás szerint – a francia lett, de németül és angolul is szabad volt megszólalni, előadást tartani vagy a diszkusszióban részt venni.

Nobel-díjasok meghívása

A konferencia résztvevőinek kiválasztásakor előnyben voltak a Nobel-díjasok. Akkor már tíz éve létezett ez a kitüntetés, amelyet a Svéd Tudományos Akadémia döntése alapján lehetett elnyerni a világ bármely részéből. Egyre nagyobb tekintélyre tett szert a Nobel-díj minden tudományterületen. Most a fizikai és a kémiai Nobel-díjasok jöhettek szóba.

Fizikából 1901-ben az első Nobel-díjat *Conrad Röntgen* (1845–1923) német tudós, akkor már a müncheni egyetemen működő professzor kapta meg. Az 1911-ben 66 éves kísérleti fizikus azonban már nem nagyon vett részt a tudományos életben, nem hívták meg.

1902-ben a holland *Hendrik Lorentz* (1853–1928) (*5. kép*) és *Pieter Zeeman* (1865–1943) kapták a fizikai Nobel-díjat. Zeeman Lorentz kérésére vizsgálta meg kísérletileg, hogy van-e hatása a mágneses térnek a gázkisülések fénykibocsátására. Zeeman észrevette, hogy a gázkisülések vonalas színképe megváltozik, a színképvonalak mintegy „felhasadnak”, hol két, hol három, egymáshoz közeli vonalra (Zeeman-effektus). A jelenséget Lorentz tudta értelmezni. 1911-ben Lorentz már elismert elméleti fizikus volt nemcsak Európában, de Amerikában is. 1909-ben publikálta *Elektronelmélet* című könyvét, amely a Columbia Egyetemen tartott előadásaira épült. Jól beszélt angolul, németül, franciául. Ez, és kiegyensúlyozott természete tette alkalmassá arra, hogy Planck és Nernst a konferencia elnökének javasolják. Zeemant nem hívták meg, helyette más kísérleti fizikusokat hívtak, akiknek kutatásai jobban kapcsolódtak a konferencia témájához.

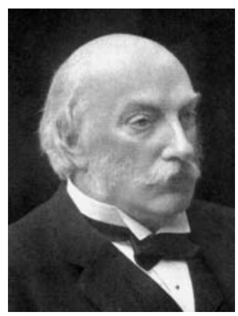


5. kép. Hendrik Lorentz (1853–1928)

1903-ban a francia *Henri Becquerel* (1852–1908), *Pierre Curie* (1859–1906) és *Marie Sklodowska Curie* (1867–1934) kaptak megosztott Nobel-díjat fizikából a radioaktivitás felfedezéséért. Közülük 1911-ben már csak Marie Curie élt. Őt meghívták – végül ő lett az egyetlen nő a résztvevők között (*6. kép*).

6. kép. Marie Sklodowska Curie (1867–1934)

1904-ben *Lord Rayleigh* (*John William Strutt*) (1842–1919) angol tudós kapta a fizikai Nobel-díjat, leginkább az argon felfedezéséért (*7. kép*). Neki a feketesugárzás hosszú hullámhosszú részére sikerült 1900-ban megfelelő elméletet és formulát találnia, fiatal tanítványa, bizonyos *James Jeans* (1877–1946) segítségével. Rayleigh Cambridge-ben *Maxwell*t követte a Cavendish Laboratórium élén; tanítványa volt a két *Thomson* (apa és fia, mindketten Nobel-díjasok) és az indiai *Chandra Bose* (1858–1937) is. 1905 és 1908 között Lord Rayleigh volt a londoni tudományos akadémia, a Royal Society elnöke. Azután már inkább csak a Lordok Házában szólalt fel, ott is csak akkor, ha fizikáról volt szó. Elhárította a meghívást, de írt egy kétoldalas levelet Nernstnek, amit ő fel is olvasott, a résztvevők pedig meg is vitattak a konferencián.



7. kép. Lord Rayleigh (1842–1919)

1905-re *Philipp Lenard* (1862–1947) küzdötte ki magának a Nobel-díjat, miután évekig hangoztatta, hogy

Röntgen is csak neki köszönheti a felfedezését. Hogy, hogy nem, nem hívták meg a Solvay-konferenciára.

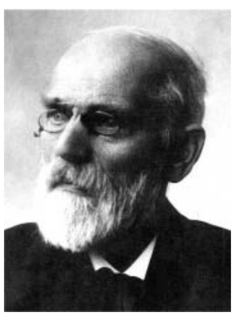
De nem volt a meghívottak között J. J. Thomson (1856–1940) sem, az 1906-os kitüntetett. Lord Rayleigh tanítványa és 1884 óta utóda Cambridge-ben a Cavendish Laboratórium élén. Éppen 1911-ben építette meg az első jól működő tömegspektrográfot. Igazi invenciózus mérnök-fizikusként nagyszerű kísérleteket talált ki és végzett el, emellett számos tanítványt nevelt, akik közül heten lettek később Nobel-díjasok. Az igaz, hogy sem a feketesugárzással, sem a kvantumossággal nem foglalkozott, az anyag és az atom szerkezete azonban nagyon is érdekelte. Az is igaz, hogy hiába az ő kísérletei bizonyították be az elektromosság „atomos” szerkezetét, haláláig nem volt hajlandó az általa feltárt legkisebb negatív töltésű részecskék megnevezésére elfogadni az „elektron” szót.

1907-ben egy chicagói fizikus, *Albert Abraham Michelson* (1852–1931) kapott fizikai Nobel-díjat pontos optikai méréseiért. Ő volt az első amerikai, aki Nobel-díjat kapott. A relativitáselmélet szempontjából alapvető fénysebességmérése nagyon érdekelte volna Lorentzet és Einsteint is, de a relativitáselmélet nem volt napirenden a Solvay-konferencián. Érthető, ha Nernst és Planck nem javasolta Michelson meghívását.

1908-ban francia fizikus, *Gabriel Lippmann* (1845–1921) is optikai kutatásért nyerte el a Nobel-díjat: egy olyan színes fényképezési eljárást dolgozott ki, amelyik a fény interferenciáján alapult. Akik odaítélték a díjat, valószínűleg azt várták, hogy olyan sikert arat majd ez a találmány a mindennapi életben, mint amilyet annak idején Röntgen felfedezése aratott. Nem így történt. Még több évtizedet kellett várni, amíg egy interferencián alapuló fényképészeti eljárás, a *Gábor Dénes* (1900–1979) által feltalált holográfia valóban világsikert ért el. Lippmann sok mindennel foglalkozott optikán kívül is a fizikában, de egyik se kapcsolódott a konferencia témájához, ezért őt se hívták meg.

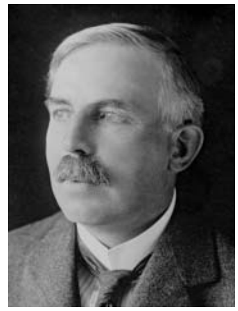
1909-ben „a drótnélküli távíró kifejlesztésében való érdemeik elismeréséül” kapott a német *Karl Braun* (1850–1918) és az olasz *Guglielmo Marconi* (1874–1937) megosztott fizikai Nobel-díjat. Egyikük se volt elméleti érdeklődésű fizikus, ők invenciózus, gyakorlati emberek, feltalálók voltak. Talán el se jöttek volna a konferenciára, ha meghívják őket.

1910-ben viszont olyan fizikus kapta meg a díjat, aki egész életében az intermolekuláris erőkkel foglalkozott és megalkotta a reális gázok mind a mai napig használatos állapotegyenletét. *Johannes Diderik van der Waals* (1837–1923) holland fizikus (*8. kép*) még a korelnök Solvay-nál is idősebb volt egy évvel, ezért várható volt, hogy nem szívesen jön el vitatkozni a fiatalokkal a legújabb elméleteken, de azért meghívták. Már csak azért is, mert ő volt a legutóbb kitüntetett fizikai Nobel-díjas. Azt, hogy 1911-ben kit fognak kitüntetni, persze még senki se tudta. Van der Waals kimentette magát, nem vett részt a konferencián.

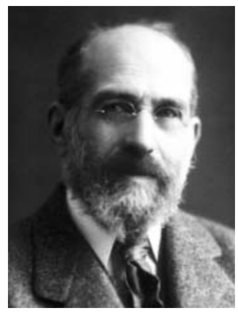

8. kép. Johannes Diderik van der Waals (1837–1923)

Angliai meghívottak

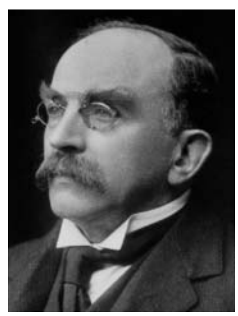
A kémiai Nobel-díjjal kitüntetettek között volt egy fizikus, akinek a radioaktivitással kapcsolatos kutatásai szoros kapcsolatban voltak Curie-ék kutatásaival. 1908-ban kapott kémiai Nobel-díjat *Ernest Rutherford* (1871–1937) „az elemek bomlásának vizsgálataiért és a radioaktív anyagok kémiájában elért eredményeiért”. 1907-ig a montreali McGill Egyetem fizikaprofesszora volt, akkor viszszajött Európába, és a manchesteri, kiválóan felszerelt fizikai laboratórium igazgatója lett. Őt meghívták, el is jött (*9. kép*).


9. kép. Ernest Rutherford (1871–1937)

Manchesterből meghívták azt a fizikust is, aki létrehozta ezt a laboratóriumot. *Arthur Schuster* (1851–1934) egyaránt jó volt az elméleti és a kísérleti fizikában. (Tőle származik többek között az antianyag létezésének gondolata is.) Az 1900-ban megnyitott laboratóriumot, amely hamarosan a Cavendish Laboratórium versenytársává vált, 1907-ben adta át a tanszékkel együtt a nála húsz évvel fiatalabb Rutherfordnak. Most elhárította a meghívást, gondolta elég, ha Manchestert Rutherford képviseli (*10. kép*).


10. kép. Arthur Schuster (1851–1934)

Cambridge-ből is volt még egy fizikus, aki Lord Rayleigh mellett szerepelt a meghívottak között, de nem tudott eljönni: *Joseph Larmor* (1857–1942) (*11. kép*). Nevét ma a fizikusok leginkább a Larmor-precesszió (atomok, elektronok mágneses momentumának precessziója külső mágneses térben) kapcsán szokták emlegetni. Ír származású elméleti fizikus volt, aki meggyőződéssel hitt az éterben és Írország egységében. Lorentz pártján volt Einsteinnel szemben a távolság- és idődilatáció kérdésében. Elméletileg helyesen határozta meg a gyorsuló elektron sugárzási terét és az elektronok rezgésére vezette vissza a színképvonalak felhasadását külső mágneses térben. 1911-ben a Cambridge-i Egyetem képviseletében sikeresen pályázott brit parlamenti képviselői mandátum-


11. kép. Joseph Larmor (1857–1942)

ra – ez akkor fontosabb volt számára, mint részt venni a Solvay-konferencián.

Cambridge-et James Jeans képviselte a konferencián, teljes erőbedobással. Előadást is tartott, s a diszkussziókban tevékenyen vett részt. 1904 és 1909 között Princetonban volt az alkalmazott matematika professzora, közben egyetemi tankönyveket publikált elméleti mechanikából és elektrodinamikából – így matematikailag jól felkészülten vehetett részt a konferencián a kvantumelmélettel kapcsolatos vitákban (*12. kép*).

12. kép. James Jeans (1877–1946)

Holland, dán és belga résztvevők

Lorentz, miután elvállalta az elnökséget, nagy örömmel fogadta, hogy meghívják ide vele egyidős kísérleti fizikus kollegáját is. *Heike Kamerlingh Onnes* (1853–1926) (*13. kép*) nagyszerű „hideglabort” épített ki Leidenben, egész Európából hozzá jártak tanulni az alacsony hőmérsékletű kísérletek iránt érdeklődő fizikusok. Egyetlen versenytársa volt: a skót *James Dewar* (1842–1923) Londonban, de őt is sikerült megelőznie: 1908-ban Kamerlingh Onnes cseppfolyósította először az utolsó „permanens” gázt, a héliumot. Nernst számára magától értetődő volt Kamerlingh Onnes meghívása, ő maga is alacsony hőmérsékletű kísérletekkel bajlódott. Arra viszont Kamerlingh Onnes se számított, hogy éppen 1911-ben, a konferenciát megelőző hónapokban sikerül felfedeznie egy teljesen új jelenséget, a szupravezetést, amire majd csak a kvantumfizika lesz képes magyarázatot adni.

13. kép. Heike Kamerlingh Onnes (1853–1926)

Hollandiából tehát két fizikus vett részt az első Solvay-konferencián, Dániából pedig csak egy, *Martin Knudsen* (1871–1949). Ő a gázok kinetikus modelljével foglalkozott, érdekes megállapításokra jutott mind elméleti, mind gyakorlati szinten a koppenhágai műszaki egyetemen. Különleges figyelmet szentelt azoknak az állapotoknak, ahol a gázmolekulák közepes szabad úthossza meghaladta az edény méreteit.

Belgium a konferencia házigazdája volt. Ennek megfelelően a belga résztvevők leginkább a konferencia lebonyolításában vettek részt, Solvay közeli munkatársai voltak. *Georges Hostelet* (1875–1960) szociológus, *Edouard Herzen* (1877–1936) vegyész, aki még további öt Solvay-konferencián segített a szervezésben. *Robert Goldschmidt* (1877–1935) léghajózási szakértő volt – rejtély, hogyan lett a konferencia egyik titkára.

Irodalom

1. Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete.* Gondolat Kiadó, Budapest, 1986.
2. *La Theorie du Rayonnement et les Quanta, Rapports et Discussions de la Reunion tenue a Bruxelles, du 30 Octobre au 3 Novembar 1911.* Publies par MM. Langevin et M. de Broglie, Gauthier-Villars, Paris, 1912.
3. *Die Theorie der Strahlung und der Quanten, Verhandlungen auf einer von E. Solvay einberufenen Zusammenkunft (30. Oktober bis 3. November 1911).* Mit einem Anhange über die Entwicklung der Quantentheorie vom Herbst 1911 bis zum Sommer 1913, in deutscher Sprache herausgegeben von A. Eucken, Halle a. S., Druck und Verlag von Wilhelm Knapp, 1914.

RÉTHY MÓR ÉS TULLIO LEVI-CIVITA

In memoriam Toró Tibor (1931–2010)

Oláh-Gál Róbert
Sapientia Egyetem, Csíkszeredai Gazdaság- és Humántudományok Kar, Románia

Nagyon meglepett, amikor elolvastam, hogy *Réthy Mór* fejében már 1892-ben megfogant az az elképzelés, hogy a gravitációt, az elektromágnesességet és a fényt egységes térelméletben kellene tárgyalni. Történt ugyanis, hogy Réthy Mór 1892. április 21-én a Matematikai és Physikai Társulat rendezésében egy előadást tartott *A gravitáció, elektromosság, mágnesség és a fény elméletének közös alapon való tárgyalása* címmel. Az 1892. *Mathematikai és Physikai Lapok* 1892. évi I. kötete erről beszámol és azt írja, hogy közölni fogják Réthy előadását. Sajnos csak az alábbi rövid összefoglaló jelent meg a *Természettudományi Közlöny*ben [2]:

„Az 1892. április 21-i ülésen:

Dr. Réthy Mór tartott előadást »A gravitáczió, az elektromosság, a mágnesség és a fény elméletének közös alapon való tárgyalásáról«. Előadó megismertette azt a két módot, mely a nevezett hatók törvé-

Köszönetet mondok *Zsidó László* úrnak, a Római Egyetem professzorának, az MTA külső tagjának, aki segítséget nyújtott Réthy Mórnak Tullio Levi-Civitához írt levelének fénymásolatban való beszerzéséhez, *Réthy Gábor* úrnak, Réthy Mór dédunokájának, a német fordításért és *Komornik Vilmos* úrnak a Strassbourgi Egyetem professzorának a francia fordításért.

nyeinek mathematikai kifejezésére szolgál, nevezetesen a Newton-félét, mely az erőket a tömeg és a távolság függvényében fejezi ki, és a Fourier-félét, mely az erőket bizonyos differencziál-egyenletekkel határozza meg; ez utóbbi módon alkalmazta Maxwell, az egyenletek oly rendszerét állítván fel, mely a nevezett egész tüneménycsoport törvényeit magába foglalja. Előadó ezután tüzetesen megismertette Hertz német fizikus differenciál-egyenleteit, melyeknek a Maxwell-félékkel szemben az a jó oldaluk van, hogy bennök csupa olyan mekkoraság fordul elő, a melyek megfigyelés útján is meghatározhatók. Végre megmutatta, hogy miként adódnak ki az egyenletből a Coulomb-féle alaptörvények, a Kirchhoff-féle áramtörvények stb., nemkülönben, hogy miként foglalják magukban, és pedig észleletek útján is igazolható következmények révén, a fényelmélet differenciál-egyenleteit, miből kitűnik, hogy a fény az elektromos vagy mágnesen erők hullámzására vezethetők vissza."


Réthy Mór
(1846–1925)

Kár, hogy nincs meg a fenti előadás részletes kifejtése. De van rá remény, hogy valahonnan előkerül. Réthy Mór kéziratainak egy része kutatható a MTA Könyvtár Kéziratárában, de a fenti előadás anyaga explicit módon nincs közöttük, mint önálló dolgozat. De *A gravitáczió, az elektromosság, a mágnesség és a fény elméletének közös alapon való tárgyalásáról* értekezésének gondolatai, eszmefuttatásai, részeredményei lehet, hogy más kéziratok között fellelhető! Bár eddig nem sikerült megtalálnom Réthy Mór előadásának teljes szövegét, a fenti közlemény egyértelművé teszi, hogy Réthy Mór ezzel az elképzelésével nagyon modern szemléletet képviselt.

Réthy Mór korának legújabb matematikai eszköztárát használta és sok dolgozatával úttörő munkát végzett a magyar elméleti fizikában, de a matematikában is. Íme mit írt neki *Tullio Levi-Civita* (Padova, 1873. március 29. – Róma, 1941. december 29.) a modern differenciálgeometria egyik megteremtője.[1]

„Pádua, 1907. március 13.
Uram és mélyen tisztelt kollégám,

Megtisztelve érzem magamat jóindulatú figyelme által, amelyet irántam tanúsított azáltal, hogy elküldte nekem legutolsó dolgozatát. A legnagyobb örömmel ismerkedtem meg annak tartalmával, és sietve fejezem ki Önnek minden köszönetemet. Engedje meg, hogy hozzátegyem, mennyire csodáltam analízisének pontosságát és mélyreható bölcsességét, amely által felszínre tudta hozni egymástól távol eső területek (az Ostwald-elv és a termodinamika második főtétele) közti rejtett viszonyokat, amelyek eléggé rebellisek ahhoz, hogy a klasszikus mechanika keretei közé lehessen szorítani őket. Kérem, engedje meg, hogy egy egészen friss cikk általi tiszteletnyújtással, amelyet ugyanezen levélben küldök, kifejezzem a nagyrabecsülésemet.

Ön iránti nagy tisztelettel,

T. Levi-Civita"[2]

Réthy levele T. Levi-Civitának:
„Nagyon Tisztelt Kolléga Úr!

Budapest 1907. III. 22

Szívélyes köszönet az Ön kedves leveléért, megköszönöm a munkáját »Nyomás az edény falára ideális folyadékoknál«, melynek Metodikáját nagy élvezettel olvastam. Engedelmével, levelemmel elküldöm két publikációmat is. Ezenkívül már 1879-ben is publikáltam »A nyomás az ékre«, de sajnos csak magyar nyelven. A Metodika és az eredmény ugyan az volt, mint a pár évvel később megjelent Bobileff-féle dolgozatnál. Megjegyezném, hogy a nehéz folyadéksugárról Lautreauf is publikált 1894-ben a Annales de l' Esp. Sup. Grenoblei-ben és 1901-ben a Liouville Journalban. A probléma megoldásától Lautreauf is ugyan olyan távol van mint én. A Kirchoff-féle dolgozatokról úgy tűnik semmit sem tudott megtapasztalni.

Kollegiális üdvözlettel szolgálatára

Réthy

Budapest, VII, Baross tér 17."[3]

„Pádua, 1907. március 23.
Uram és mélyen tisztelt kollégám,

Minden köszönetem oly kedves leveléért és különlenyomatai nagylelkű elküldéséért, amelyeket a legnagyobb érdeklődéssel olvastam. Lekötelezett kézírásos megjegyzéseivel, és még inkább azzal a nagyúri jólelkűséggel, amelyet irántam tanúsított. Az igazság az, és ezt szívesen elismerem, hogy tudnom kellett volna az ön friss munkáiról, és azokat figyelembe kellett volna vennem a kutatásom megfogalmazásakor. Ennek hiánya nem volt szándékos; ön nagy szerencsémre biztosított róla, hogy nem haragszik ezért rám. De én ugyanannyira sajnálom, és szeretném magamat igazolni, amennyire csak lehet. Kérem, őrizze meg irántam való jóindulatát, és fogadja el nagyon magas szintű és tiszteletteljes figyelmemet kifejező érzéseimet.


Tullio Levi-Civita
(1873–1941)

Ön iránti nagy tisztelettel,

T. Levi-Civita"[4]

[1] Ismeretes, hogy az *Einstein* által használt differenciálgeometriai formalizmus is nagyrészt Tullio Levi-Civitától származott.

[2] Franciából magyarra fordította Komornik Vilmos, MTA KK, Ms 5323/179.

[3] Németből magyarra fordította Réthy Gábor, a levél eredetije a Páduai Egyetem Levéltárában.

[4] Franciából magyarra fordította Komornik Vilmos, MTA KK, Ms 5323/180.

Csak reménykedhetünk, hogy Réthy Mór a magyar fizikatörténetében is megkapja a méltó elismerését. (Sajnos a legtöbb kiadványban még születési dátuma is tévesen 1848-nak van írva, a helyes évszám 1846.)

Toró Tibor professzor több dolgozatot közölt „Einstein álmáról”. Egyik legutolsó dolgozata nemrég jelent meg a *Matematikai Lapok* Bolyai-emlékszámában, Toró professzor halála után [6].

Toró Tibor
(1931–2010)

E sorok írója nagyon fájlalja, hogy Réthy Mór fenti eszmefuttatását és gondolatait nem tudta megbeszélni Toró professzorral. De azzal a felejthetetlen élménnyel emlékezhetek meg Toró professzorról, aki szintén az egységesített térelmélet nagy profétája volt, hogy utolsó előadásának hallgatója és társelőadója lehettem, 2010. július 20-án Csíkszeredában, a Bolyai Nyári Akadémia szervezésében.

Irodalom

1. MTA Könyvtár Kézirattár: Réthy Mór hagyatéka
2. Réthy Mór: A gravitáczió, az elektromosság, a mágnesség és a fény elméletének közös alapon való tárgyalásáról. *Természettudományi Közlöny* (1892) 24. évf., 273. sz., 266. old.
3. Oláh-Gál Róbert: Eötvös Loránd és Réthy Mór levelezése. *Fizikai Szemle 59* (2009) 311.
4. Oláh-Gál Róbert: Réthy Mór (1846–1925). A modern felsőfokú matematikai oktatás és kutatások elindítója Erdélyben. *Természet Világa 141/2.* 2010. február
5. Értesítő a Matematikai és Physikai Társulat 1892 évi előadásairól. *Mathematikai és Physikai Lapok,* I, 5.
6. Toró Tibor: Bolyai rejtett kincseitől Einstein utolsó álmáig. *Matematikai Lapok* (2010/2) 115–122.

KÁRMÁN TÓDOR, 1881–1963

Szabó Tímea – Ungvári Tudományegyetem
Sikolya László, Szabó Árpád – Nyíregyházi Fôiskola, Mûszaki és Mezôgazdasági Kar

A 19. század vége és a 20. század eleje a fizika és a természettudományok aranykora, egyben a magyar tudományosság igen fényes időszaka. E kor egyik kiváló képviselője *Kármán Tódor* világhírű fizikus és matematikus. Főként aerodinamikával és rakétatechnikával foglalkozott. Igen jelentősek az áramlástani és a hangsebesség fölötti (szuperszonikus) repülés kérdéseivel kapcsolatos felfedezései. Az aktív űrkutatás elindítója. A Nemzetközi Légügyi és Űrhajózási Hivatal, a Nemzetközi Űrhajózási Szövetség valamint a Nemzetközi Asztronautikai Akadémia alapítója. Az Akadémiának több éven át elnöke is volt. Tudományos tevékenységéről számos jeles tudománytörténész úgy vélekedett, hogy kiérdemelte volna a Nobel-díjat.

Kármán Tódor Budapesten született 1881. május 11-én. Édesapja, *Kármán Mór* író, kiváló középiskolai tanár és pedagógiai szakíró volt. *Eötvös József* oktatásügyi miniszter 1869-ben kérte fel és bízta meg egy állami középiskola megszervezésével. Így lett Kármán Mór a Budapesti Tudományegyetem Gyakorlógimnáziuma, a Mintagimnázium alapítója. Édesanyja nagy műveltségű asszony volt. A szülőknek bizonyára nagy szerepük volt abban, hogy tehetséges fiuk már gimnazista korában élénk érdeklődést tanúsított a matematika iránt. Döntő szerep jutott ebben a gyakorlógimnázium matematikatanárának, az országos hírű *Beke Manó* professzornak is.

Kármán Tódor az édesapja által alapított Trefort utcai Mintagimnáziumban végezte középiskolai tanulmányait. 1898-ban érettségizett. Még ebben az évben megnyerte a Mathematikai és Physikai Társulat évente megrendezett tanulmányi versenyét. A *Középiskolai Mathematikai Lapok*ban igen gyakran lehetett találkozni nevével.

Kármán Tivadar (e néven említik az egyetemi közlemények) az 1898/1899-es tanévben volt első éves hallgatója a Budapesti Műszaki Egyetem gépészmérnöki karának. Nagy elismeréssel emlegette tanárait, közülük is kiemelt tisztelettel *Bánki Donát* professszort. Egyetemi évei alatt kitűnő tanulmányi eredményeiért többször is kapott „szorgalmi díjat”, „pályadíjat”. 1902-ben kitűnő eredménnyel fejezte be egyetemi tanulmányait, szerzett gépészmérnöki oklevelet. Katonai szolgálatának letöltése után, 1904-ben Bánki Donát tanársegédje lett. Ugyanakkor a Ganz-gyárnál is alkalmazták mérnöki beosztásban.

Első dolgozata 1902-ben jelent meg. Ezután kutatási eredményeit rendszeresen publikálta. Sikerei nagy hatást gyakoroltak édesapjára, aki külföldi tanulmányútra buzdította. 1906-ban, 25 éves korában el is nyerte a Magyar Tudományos Akadémia ösztöndíját és Göttingenbe ment, ahol a híres *Ludwig Prandtl* professzor vezetésével még két évet tanult, de már az egyetemen is tartott előadásokat a mechanika és aerodinamika tárgykörében.

Doktori disszertációját a szakítószilárdságról írta. Az 1908-ban megvédett műszaki doktori disszertáció egy csapásra nemzetközi hírnevet szerzett neki. Ahogy 1908-ban letelt ösztöndíja, göttingeni diáktársával, *Vészi Gyulá*val Párizsba utaztak és beiratkoztak a Sorbonne-ra, ahol *Marie Curie* előadásait hallgatták. Ezután visszatért Göttingenbe. Bár a göttingeni évek igen termékenyek voltak, Kármán Tódor mégsem fogadta el a végleges kinevezést, hanem 1909-ben magántanár lett. 1912-ben a selmecbányai Bányamérnöki Akadémia Géptani Tanszékére elnyert kinevezésével is csak nagyon rövid ideig élt, ugyanis a főiskola

Kármán Tódor (1881–1963)

keretei között nem volt igazi lehetőség tudományos munkára, így egyévi szabadságot kért és visszament Göttingenbe, hogy félbehagyott munkáit befejezze.

Selmecbányán a híres osztrák elméleti fizikus, a Doppler-effektus felfedezője, *Christian Doppler* is tanított, a matematika, a fizika és a mechanika professzora volt.

Kármán Tódor 1913 elején, amikor az Aacheni Műszaki Főiskola meghívását elfogadta, lemondott selmecbányai állásáról és Aachenbe költözött, ahol az Aeronautikai Tanszék professzoraként aerodinamikát oktatott. Kisebb-nagyobb megszakításokkal 1932-ig élt Aachenben, ottani működését az I. világháború szakította meg, mivel 1914 őszén be kellett vonulnia a Monarchia hadseregébe. A hadseregben a Bécs melletti Fischamend katonai reptéren kutatómérnökként harci repülőgépek fejlesztésével foglalkozott. A repülőgépek fejlesztésénél számtalan technikai újítást valósított meg. Itt merült fel az a gondolat is, hogy az ellenség megfigyelésére használt, helyben lebegő léghajók helyett egy helyből felemelkedni képes repülőeszközt kellene konstruálni. Kármán magyar barátaival, *Asbót Oszkár*ral, *Zurovetz Vilmos*sal, *Petróczy István*nal megoldották a feladatot, és 1917-ben elkészítették a mai helikopterek ősét.

Kármán Tódort a háború befejeztével Budapesten találjuk, de nem tudományos munkával, hanem tudománypolitikával foglalkozott, ugyanis felkérésre a Kultuszminisztérium műszaki felsőoktatási osztályát vezette. A Tanácsköztársaság leverése után azonban Kármán Tódor jobbnak látta elhagyni az országot, pedig ő sohasem volt kommunista, célja csupán az volt, hogy apja nyomdokain haladva modernizálja az oktatást. 1919 novemberében visszatért Aachenbe. Többen is ezt az utat kényszerültek választani, és különféle okok miatt, különböző időkben elhagyták szülőföldjüket. Érzelmeikben azonban ők sohasem szűntek meg magyarnak maradni, büszkék voltak a magyar származásukra. Közülük többen, közvetve vagy közvetlenül, de beleszóltak nemcsak a tudomány fejlődésébe, hanem a II. világháború kimenetelébe: Kármán *Tódor, Szilárd Leó, Wigner Jenő, Teller Ede, Neumann János, Szent-Györgyi Albert, Bay Zoltán* és mások is. Bátran és büszkén mondhatjuk, hogy a 19. és a 20. század fordulóján csodálatos talentummal (kiváló szellemi képességgel) megáldott „tudósjelöltek” születtek „kis magyar hazánkban”. Kár, hogy az ország ezeket a fiatalokat nem tudta megtartani magáénak.

1920-ban ismét Aachenben találjuk, az aacheni Aerodinamikai Intézet igazgatója. Oktatott és kutatott. Az általa vezetett intézet a világ egyik legismertebb repüléstudományi kutatóközpontja lett. Eredményeinek híre eljutott Pasadenába is, ahová *Robert Millikan* meghívta egyetemi előadónak. 1926-tól 1930-ig Pasadenában és Aachenben is dolgozott. 1931-ben felmondta aacheni munkahelyét és 1932-ben, ötvenéves korában, átköltözött Pasadenába, ahol a Kaliforniai Műegyetemen, Robert Millikan Nobel-díjas fizikus tanszékén lett egyetemi tanár. Ötven évig európai, majd élete utolsó harmincegy évében amerikai volt. Az igazság az, hogy ő nemcsak magyar, német vagy amerikai volt, hanem világpolgár. Élete utolsó éveiben ugyanis kapcsolatai és utazásai az egész világra kiterjedtek.

Kármán Tódor mindig hangsúlyozta magyar származását, és őt ebben semmi sem ingatta meg. Vele utazott Aachenbe, majd a kaliforniai Pasadenába özvegy édesanyja és húga, akik ugyancsak több európai nyelvet beszéltek. Kármán Tódor sohasem nősült meg. Húga önfeláldozó, hűséges segítőtársa volt. Ők az új hazában is a magyaros életvitel, a magyar mentalitás szerint éltek. Kármán Tódor önéletrajzából tudjuk, hogy egész életében ezernyi szállal kötődött a magyar kultúrához, a magyar tudományhoz. Mindig büszke volt magyar származására. A rakétatechnika szaktudománya is jeles művelőjét – Kármán Tódort – világszerte magyarként emlegeti.

Kármán Tódor már Magyarországon elkezdte tudományos munkásságát. 1911-ben fölismerte a közegben mozgó tárgyak által keltett örvénysort, és a keletkező energiaveszteség csökkentésére fejlesztette ki az autók, a hajók, a repülők áramvonalas alakját. Az általa fölismert jelenséget a tudomány Kármán-féle örvénysorként emlegeti. Kármán Tódor repülőgépeket, rakétákat tervezett. Ő tervezte többek között a B-36, B-47, B-52-es repülőgépeket, de részt vett az Atlas és a Titán hordozórakéták megtervezésében is. Hazánk fiának fontos szerepe volt az amerikai légierő létrehozásában. Több amerikai rakétatípus fejlesztését irányította az 1940-es években. Munkájának eredménye, hogy az amerikai bombázó repülőgépek – amint Amerika belépett a világháborúba – nagyon hamar elkészülhettek. Amerikai történészek véleménye szerint a Kármán Tódor által vezetett repülőgép-fejlesz-

Az amerikai légierő vadászgépének első, sugárhajtómű segítségével végrehajtott felszállása 1941-ben. A „rakéta-segítette” felszállás rövidebb kifutópályát igényelt, így a repülőgép-anyahajókról a lomhább bombázógépek is el tudtak indulni.

tés egy évvel megrövidítette a II. világháború küzdelmeit, és ezzel milliók életét mentette meg.

Kármán Tódor fontos eredményeket tárt fel nemcsak a szilárdság, a fémek kutatásában, a képlékenység, a kristályrácsszerkezet, a súrlódási ellenállás, hanem a szilárd rakéta-hajtóanyagok, a magneto-hidrodinamika, a sugárhajtás, a korszerű rakéták megalkotása területén is.

Rakétaelmélettel az 1920-as évek elején kezdett foglalkozni. Jól ismerte azon korai elméleti kutatók munkáit, akik a rakétát az űrhajózás kizárólagos hordozóeszközének tartották. Fontosnak és jelentősnek vélte az orosz *Konsztantyin Ciolkovszkij,* a francia *Robert Esnault-Peltire,* az amerikai *Robert Goddard,* és különösen az erdélyi születésű, német *Hermann Oberth* elméleti és gyakorlati eredményeit. Maga Kármán Tódor 1936-ban a Kaliforniai Műszaki Egyetem Aerodinamikai Kutatóintézetének vezetőjeként került közvetlen kapcsolatba a rakétatechnikai kutatásokkal. Az 1960-as évek legelején az elsők között ismerte fel az űrkorszak beköszöntésének jelentőségét.

Még tartott a II. világháború, amikor Kármán Tódort felkérték, hogy hozza létre és vezesse a légierő tudományos tanácsadó testületét. Már 1939-től hivatalos tanácsadója volt az US Air Force-nak (Amerikai Légierő). Közismert, hogy rendkívül sikeres munkát fejtett ki a nemzetközi tudományos együttműködés szervezésében. Az 1949-ben megalakult NATO katonai szakértője és az USA elnökének tudományos tanácsadója volt. 1956-ban a kezdeményezésére jött létre a Nemzetközi Repüléstudományi Tanács. 1960-ban döntő szerepet játszott a Nemzetközi Asztronautikai Akadémia létrehozásában. Az akkori megosztott világban az Akadémiának óriási jelentősége volt. Büszkék lehetünk, hogy alapítója és első elnöke magyar tudós, a Budapesten született és nevelkedett Kármán Tódor volt.

Több száz értekezése, tanulmánya és dolgozata jelent meg, tanulmányainak nagy része valamennyi világnyelven megjelent. Több tudományos akadémia választotta tagjai sorába, negyvenöt tudományos kitüntetést és díjat vehetett át, a világ harminc egyeteme választotta díszdoktorává, köztük 1962. október 22-én alma matere, a Budapesti Műszaki Egyetem. Ekkor járt utoljára szülővárosában, Budapesten, és tartotta meg székfoglaló előadását. A magyar tudósokat nemcsak nagy tudásával kápráztatta el Kármán professzor, hanem azzal is, hogy a több mint negyven éve külföldön élő tudós milyen választékosan beszélte anyanyelvét.

Washingtonban tiszteletére fogadást rendeztek 80. születésnapján, ahol hazánk fia, Teller Ede mondott köszöntőt. 1963-ban *John Kennedy,* az Egyesült Államok elnöke elsőként a magyar Kármán Tódornak adta át az akkor alapított, legnagyobb amerikai tudományos elismerést, a National Medal of Science kitüntetést. Tulajdonosa volt a Prandtl-emlékgyűrűnek, a Watt International Medalnak és a Gauss-éremnek. A Hold túlsó oldalán és a Marson egy-egy kráter őrzi nevét. Emlékének megörökítésére Budapesten a Közlekedési Múzeum parkjában emeltek mellszobrot.

82 évesen, 1963-ban újra visszatért szeretett városába, Aachenbe, hogy barátai körében töltse élete utolsó napjait. 1963. május 7-én, Aachenben fejezte be eredményekben és eseményekben páratlanul gazdag életét. Hollywoodban temették el.

Kármán-féle örvénysor az Atlanti óceán felett, ahogy a Columbia űrrepülőgépről volt látható 2003. január 18-án.

FOLYADÉKCSEPPES LEVELEK NAPÉGÉSE
– Egy biooptikai diákkísérlet

Stonawski Tamás, Murguly Alexandra, Pátzay Richárd, Cérna László
Ecsedi Báthori István Református Gimnázium és Kollégium, Nagyecsed

A projektmódszer nem újkeletű pedagógiai módszer, hiszen több, mint száz éve létezik, bár még ma is sokan idegenkednek tőle. Diákjaimmal gyakorta készítünk projekteket, vagy csatlakozunk nagyobbakhoz. E munkák sokszor hónapokig, akár egy egész tanévig is eltarthatnak. Az előkészületek sokszor iskolán kívül, a tanulók szabadidejében történnek, a konzultációk is szakkörökön, szünetekben vagy a világhálón keresztül zajlanak. A tanórán csak a megfelelő dokumentációval ellátott, kész projekteket találjuk az osztály elé. Ilyenkor hasznos, hogy a projektekben felhasznált fizikai törvények és összefüggések összhangban legyenek a tanítási óra anyagával. Mivel a projektek konkrét gyakorlati példákon keresztül keltik életre a könyvekből megtanult tudományos ismereteket, igen intenzív kompetenciafejlesztő hatásuk van, a befogadó tanulók motivációs szintje is nagymértékben növekszik. A projektek elkészítésének kritikus része a pontos dokumentálás és a jegyzőkönyvek időbeli elkészítése. Erre is érdemes nagy hangsúlyt fektetni, hiszen mindez a tudományos munka elengedhetetlen része. A dokumentálás egyik fontos eszköze a mobiltelefon, amivel képeket, filmeket, hangfelvételeket is készíthetnek a diákok, de számológép-, képszerkesztő-, jegyzetfüzet- és naplófunkciókkal is rendelkeznek már az egyszerűbb mobilok is.

1. ábra. A diákok gyakran használják az *Egységes érettségi fizika feladatgyűjteményt* a tanítási órákon és a házi feladatok elkészítése közben is. A 2152. feladat szövege.


Szerzők:
Bánkuti Zsuzsa, dr. Berkes József, Holics László, dr. Kopasz József, dr. Kotek László, Medgyes Sándor, dr. Paál Tamás, dr. Póór István, dr. Schuszter Ferenc, Sebestyén Zoltán, Tóth Endre, dr. Vida József

2152. Nyáron, déli napsütésben nem ajánlatos a kertben locsolni, mert „megégnek" a növények levelei. Az alábbi magyarázatok közül csak egy fogadható el. Melyik az?
A) Az elpárolgó víz gőzei okozzák a növények károsodását.
B) A vízcseppek gyűjtőlencseként viselkednek, és a levelek felületére fókuszálják a napfényt.
C) A felmelegedett növényi részek a hideg víz hatására hirtelen lehűlnek, s ez fejt ki olyan hatást, mintha megégtek volna.

Horváth Gábor és munkatársainak a *Fizikai Szemlé*ben megjelent egyik cikkét [1, 2] és a hozzá tartozó egyéb szakirodalmat [3, 4] elolvasva, valamint az erről szóló egyik előadását meghallgatva (amiről a Magyar Televízió *Delta* műsorában is sugároztak egy rövid filmet [5]) ismertem fel, milyen izgalmas lehetne gimnazistákkal is elvégeztetni a vízcseppes levelek napégésével kapcsolatos terepkísérleteket. Akadt még néhány ötletem, amelyek segítségével más megközelítésben is vizsgálható az adott probléma.

Kísérleti előkészületek

Tanulóim a 11. osztályban ismerkedtek meg az optika alapfogalmaival, többek között a domború lencsék képalkotásával, nevezetes sugármeneteivel. Feladatmegoldásaik során találkoztak az *Egységes érettségi feladatgyűjtemény* 2152. feladatával (*1. ábra*). A feladat a nyári nagy melegben való locsolás káros következményeinek okait keresi. Megoldásként a vízcseppek gyűjtőlencseszerű viselkedését jelöli meg, ami a levelek felületére fókuszálja a napfényt és kiégeti a levelet.

Az osztállyal a *Fizikai Szemlé*ben megjelent kétrészes cikket [1, 2] dolgoztuk fel interaktív tábla segítségével. A cikk meggyőző volt és serkentőleg hatott az osztályra. Az eredeti kísérletben üveggolyókat és vízcseppeket használtak fel a szerzők, és cáfolták azt a tévhitet, amiről az egységes érettségi fizika feladatgyűjtemény említett feladata is szól. Az osztállyal közösen elhatároztuk, hogy megismételjük az [1, 2] cikkben leírt kísérleteket, de üveggolyó helyett a virágboltokban is kapható glicerингolyót használva (*2. ábra*), hiszen a vízben áztatott glicerингolyó törésmutatója sokkal jobban közelíti a vízét. A vízcseppeket pedig érdekességképpen olajcseppekkel helyettesítettük, az olaj víznél lassúbb párolgása és nagyobb törésmutatója miatt.

A Nagyecsedi Füvészkertből kaptuk a kísérletben felhasznált faleveleket: páfrányfenyő (*Ginkgo biloba*) és juhar (*Acer platanoides*). A kísérlet egyéb alkotóelemeit a diákok gyűjtötték össze (1 és 20 mm közti átmérőjű glicerингolyók, üveglapok, zöld filcanyag, magnókazetta-tartók, üvegtányérok, szintetikus motorolaj, étolaj, gyógyszertári pipetta, ragasztószalag).

2. ábra. a) A virágboltokban kapható, 1-3 mm átmérőjű gliceringolyókat növények vízellátására használják. b) Vízbe helyezve a gliceringolyókat, azok megduzzadnak, szinte „láthatatlanná” válnak. c) Mivel a megduzzadt gliceringolyók törésmutatója a vízéhez közelít, jól modellezhetjük velük a vízcseppekben haladó fény sugármenetét. d) Erős napsugárzásban a vízcseppek gyorsan elpárolognak, miáltal gyűjtőlencsehatásuk csak kevés ideig áll fenn. Az olaj sokkal lassabban párolog, így lehetőségünk van a hosszabb kísérletezgetésre és megfigyelésre is.

A gliceringolyó tulajdonságai

Vízbe helyeztünk 10 darab 1 mm átmérőjű gliceringolyót, félóránként megmértük átmérőjüket, majd átlagoltuk a kapott értékeket, és megfigyeltük az alakváltozásaikat is. Megfigyeléseinket az *1. táblázat* tartalmazza.

A gliceringolyó kiindulási térfogata

$$V_1 = \frac{4\, r^3 \pi}{3} = \frac{4\,(0{,}5\ \mathrm{mm})^3 \pi}{3} = 0{,}52\ \mathrm{mm}^3$$

volt, végleges térfogata pedig

$$V_2 = \frac{4\, r^3 \pi}{3} = \frac{4\,(8{,}5\ \mathrm{mm})^3 \pi}{3} = 2572{,}44\ \mathrm{mm}^3.$$

Elmondható, hogy a vízben történt áztatás végén a gliceringolyó 99,98%-a víz volt. Az ilyen golyót vízbe helyezve szinte láthatatlanná válik (*2.b ábra*), mert törésmutatója nagyon közeli a vízéhez. A gliceringolyókkal tehát jól tudjuk modellezni a vízcseppeket. A levegőn a gliceringolyó térfogatcsökkenése legalább 6 órán keresztül nem számottevő, a vele azonos méretű vízcsepp – a léghőmérséklettől és a napsütés erősségétől függően – viszont már közel negyedóra alatt elpárolog. Erős napsugárzás hatására 7-8 óra után a vízben áztatott gliceringolyó külső hártyája fölhasadhat.

Kísérleti módszerek

A tavaszi előkészületek után, a meteorológiai műholdképek alapján választottunk ki egy májusi napot, amikor a több órán át tartó napsütés és szélcsend valószínűsége a legnagyobb volt a heti előrejelzésben. 2011. május 24-én teljesen derült ég alatt sikerült megvalósítani a kísérletet. A kísérletben hosszú besugárzási időtartamot választottunk: 8:00 órától 14:00 óráig hagytuk a napon az áztatott gliceringolyókkal fedett faleveleket (*3. ábra*). Egy adott levélfajta színén és fonákján is elvégeztük a kísérletet. A kísérlet végén a besugárzott leveleket 8:00-kor és 14:00-kor az iskola LG 600P típusú szkennerével digitalizáltuk, és óránként folyamatosan digitális fényképezőgéppel és mobiltelefonokkal is fényképeztük.

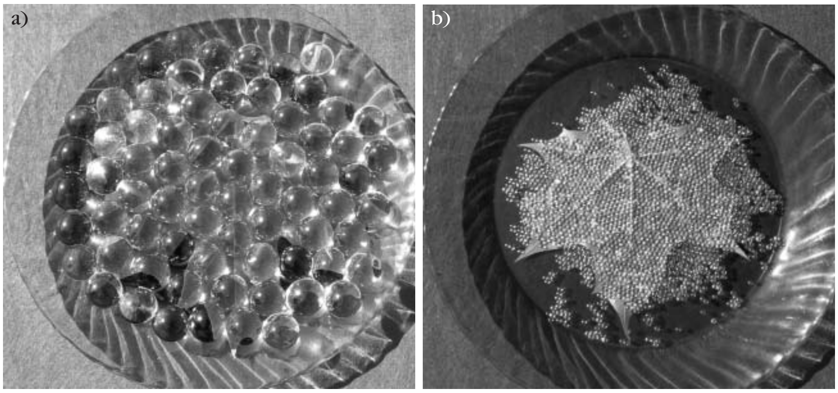
Az 1. kísérletben két juharlevelet helyeztünk egy-egy átlátszó üvegtálra: egyet fonákkal, egyet pedig a színével fölfelé (*3. ábra*). Az ágakról frissen levágott falevelek egészségesek és sima felületűek voltak. Az a) tálat 4 óráig, a b) tálat 5 percig vízben áztatott 20 mm-es és 2 mm-es gliceringolyókkal teljesen lefedtük. A golyók törésmutatója a vízével gyakorlatilag megegyező volt. A tálakban lévő üveggolyókkal fedett leveleket közvetlen napsugárzásnak tettük ki 6 órán keresztül.

A 2. kísérletet meleg, napos, szélcsendes időben végeztük Nagyecseden. Egy nagyobb méretű asztalt helyeztünk árnyékmentes helyre, s az asztalt zöld

1. táblázat

A vízbe helyezett gliceringolyók már 3 óra alatt elérték a maximális térfogatukat, az átmeneti szakaszban szabálytalan formájúak voltak, csak a negyedik órában kezdtek teljesen kisimulni, ekkor már szabályos gömb alakot vettek fel.

eltelt idő (óra)	átmérő (mm)	megjegyzés
0	1	–
0,5	6	–
1	8	–
1,5	11	göcsörtös felület alakul ki
2	13	–
2,5	15	–
3	17	kezd kisimulni a felszín
3,5	17	gömbölyödik
4	17	teljesen kisimul a felszín

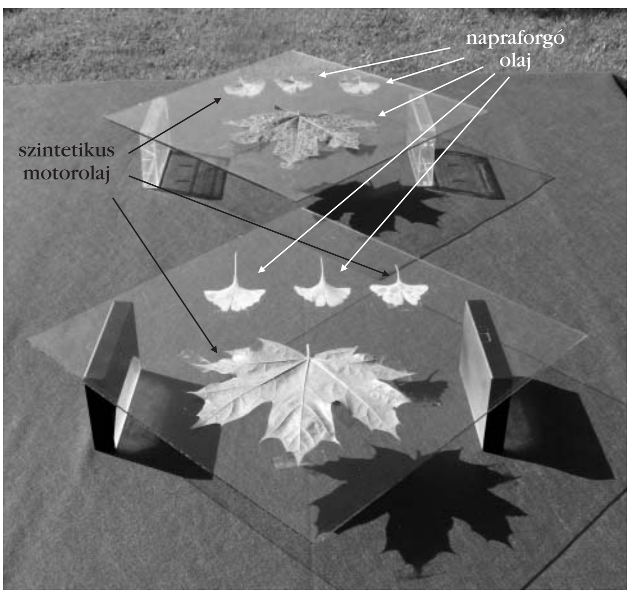


3. ábra. Azonos méretű üvegtálba helyeztük ugyanazon juharfa egy-egy levelét, az a) tálba színével fölfelé, a b) tálba pedig fonákkal fölfelé. Az a) és b) tálban 20, illetve 2 mm átmérőjű, vízben áztatott gliceringolyókkal fedtük le teljesen a leveleket.

filcanyaggal terítettünk le, hogy a természetes környezetben a levelekre alulról érkező szórt zöld fényt biztosítsuk. Ezt követően páfrányfenyő (*Ginkgo biloba*) és juhar (*Acer platanoides*) leveleit a szélüknél fogva egy vékony, átlátszó ragasztószalaggal üveglapra ragasztottuk, hogy ezzel még szél esetén is biztosítani tudjuk a levelek sík helyzetét. Az üveglapokat videokazetta-tartókra helyeztük (*4. ábra*), így próbáltuk közelíteni a természetes közeget, hiszen a fákon lévő levelek között is légrések vannak. Két juharlevelet és hat páfrányfenyőlevelet ragasztottunk a széleik mentén a két üveglapra vízszintesen, levélfonákkal, illetve levélszínnel fölfelé. A felragasztás után pipetta segítségével étolajat és szintetikus motorolajat csöppentettünk a levelek felületére: a juharlevelekre 174 és 182 cseppet, a páfrányfenyő leveleire pedig 15-20 cseppet. Az olaj törésmutatója n_{olaj} = 1,48, ami jóval nagyobb, mint a vízé $n_{víz}$ = 1,33. A *4. ábra* szerinti, napfénynek kitett kísérleti összeállítást óránként ellenőriztük.

2011. június 14-én végeztük a kontrollkísérleteket 15:00 és 17:00 óra között (*5. ábra*). Egy-egy üveglapra ragasztottunk páfrányfenyő és juhar 2-2 levelét, majd étolajjal végigcseppentettük a felületüket. Az egyik üveglapot napfényre helyeztük, a másikat pedig egy árnyékos helyre. Hasonlóan jártunk el a gliceringolyókkal is: mindkét juharlevél felszínét vízbe áztatott 20 mm-es gliceringolyókkal fedtük, majd az egyiket a napfényre, a másikat az árnyékba helyeztük. A páfrányfenyő leveleit vízbe áztatott 2 mm-es gliceringolyókkal fedtük, és itt is az egyik levelet a napra, a másikat árnyékba tettük.

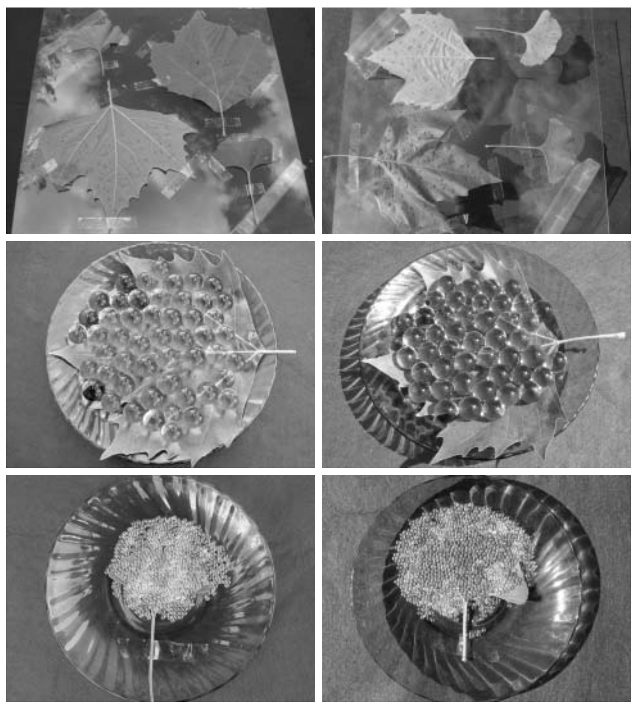
4. ábra. A 2. kísérlet összeállításánál megpróbáltuk a természetes körülményeket biztosítani: a levelek felülről közvetlen napfényt, alulról pedig szórt zöld fényt kaptak az asztalon lévő zöld filcanyagról. Az egyik összeállításnál a levelek színét érte a napfény, a másiknál viszont fonákjukat. A tájolás pontos rögzítése a Nap égi mozgása miatt volt fontos. Pipettával két különböző olajból csöppentettünk a levelekre: a juharlevelekre 174 és 182 cseppet, a páfrányfenyő leveleire pedig 15-20 cseppet.

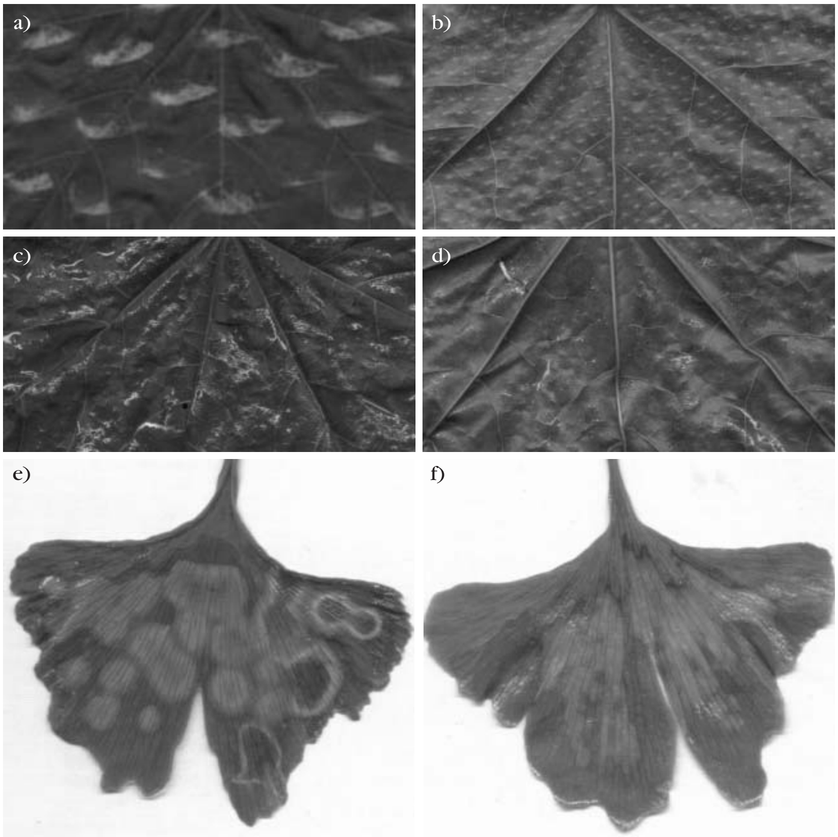


Kísérleti eredmények

A fönt leírt besugárzásos kísérletek elvégzése után égésnyomokat tapasztaltunk a vízben áztatott gliceringolyók alá helyezett juharleveleken és az olajcseppek alatt lévő páfrányfenyő levelein is (*6. ábra*). Az égésnyomok elnyúlt alakja a Nap látszólagos mozgásának leképezését is mutatta a leveleken (*6.a–b ábra*). Az olajcseppek nem gömb alakot, hanem lapos ellipszoid alakot vettek föl a juharleveleken, így a kis

5. ábra. Az bal oldali képeken árnyékba helyeztük a leveleket, míg a jobb oldali képeken közvetlen napsugárzásnak tettük ki őket. A felső sorban olajcseppeket, a középső sorban vízbe áztatott 20 mm-es gliceringolyókat, az alsó sorban pedig vízbe áztatott 2 mm-es gliceringolyókat helyeztünk a levelekre.



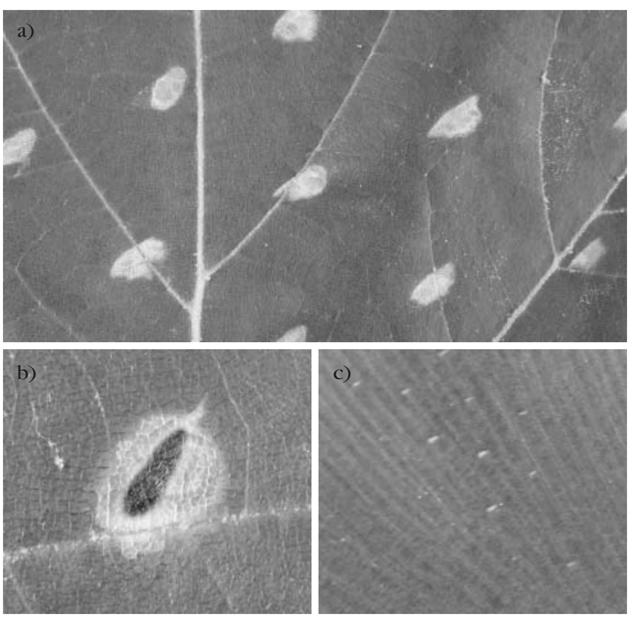


6. ábra. Az a) képen a vízbe áztatott 20 mm-es gliceringolyók alatti juharlevél, a b) képen a vízben áztatot 2 mm-es gliceringolyók alatti juharlevél látható 6 órás napbesugárzás után. Megfigyelhetők a égésnyomok és azok alakjának elnyúlása a Nap viszonylagos mozgása miatt. A c) és d) képen az olajcseppes juharlevelek láthatók 6 órás napbesugárzás után, mikor is égésnyomok nem keletkeztek. Az e) és f) képen az olajcseppek hatására beégett nyomok láthatók a páfrányfenyő levelein.

fénytörőerő miatt még 6 órás besugárzás mellett sem tudták beégetni a levél felületét (*6.c–d ábra*). A páfrányfenyő levelein viszont a kisebb nedvesítés folytán gömbölydedebb alakot öltöttek az olajcseppek, így 4 óra múlva égésnyomok jelentkeztek (*6.e–f ábra*). Ugyanakkor, a vizes gliceringolyók megfelelően gömbölydedek voltak, s úgy fókuszálták a napfényt, hogy az kiégette a leveleket. E kísérletek alapján elmondhatjuk, hogy a leveleket a rájuk tapadt vízcseppek csak akkor égethetnék be, ha alakjuk gömbölyded lenne s több óráig sem párolognának el. Könnyen belátható, hogy természetes körülmények között e feltételek nem teljesülnek.

Az olajcseppekkel fedett juharlevelek felületén nem tapasztaltunk égésnyomokat, függetlenül attól, hogy közvetlen napfényre vagy árnyékba helyeztük őket 2 óra hosszáig (*6.c–d ábra*). A vizes gliceringolyók esetében égésnyomok csak a napfényre kihelyezett juharleveleken voltak észlelhetők (*6.a–b ábra*). A páfrányfenyő leveleit viszont a napfényen beégették az olajcseppek (*6.e–f ábra*), de az árnyékban nem okoztak barnulást. A kontrollkísérlet alapján elmondható, hogy az égésnyomok nem az olajjal és a vizes gliceringolyókkal való egyéb más kölcsönhatás eredményeként keletkeztek. Mivel a kontrollkísérletet késő délután végeztük, kisebb volt a napfény beesési szöge a vízszintestől mérten, így a gliceringolyókon áthaladó fénysugarak leképezései is módosultak. A kontroll során intenzívebb égető hatást tapasztaltunk, helyenként teljesen sötét foltok is keletkeztek a levelek felületein (*7. ábra*). Ezek alapján az is elmondható, hogy nem déli napsütésben, ahogy azt az összefoglaló feladatgyűjte-

7. ábra. Egy 15:00 órától 17:00 óráig tartó kísérlet eredményei. Az a) ábra a napra kihelyezett 20 mm-es vizes gliceringolyókkal fedett juharlevél beégéseit mutatja. A b) ábrán az előző beégések egyike kinagyítva látható. A c) ábrán a napra helyezett 2 mm-es vizes gliceringolyókkal fedett páfrányfenyő apró égésnyomai láthatóak.



8. ábra. Késő délután intenzívebb a vizes gliceringolyók által fókuszált napfény égető hatása.

mény szövege állítja, hanem késő délután erőteljesebb a napégés (*8. ábra*), amint az az elméleti jóslatból is következik [1–4].

Összegezve eredményeinket, a vízcseppek, mint lapos gyűjtőlencsék nem képesek beégetni a sima felületű leveleket a tűző napon. Ennek egyik következménye, hogy az erdőtüzek lehetséges okainak ilyen jellegű feltüntetése az erdészeti szakirodalomban, miszerint a vízcseppek erős fókuszáló hatása miatt tűz is keletkezhet, téves elképzelésnek bizonyul. Az *Egységes érettségi fizika feladatgyűjtemény* 2152. feladatának megoldáskötetében nem a helyes választ tüntették fel, az nem is szerepelt a feladat lehetséges alternatívái között, ezért kérjük a könyvkiadót, korrigálja a feladatban észlelt hibát.

Irodalom

1. Egri Á., Horváth G., Horváth Á., Kriska Gy.: Beégethetik-e napsütésben a leveleket a rájuk tapadt vízcseppek? Egy tévhitekkel terhes biooptikai probléma tisztázása – I. rész. *Fizikai Szemle 60* (2010) 1–10 + címlap
2. Horváth G., Egri Á., Horváth Á., Kriska Gy.: Beégethetik-e napsütésben a leveleket a rájuk tapadt vízcseppek? Egy tévhitekkel terhes biooptikai probléma tisztázása – II. rész. *Fizikai Szemle 60* (2010) 41–49 + színes borító 3. oldal
3. Egri Á.: *Növényekhez tapadt napsütötte vízcseppek biooptikája, különös tekintettel a levelek napégésére.* Diplomamunka, ELTE TTK Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium, Budapest, 2009, 57 o. (témavezető: Horváth G.)
4. Egri, Á.; Horváth, Á.; Kriska, G.; Horváth, G.: Optics of sunlit water drops on leaves: Conditions under which sunburn is possible. *New Phytologist 185* (2010) 979–987 + cover picture + online supplement
5. http://youtu.be/cOu1EeT5VwY (Magyar Televízió, Delta, 2011. május 21.)

MAGASSÁGMÉRÉS A TERMÉSZETBEN – GALILEI NYOMÁN

Biróné Kabály Enikő

Debreceni Református Kollégium Gimnáziuma

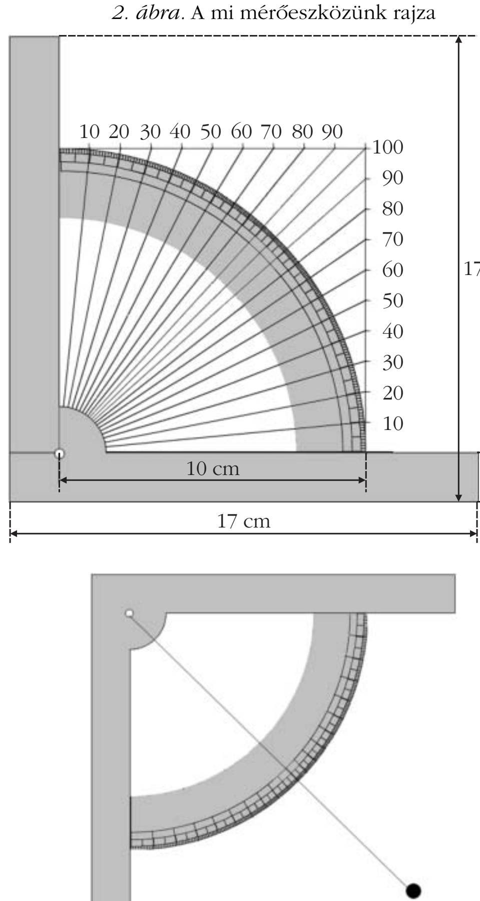
A tavasz kezdetétől késő őszig lehetőségünk nyílik, hogy a szabadban végezzünk méréseket, megfigyeléseket diákjainkkal. Most egy egyszerű távolságmérési módszert szeretnék bemutatni, amelyet bármely osztálykiránduláson, nyári táborban, de akár egy fizikaórán a teremből a szabadba kisétálva is elvégezhetünk. Nincs nagy eszközigény, és a mérések folyamatának megértéséhez csak a háromszögek hasonlóságának ismerete szükséges, így a kisebbek, illetve a matematikában kevésbé járatos tanulók is könnyen megértik.

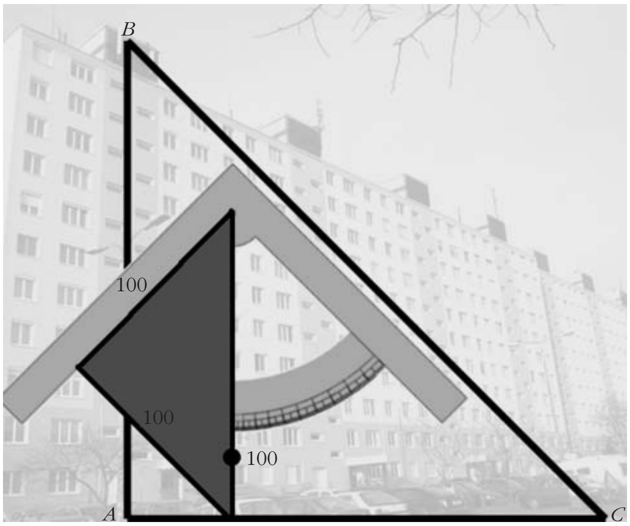
A mérések különlegessége, hogy *Galileo Galilei* leírásai alapján végezhetők el, így motivációt jelenthetnek a fizikatörténet iránt érdeklődő tanulók számára is. Galilei munkásságának megismerése számtalan módszertani lehetőséget nyújt a mai diákok gondolkodásának, tudományos szemléletének kialakításához is, mint arról *Radnai Katalin* korábbi, itt megjelent cikkében olvashattunk [1].

Galilei 1592–1610 között a padovai egyetemen tanított mechanikát, geometriát és csillagászatot. Ebben az időszakban két, korábban más ismert eszköz egyesítésével és továbbfejlesztésével elkészített egy körzőt (*1. ábra*). Az 1606-ban megjelent *Compasso geometrico e militare* (Geometriai és katonai körzők) című műve [2] részletesen leírja a körző használatát,

1. ábra. Galilei körzője, Galilei Múzeum, Firenze

2. ábra. A mi mérőeszközünk rajza





3. ábra. A magasságmérés első esete, a fonal középen lóg.

de a skálák kijelöléséről, valamint a mérési eljárások bizonyításáról nem szól. (A hallgatók az eszköz használatát magántanítványként sajátíthatták el Galileinél.) Ez a forrása a következő magasságmérési módszereknek.

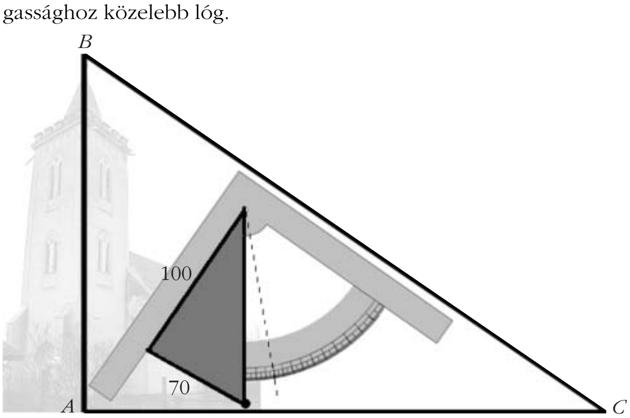
A körző több skálát is tartalmazott, számos mérést el tudtak végezni a négyzetgyökvonástól egészen az ágyúcső szögének a meghatározásáig. A skálák és a mérések részletes ismertetése e cikk keretei között nem lehetséges. Most csupán az egyik skálát választottam ki, ennek mintájára papírból készíthetjük el saját távolságmérőnket.

Egy 17×17 cm méretű kartonlapból készítjük el a *2. ábrá*n szürkére színezett eszközt. A skála felvételét szintén az ábra mutatja. A kis fehér kör egy 10×10 cm oldalhosszúságú négyzet csúcsa. A négyzet két oldalát 100-100 egyenlő részre osztjuk, majd az osztópontokat összekötjük a kör középpontjával. Ezen összekötő vonalak jelölik ki a szürke negyedköríven a skálánkat. A skála berajzolása után az eszközt kivágjuk, a kis kört átlyukasztjuk, és egy erősebb fonálon levő nehezéket kötünk hozzá. (Alkalmas például a horgászboltokban kapható ólomnehezék is.)

Az elkészítés után kezdődhetnek a mérések, akár kis csoportokban, akár egyénileg. Ha ugyanazt a távolságot több diák vagy csoport is megméri, akkor lehetőség van hibaszámításra is. Eszközünk skálája egy arányskála, a távolságokat így tetszőleges egységekben meg tudjuk határozni. Használhatjuk valamely testrészünket is. Az ismertetett mérésekben többször használjuk a láb egységet. Lépéseink mérete nem mindig egyforma, így célszerűbb a talpunkat használni a méréshez. A továbbiakban a talp méretét nevezem lábnak. Otthon – egy vonalzóval lemérve talpméretünket – átszámíthatók a kapott magasságok méterre is, így a mértékegységváltás gyakoroltatása is lehetővé válik.

A következőkben nézzük meg néhány mérés menetét és elemezzük!

4. ábra. A magasságmérés második esete, a fonal a mérendő magassághoz közelebb lóg.



Magasságmérés

1. Határozzuk meg egy olyan tereptárgy, épület stb. magasságát, amelyet teljesen meg tudunk közelíteni!

Feladat: Határozza meg egy, a lakótelepen levő emeletes ház magasságát!

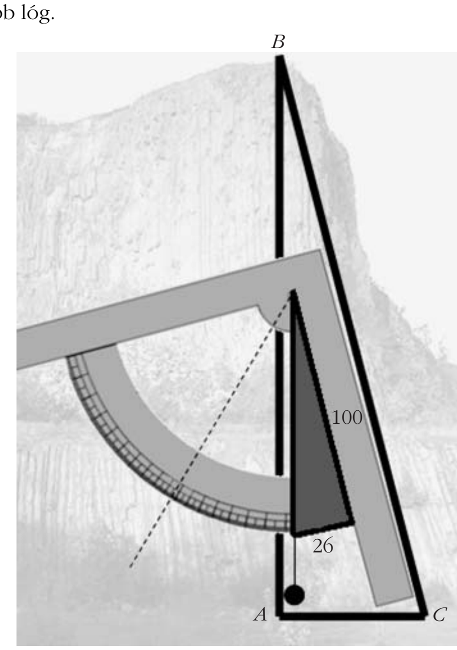
Mérés: A ház tövétől indulva távolodjunk el x láb távolságra! Állítsuk a mérőeszközünket úgy, hogy az egyik szár egyenese mentén elnézve a ház tetejét lássuk!

Az eszközünk skálájáról leolvasott értékből megtudhatjuk, milyen magas a ház.

A magasságmérés során három eset lehetséges:

- Ha a fonal a skálán a 100-as értéket jelöli ki (*3. ábra*), akkor a skála elkészítéséből adódóan a sötétszürke háromszög egyenlőszárú, derékszögű. Az ABC háromszög ehhez hasonló, hiszen szögeik egyenlők. Így az ABC háromszög is egyenlőszárú, azaz a ház magassága $AB = AC = x$ láb.
- Ha a fonal az eszköz szemünktől távolabbi felén helyezkedik el y értéknél (a *4. ábrá*n példaként

5. ábra. A magasságmérés harmadik esete, a fonal szemünkhöz közelebb lóg.



y = 70), akkor a mérőn keletkező sötétszürke háromszögben a befogók aránya y:100 (70:100) a skála elkészítéséből adódóan. Ez a háromszög hasonló az ABC háromszöghöz, mert a jelölt szögek merőleges szárú hegyesszögek, azaz egyenlők, mindkét háromszög derékszögű, így szögeik megegyeznek. A hasonlóságból következően $AB:AC = y:100$, amiből a ház magassága: $AB = y{:}100\,AC$ (lépés). Ha a ház tövétől 100 láb távolságot teszünk meg, akkor a skáláról leolvasott y közvetlenül a magasságot adja (láb egységben).

• Ha a fonal az eszköz szemünkhöz közelebbi felén helyezkedik el y értéknél (az *5. ábrá*n példaként y = 26), akkor a mérőn keletkező sötétszürke háromszögben a befogók aránya hasonlóan y:100 (26:100). Ez a háromszög hasonló az ABC háromszöghöz, mert a jelölt szögek egyállású szögek, azaz egyenlők, mindkét háromszög derékszögű, így szögeik megegyeznek. Itt azonban a megfelelő szögek másként helyezkednek el. (Ez az eset akkor fordul elő, ha a ház magasságánál kevesebb lépést teszünk meg AC irányba.)

Itt a hasonlóságból következően $AB:AC = 100:y$, amiből a ház magassága: $AB = 100{:}y\,AC$ (láb).

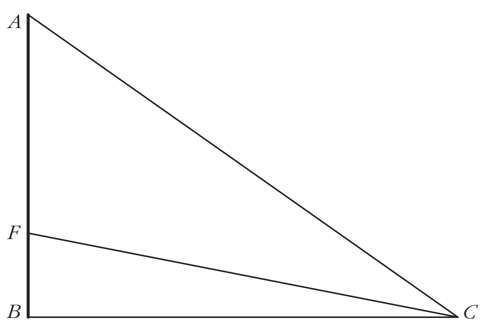
Fontos, hogy

– a további méréseknél is figyelembe vegyük, hogy a leolvasott érték mérőeszközünk melyik oldalán helyezkedik el.

– amennyiben a mérést szemmagasságban végezzük, úgy a kapott magasságot a szemmagasságunkkal növelni kell. (A szemmagasságunk körülbelül 11,25 láb, ezt a diákok is kiszámolhatják *Leonardo da Vinci* testarányokról írt munkája alapján.)

2. Keressünk egy olyan tereptárgyat a keresett magasság tövében, amelynek a nagyságát ismerjük! (Vagy található ugyanilyen más helyen is, ahol meg tudjuk az előző módszerrel mérni. Ilyen lehet például egy villanyoszlop vagy ajtó.)

Feladat: Határozzuk meg az AB magasságot, ha az FB magasság ismert (*6. ábra*)!



6. ábra. Magasságmérés ismert magasság segítségével.

Mérés: A C-ből az A irányába nézve olvassuk le az értéket, ez legyen x! Majd ugyanonnan az F felé nézve kapott érték legyen y! A keresett AB magasság:

$$AB = \frac{x}{y}FB.$$

Indoklás: A skála beosztásából adódóan az először leolvasott értékre teljesül, hogy

$$\frac{AB}{BC} = \frac{x}{100}.$$

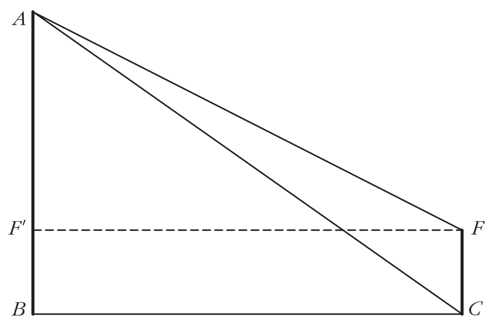
Az F felé nézve leolvasott értékből:

$$\frac{FB}{BC} = \frac{y}{100}.$$

Az előbbi két összefüggésből kapható a keresett magasságra vonatkozó fenti összefüggés.

3. Menjünk olyan távolságra a mérendő magasságtól, ahol van lehetőségünk függőlegesen nagyobb magasságba menni! (Ha nem vagyunk túl messze, akkor elég lehet egy székre történő felállás, vagy egymás nyakába ülve is próbálkozhatnak a diákok.)

Feladat: Határozzuk meg az AB magasságot, ha az FC távolság ismert (*7. ábra*)!



7. ábra. Magasságmérés ismert magasságról végezve.

Mérés: A C-ből az A irányába nézve olvassuk le az értéket, ez legyen x! Majd emelkedjünk az F-be és onnan is nézzünk az A felé, a kapott érték legyen y! A keresett AB magasság:

$$AB = \frac{x}{x-y}FC.$$

Indoklás: A skála beosztásából adódóan az először leolvasott értékre teljesül, hogy

$$\frac{AB}{BC} = \frac{x}{100}.$$

Az F-ből nézve leolvasott értékből:

$$\frac{AF'}{F'F} = \frac{y}{100}, \text{ valamint } \frac{AF'}{F'F} = \frac{AF'}{BC}.$$

Ezek segítségével:

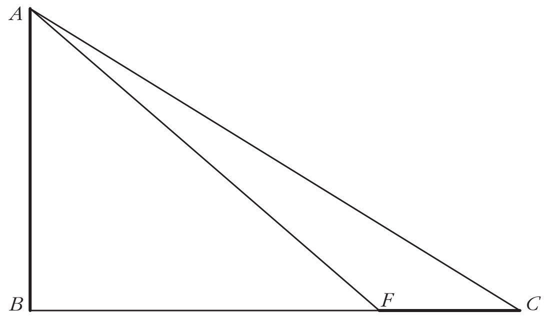
$$\frac{AB}{FC} = \frac{AB}{AB - AF'} = \frac{\frac{AB}{BC}}{\frac{AB}{BC} - \frac{AF'}{BC}} =$$

$$= \frac{\frac{x}{100}}{\frac{x}{100} - \frac{y}{100}} = \frac{x}{x-y},$$

ami a keresett magasságra vonatkozó fenti összefüggés.

4. Vizsgáljuk a magasságot olyan távolságból, ahonnan még 100 lábnyira távolodni tudunk!

Feladat: Határozzuk meg az AB magasságot, ha FC = 100 láb (*8. ábra*)!



8. ábra. Magasságmérés két, egymástól ismert távolságról végezve.

Mérés: Az F pontból az A irányába nézve olvassuk le az értéket, ez legyen x! Távolodjunk 100 lábnyit a C-be és onnan is nézzünk az A felé, a kapott érték legyen y! A keresett AB magasság:

$$AB = \frac{xy}{x-y}.$$

Indoklás: A skála beosztásából adódóan az először leolvasott értékre teljesül, hogy

$$\frac{AB}{BF} = \frac{x}{100}.$$

A C felől nézve leolvasott értékből:

$$\frac{AB}{BC} = \frac{y}{100}.$$

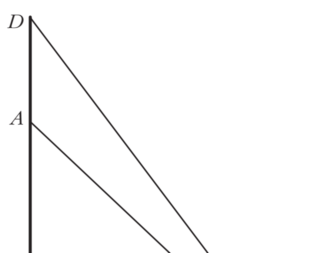
Az előbbi két összefüggés felhasználásával:

$$\frac{BF}{AB} + \frac{FC}{AB} = \frac{BC}{AB} \rightarrow \frac{100}{x} + \frac{100}{AB} = \frac{100}{y} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{1}{AB} = \frac{1}{y} - \frac{1}{x} = \frac{x-y}{xy},$$

amiből megkapható a keresett magasság.

5. Mérjük meg úgy magas épület magasságát, hogy benne vagyunk! Nézzünk ki egy tereptárgyat, nézzük ezt az épület egyik emeleti ablakából, majd menjünk néhány emelettel magasabbra és onnan is nézzük meg!



9. ábra. Magasságmérés a mérendő tereptárgyról.

Feladat: Határozzuk meg az AB magasságát, ha AD ismert (*9. ábra*)!

Mérés: Az A pontból a C felé nézve olvassuk le a mutatott értéket, ez legyen x! Ezután emelkedjünk a D pontba, innen is nézzünk a C felé, a mutatott érték legyen y! Az AB magasság:

$$AB = \frac{y}{x-y} AD.$$

Indoklás: A skála elkészítéséből adódóan:

$$\frac{x}{100} = \frac{BC}{AB}, \quad \frac{y}{100} = \frac{BC}{BD},$$

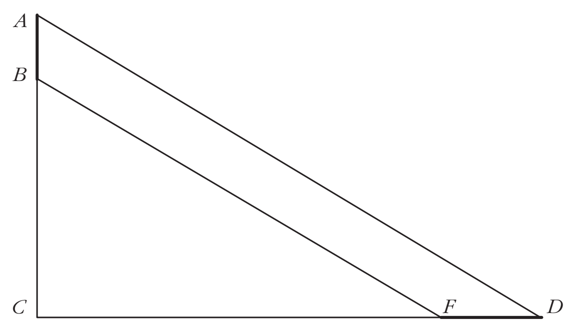
$$AD = BD - AB = \left(\frac{100}{y} - \frac{100}{x}\right) BC,$$

valamint

$$AB = \frac{100}{x} BC = \frac{100}{x} \frac{AD}{\left(\frac{100}{y} - \frac{100}{x}\right)} = \frac{y}{x-y} AD.$$

6. Mérjük meg egy magaslaton levő tereptárgy nagyságát! Határozzuk meg, milyen magas egy dombon levő vár várfala; milyen nagyságú a torony tetején levő zászló, vagy egy hegyen álló fa!

Feladat: Határozzuk meg az AB nagyságát (*10. ábra*)!



10. ábra. Magaslaton lévő tereptárgy magasságának mérése.

Mérés: A D pontban nézzünk eszközünkkel az A pont felé, legyen a kapott érték x! Ezután közelítsük a C ponthoz – számolva, hány láb távolságot teszünk meg – mindaddig, amíg a műszerünkkel a B felé nézve ugyanazt az értéket látjuk (x-et), mint az előbb! Ekkor az AB magassága:

$$AB = \frac{x}{100} FD.$$

Indoklás: A skála felvételéből következik, hogy

$$\frac{AC}{CD} = \frac{x}{100} = \frac{BC}{CF}.$$

Így

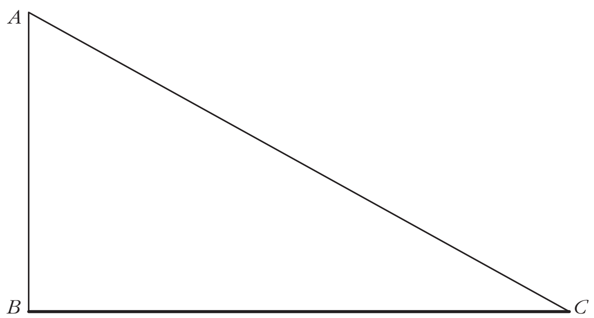
$$AB = AC - BC = \frac{x}{100} CD - \frac{x}{100} CF = \frac{x}{100} FD.$$

Az FD hosszát tudjuk, így az AB kiszámítható.

Vízszintes távolságmérés

7. Határozzuk meg, milyen messze van egy folyó, patak, egyéb tereptárgy a hegytől, ha ismerjük a hegy magasságát!

A) feladat: Határozzuk meg a BC távolságot, ha az AB ismert (*11. ábra*)!



11. ábra. Távolságmérés ismert magasság segítségével.

Mérés: A hegy tetejéről irányítsuk eszközünket a tereptárgy felé, olvassuk le a mutatott értéket, ez legyen: x! Ekkor

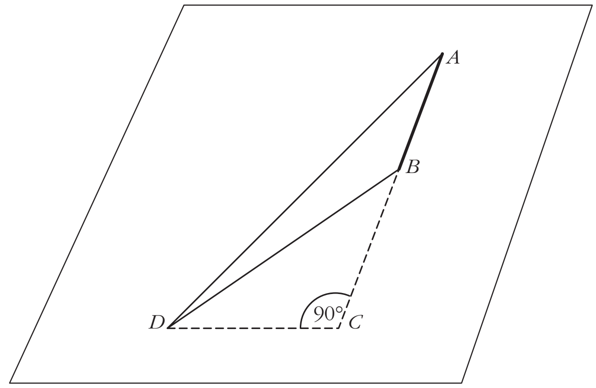
$$BC = \frac{x}{100} AB.$$

Indoklás: A skála felvételéből közvetlenül adódik az összefüggés.

B) feladat: Határozzuk meg a vízszintes AB távolságot (*12. ábra*)!

Mérés: Lépjük 100 lábat az AB egyenesében, így a C pontba érünk, majd ismét lépjünk 100 lábat erre merőlegesen, ekkor kapjuk a D pontot. Mérőnk egyik szárát a CD egyenesében elhelyezve húzzuk ki a fonalat az A irányába, majd olvassuk le a mutatott értéket, legyen ez x! Az AB távolság:

$$AB = \frac{10000}{x} - 100 \text{ (láb)}.$$



12. ábra. Távolságmérés két, egymásra merőleges, ismert távolság segítségével.

Indoklás: A skála felvételéből adódóan

$$\frac{x}{100} = \frac{DC}{AC} \rightarrow AC = \frac{100}{x} DC = \frac{10000}{x},$$

valamint $AB = AC - BC = AC - 100$. A két összefüggésből adódik a fenti képlet.

✧

Remélem, hogy a fenti mérések színesebbé, gazdagabbá teszik a kirándulásokat. Tapasztalatom szerint élvezik a csoportban és a szabadban való munkát, versenyeznek, kinek sikerül pontosabban megmérni a torony magasságát. Különösen jó, ha egy lentről történő mérés után felmászva megtaláljuk kiírva a magasságot.

Nem feltétlenül kell Galilei fenti méréseit követnünk, magunk is találhatunk ki méréseket az eszköz segítségével. Jó szórakozást hozzá!

Irodalom

1. Radnóti Katalin: Galilei szerepe a mai, modern világképünk kialakulásában – II. *Fizikai Szemle 59/2* (2009) 59–61.
2. Galileo Galilei: *Operations of the geometric and military compass, 1606.* Az angol fordítást Stillman Drake készítette, Firenze, 1977. (A következőben megjelölt web-helyről letölthető.)
3. A firenzei Galilei Múzeum honlapja: http://www.museogalileo.it
4. A Galilei Múzeum körzővel kapcsolatos interaktív anyaga: http://brunelleschi.imss.fi.it/esplora

KOROK ÉS TUDÓSOK – A SZÍNPADON ARKHIMÉDÉSZ, GALILEI ÉS NEWTON

A szegedi Kutatók Éjszakájától a koppenhágai Science on Stage-ig

Farkas Zsuzsanna
Szegedi Tudományegyetem JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszék
Gajdos Tamás, Major Balázs, Nagy Andrea
Szegedi Tudományegyetem fizikus MSc-szakos hallgatók

Mottó: *Ha fürödni látnánk Arkhimédészt egy fürdőkádban, Galileivel futnánk össze a pisai torony tövében, az almafa alatt szunnyadó Newton mellett sétálva fognánk halkabbra lépteinket, talán meg sem lepődnénk ottlétük miatt, olyannyira köztünk élnek ők. Kortársaik minden korok tudósainak, tanítóik minden korok tanulni vágyó ifjainak. A felhajtóerőt, a távcsövet, a gravitáció törvényeit ismernénk már nélkülük is. De ők többet adtak nekünk: a hitet, hogy a világ megismerhető, s a bizonyosságot, hogy nincs nagyobb intellektuális élmény, mint megcsillanni látni a mindennapok kesze-kusza rendetlenségében a természet törvényeinek aranyrögeit.*

A Szegedi Tudományegyetem három fizikus MSc-szakos hallgatójával arra vállalkoztunk, hogy színpadon idézzük meg a fizikatörténet fent említett óriásait, és színpadi jelenetekkel tisztelegjünk előttük. A *Kutatók Éjszakája* rendezvényen (Szegedi Tudományegyetem, Juhász Gyula Pedagógusképző Kar, Általános és Környezetfizikai Tanszék, 2010. szeptember 24.) a korhű jelmezbe öltözött *Major Balázs* mint Arkhimédész, *Nagy Andrea* mint Galilei és *Gajdos Tamás* mint Newton több száz általános és középiskolásnak – és sok felnőttnek – mutatták be kísérleteiket, meséltek felfedezéseikről, életükről népszerűsítve ezzel a fizika tantárgyat és a fizika tudományát. A „tudósokat” a rendezvény délutánján *Szabó Gábor* akadémikus, az egyetem rektora is fogadta (*1. ábra*).

A hallgatók előadásáról a Szegedi Tudományegyetemen 2011 márciusában filmfelvétel készült, amely rövidesen látható lesz egyetemünk honlapján.

A *Science on Stage Természettudomány-tanítási fesztivál Magyarországon* rendezvény döntőjén (Csodák Palotája Budapest, Millenáris Park, 2010. október 2.) egy rendhagyó, időutazó fizikaórát tartottunk. Az arkhimédeszi hengerpár Arkhimédész kezében mindenkivel megértette a felhajtóerő törvényét, a bemutatott arkhimédeszicsavar-modell pedig segített abban, hogy elképzeljük az egyiptomi földek öntözésére ténylegesen megszerkesztett gépezetet. Galilei a négycsatornás Galilei-lejtőn szemléltette a gyorsuló mozgást, és bemutatta a Jupiter bolygó általa felfedezett holdjait egy saját készítésű modell segítségével. Newton beszélt a gravitációról, mindenkit almával kínált, és megmutatta, hogy prizmával a fehér fényből színes spektrum készíthető, azaz a fehér fény színekre bontható.

A *Kutatók Éjszakája* az Európai Bizottság támogatásával 2008 óta Európa-szerte, minden év szeptember végén megrendezésre kerülő, egész napos, fesztivál-jellegű eseménysorozat. A rendezvény célja a tudomány, a tudományos eredmények és a tudományos életpálya népszerűsítése elsősorban a 10–18 éves fiatalok körében. A nyitott egyetemi kutatói laboratóriumok, a játékos ismeretterjesztő előadások, vetélkedők, kiállítások, interaktív bemutatók a remények szerint a tudomány olyanfajta kommunikációját jelentik, amelyek a Facebook, az Internet, az iWiW és más kommunikációs csatornák mellől is képesek felállítani a fiatalokat, legalább egy fél napra. A Kutatók Éjszakája rendezvénysorozat mottója egy Einstein-idézet: „Nem vagyok különösebben tehetséges, csak szenvedélyesen kíváncsi.”

Az utóbbi évtized(ek)ben a fizika tantárgy tanításának kis hatékonyságból származó problémája hozta létre 2000-ben a CERN (Európai Nukleáris Kutatási Szervezet), az ESA (Európai Űrügynökség), az ESO (Európai Déli Obszervatórium) és az Európai Bizottság támogatását élvező *Physics on Stage* fesztivált azzal a céllal, hogy elsősorban a résztvevő országok fizikatanári közössége számára teremtsen tapasztalatcserére, innovatív kísérleti bemutatóra alkalmas helyszínt. A konferencia tematikája később biológiával és

1. ábra. Nagy Andrea, Major Balázs, Szabó Gábor professzor, a Szegedi Tudományegyetem rektora és Gajdos Tamás a Kutatók Éjszakája szegedi rendezvényén a József Attila Tanulmányi és Információs Központban.

kémiával bővült, és létrejöttek a *Science on Stage* konferenciák. A cél továbbra is az, hogy a természettudományos tantárgyak tanításának hatékonysága növekedjen, illetve megforduljon az a nemkívánatos folyamat, amelyet a természettudományos tantárgyaktól való elfordulás jelent az oktatás minden szintjén.

Hadd hívjuk meg most az Olvasót egy időutazó fizikaórára, ahol a fent említett előadásokból idézünk azzal a céllal is, hogy hátha lesznek a Kedves Kollégák „vonzáskörzetében” olyan tanulók, akik szívesen idéznék meg hasonló módon a múlt nagy fizikusait.

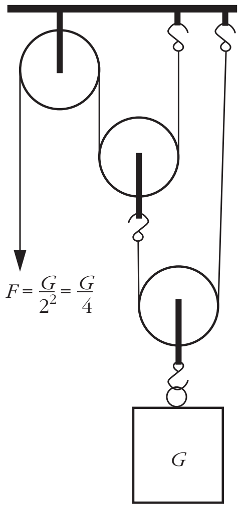
Arkhimédész (i. e. 287–212)

„Tisztelt Olvasó!

Arkhimédész vagyok, az ókor legnagyobb tudósának, a világ legnagyobb matematikusának tartanak. Nevem vaseszűt jelent. Szürakúzában, a szicíliai görög városállamban születtem időszámításuk előtt 287-ben.

Történetíróim szerint a második pun háborúban római hajókat gyújtottam fel. Az igazság az, hogy valóban készítettem ostromgépeket, emelőket és tükröket is. Csigasoraimmal a hajókat legénységükkel és rakományukkal együtt is el lehetett vontatni. A rólam elnevezett csigasor egy állócsigából és több mozgócsigából áll. A mozgócsigák egyik kötélágát egy stabil tartószerkezethez rögzítik, míg a másik ág egy előző mozgócsiga tengelyét terheli. Az állócsigán az első mozgócsiga mozgó kötélága van átvetve, ezt húzva emelhető fel a teher. Mivel a mozgócsigára eső terhelés a két kötélág között egyenletesen oszlik el, ezért n darab mozgócsigából álló csigasor esetén a teher felhúzásához használt kötélre csak a teher 2^n-ed része esik. Ez utóbbi összefüggés miatt nevezik ezt a csigasort hatványcsigasornak is (*2. ábra*).

Attól váltam széleskörűen ismertté, hogy Egyiptomban a földek öntözésére vízemelő gépezetet – arkhimédeszi csavart – szerkesztettem. Az eszköz legfontosabb eleme egy spirál alakúra meghajlított cső, amely a vízszintessel 20–25°-os szöget bezáró fémtengely-



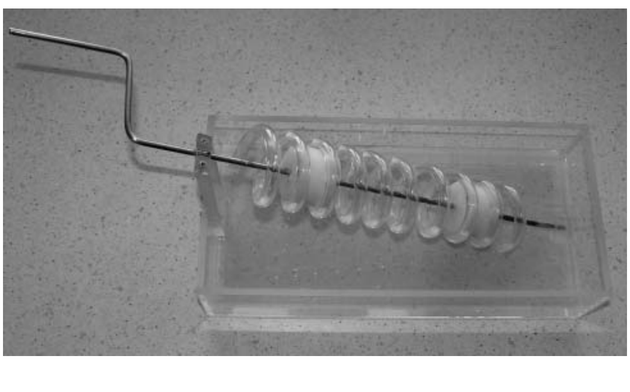
2. ábra. Arkhimédeszi csigasor. A mozgócsigák számának növelésével csökkenthető a teher felhúzásához szükséges erő.

hez van rögzítve. A használat során a cső alsó végét vízbe merítik, míg a cső másik vége a víz szintje fölött ér véget. Ha a berendezést egy hajtókarral a hossztengelynél megforgatjuk, akkor a cső alsó végén a csőbe kerülő víz minden forgatásnál egy menettel magasabbra kerül, és végül kifolyik a csőből (*3. ábra*).

Mindenki ismeri a később rólam elnevezett felhajtóerő-törvényt, akár énekelve is: »Minden vízbe mártott test a súlyából annyit veszt, amennyi az általa kiszorított víz súlya.« A felhajtóerő törvényéről jut eszembe az alábbi történet. Hieron, Szürakúza királya – aki egyébként rokonom volt – egy ajándék koronát csináltatott. De kételye támadt, hogy az ötvös vajon beletette-e az összes aranyat, amit kapott, vagy esetleg ezüsttel pótolta. A király engem kért meg, hogy találjak ki módszert, amivel a kérdés eldönthető.

A megoldást fürdés közben találtam meg. Két dolgot vettem észre, egyrészt azt, hogy a vízben könnyebbnek érzem magam, másrészt azt, hogy a víz szintje annál magasabb a kádban, minél jobban belemerülök. Ekkor fogalmazódott meg bennem a felhajtóerő törvénye. Örömömben kiugrottam a kádból, és Szürakúza utcáin végigfutva tudattam a világgal, hogy: »Heuréka, heuréka… megtaláltam, megtaláltam!«

3. ábra. Arkhimédeszi csavar. A képen látható arkhimédeszi csavar a szegedi Kőrösy József Szakképző Iskola eredeti Calderoni-gyártmányú készüléke alapján készült. A fluoreszcein-oldattal megtöltött csavarmodellt bemutatta a dán televízió *Science on Stage* fesztiválról tudósító adása.



A felhajtóerő törvénye szépen demonstrálható az úgynevezett arkhimédeszi hengerpárral. A hengerpár két – egymás alatt elhelyezett – hengerből áll. Az alsó henger tömör, a felső felül nyitott, és térfogata megegyezik az alsó henger térfogatával. A hengerpárt rugós erőmérőre akasztva, majd az alsó hengert vízbe merítve megfigyelhető, hogyan változik a hengereket tartó erő. Ha az alsó henger kicsit is vízbe merül, kisebb tartóerőre van szükség. Ha az alsó hengert teljesen vízbe merítjük, és a felső hengert teletöltjük vízzel, az erőmérő ugyanakkora értéket mutat, mint levegőben. A víz által a hengerre kifejtett felhajtóerő tehát megegyezik a henger térfogatával azonos térfogatú – vagyis a henger által kiszorított – folyadék súlyával.

A felhajtóerővel magyarázható a Cartesius-búvár (*Descartes,* 1596–1650) működése is. A kísérleti eszközt úgy állítjuk be, hogy a búvár az üveg tetején úszszon. Ilyenkor a búvárra ható felhajtóerő egyenlő a ráható gravitációs erővel. Ha megnyomjuk a palackot, a búvár lesüllyed, mert a folyadék összenyomhatatlansága miatt víz kerül a búvár testébe, és a gravitációs erő nagyobb lesz a felhajtóerőnél.

A matematika mindig nagyon érdekelt, ezért Alexandriába mentem Euklidesz tanítványaihoz matematikát tanulni. Később bebizonyítottam, hogy a kör kerületének és átmérőjének aránya minden kör esetén ugyanaz. Ezt a számot ma π-nek hívják, értékét én 3,142-nek találtam. Bizonyítottam továbbá, hogy egy gömb felszíne és térfogata úgy aránylik egymáshoz, mint a köré írt egyenes henger felszíne és térfogata. Beláttam, hogy egy gömb, a köré írható legkisebb henger, és a hengerbe írt kúp térfogatának aránya egész számokkal írható le: a henger, a gömb és a kúp térfogatainak arányára a 3:2:1 arányt kaptam. Erre az eredményre olyan büszke voltam, hogy úgy rendelkeztem, síromra is ezt a geometriai ábrát véssék.

Matematikával életem végéig foglalkoztam. Az engem leszúrni készülő katonához szóló utolsó mondatom: »Noli turbare circulos meos!« azaz *Ne zavard a köreimet!,* hiszen éppen geometriai ábrák rajzolása közben háborgatott.

Halálom után felfedezéseim sajnos hosszú időre feledésbe merültek, elsősorban az alexandriai könyvtárat sújtó tűzvész következtében. Még évszázadokat kellett várni olyan tudósokra, akik az enyémekhez hasonló, nagy felfedezéseket tettek, közéjük tartozott *Galileo Galilei*. Köszönöm a figyelmet!"

Galileo Galilei (1564–1642)

„Üdvözlöm Önöket, az én nevem Galileo Galilei, és a mai napon az a tisztem, hogy meséljek Önöknek az életemről.

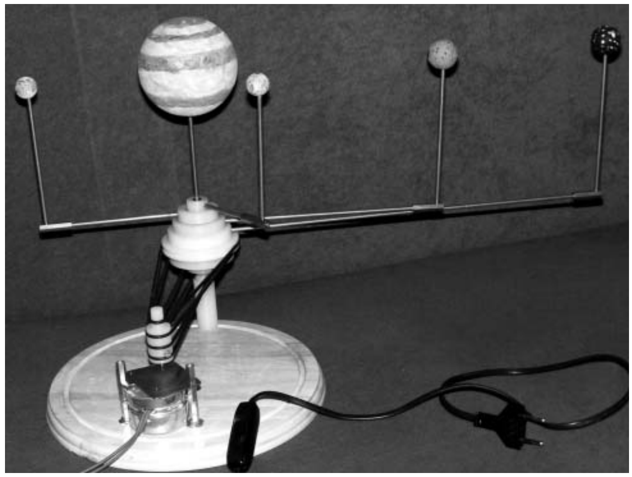
1564-ben láttam meg a napvilágot Pisában, de nem akarom Önöket untatni a részletekkel, elég az hozzá, hogy hamar a matematika és a fizika felé fordultam, bár először orvosi tanulmányokat folytattam a pisai egyetemen. Életem során sok mindennel foglalkoztam, szerkesztettem mikroszkópot, osztókörzőt, sőt

4. ábra. Galilei-lejtő. A gyönyörűen felújított, mintegy 100 éves, négycsatornás Galilei-lejtő. A négyzetes úttörvény szerint növekvő utak megtételéhez tartozó időtartamokat a lejtőn elhelyezett csengők jelzik.

még termoszkópot is. Ha jól hallottam, manapság elneveztek rólam egy hőmérőt, de ez az eszköz teljesen más elven működik. A pisai dóm egyik csillárját figyelve – észrevettem, hogy az inga lengésének ideje nem függ a kitérés mértékétől – felfedeztem az izokronizmust.

Számomra a világ megismeréséhez mindig a kísérleteken át vezetett az út, de remélem, megbocsátanak nekem, ha az idő szűke miatt a továbbiakban csak legjelentősebb felfedezéseimről ejtek néhány szót. Ha már a kísérleteknél tartunk… Épp a minap hallottam egy érdekes anekdotát a pisai ferde toronyban elvégzett kísérletemről. Bizonyára hallottak a kísérletről, de ki kell ábrándítanom Önöket, mert ezt a kísérletet én soha nem végeztem el. Ugyanis még szép vízórám segítségével sem volt meg a technikai lehetőségem, hogy a szabadon eső kövek esési idejét megmérjem, mert a kövek túl gyorsan esnek. Azonban egy sokkal lassúbb lefutású mozgásnál, lejtőn guruló golyók segítségével máris bebizonyítom önöknek, hogy a testek a tömegüktől függetlenül egyszerre érnek a lejtő aljára, ha a légellenállástól eltekintünk. Tapasztalatom szerint, ha a lejtőn a csengőket a megfelelő távolságokba helyezzük, például 10, 40, 90 és 160 cm-re (*4. ábra*), akkor az egyszerre indított golyók egyenlő időközönként érik el azokat. Hallgassák csak! …

És most térjünk vissza a szabadesésre! Mivel a fent említett jelenség bármilyen hajlásszögű lejtőn érvényes, és mivel a szabadesést tekinthetjük egy speciális lejtőnek is, amelynek hajlásszöge 90 fok, a lejtőn tapasztaltak a szabadon eső testekre is érvényesek. Ezen eredményeimet a *Discorsi* című művemben publikáltam.



5. ábra. A Jupiter bolygó Galilei által felfedezett holdjaival. A Jupiter bolygó és a Medici-csillagok, azaz a Jupiter bolygó és a Galilei által felfedezett négy hold: az Io, az Europa, a Ganymedes és a Callisto. A modellben a holdak méretarányai, a bolygótól mért távolságaik arányai és a periódusidők arányai megfelelnek a valóságnak.

Ejnye-ejnye, az én memóriám sem a régi már! A kedvenc eszközömről majdnem megfeledkeztem, pedig ennek köszönhetem számos korszakalkotó felfedezésemet. Természetesen a távcsőről fogok beszélni. Távcsövem egy szóró- és egy gyűjtőlencséből állt, elérte a hihetetlen 12-szeres nagyítást, használatával a Világegyetem ezer csodája tárult a szemem elé. Ám arról sem szabad megfeledkezni, hogy távcsövem látószöge igen kicsi, és a széleken a látótér elég sötét, viszont az objektum keresését megkönnyíti, hogy egyenes állású képet ad. Távcsövemmel vizsgáltam a Hold felszínét, a Nap foltjait és a Vénusz fázisait.

Észrevettem, hogy a Tejút száz meg száz csillagból áll, de legnagyobb felfedezésemet, amelynek ebben az évben van négyszáz esztendeje, mégis a Medici-csillagok jelentették. Név szerint: az Io, az Europa, a Ganymedes és a Callisto. Ha jól tudom, ezeket ma Galilei-holdaknak nevezik, és azt hallottam, hogy egy bizonyos *Olaf Römer* az Io segítségével mérte meg először a fény sebességét is.

Mint ahogyan az általam készített modellen is látszik (*5. ábra*), minden hold a Jupiter körül kering. Természetesen a Jupiter mérete a valóságban jóval nagyobb, de a holdak méretének, pályájának és keringési idejének aránya megfeleltethető a valóságnak. Ennek a rendszernek a megléte már önmagában is megerősíti, hogy a kopernikuszi tanok igazak, és nem a Föld, hanem a Nap a Világegyetem középpontja. Sajnálatos módon ezen állításomat az inkvizíció előtt vissza kellett vonnom, de megsúgom Önöknek, hogy helyességében a mai napig sem kételkedem.

Ezt a felfedezést tekintem életem fő művének, de át is adom helyemet az elkövetkező kor nagy tudósának, *Sir Isaac Newton*nak, aki sok minden más mellett megalkotta a klasszikus mechanikát, felállította a mechanika axiómáit, de az igazság az, hogy az első axiómát már én is megfogalmaztam. Köszönöm megtisztelő figyelmüket.”

Sir Isaac Newton (1643–1727)

„Tisztelt Olvasó!

Én Sir Isaac Newton vagyok. Magam bemutatására idézném *Alexander Pope*-ot. Az idézet sírfeliratomra is felkerült:

»Sűrű éj borítá bé a Természetet,
Newtont küldé az Úr: tégyen Törvényeket!«

Az előttem szereplő tudóst a római egyház üldözte és szinte szobafogságban halt meg Firenzében. Én egy szerencsésebb helyen születtem 1643. január 4-én, egy lincolnshire-i kis falucskában, ahol az egyház hatalma nem korlátozta a tudósi munkát. Egy olyan társadalomba születtem, ahol a tudósok elismert, a király által fizetett, tiszteletben álló személyek voltak. A hely Anglia, ahol egy új korban a tudomány új szelei fújtak.

Tudósi történetem a tükrös távcsővel kezdődött. Ez annyira lenyűgözte a korabeli tudósokat, köztük *Hooke*-ot, az experimentátort, hogy alig 29 évesen már a Királyi Társaság tagja lehettem. Galilei távcsövének képalkotását – bár minden tiszteletem az övé – a színi hibák zavarják. A lencsével leképezett fénypontok körül ugyanis a diszperzió miatt mindig színes gyűrűrendszer alakul ki. Azonban a tükrös távcsőben nincs fénytörés, nincs diszperzió, és a kép is élesebb.

De nézzünk bele a diszperzió fizikai hátterébe egy hozzám fűződő történet kapcsán: Történt ugyanis, hogy a fényt saját »detektorommal«, a szememmel vizsgáltam direkt módon. Ez látáskárosodást okozott, aminek orvoslására három napra sötét szobába zárattam magam. Három nap hosszú idő, szerettem volna folytatni kutatásaimat. Fúrtam a falon egy lyukat és azon át egy keskeny fénysugarat engedtem be a szobába. A fényt egy prizmára vetítettem, a prizma után ernyőt helyeztem el. Az ernyőn felfogott fénycsíkban nagy meglepetésemre megjelentek a szivárvány színei. Mivel máshonnan nem érkezhettek a színek, meg kellett állapítanom, hogy a fehér fény a színek megfelelő arányú keveréke, a prizma »csak« szétválogatja őket (*6. ábra*). Egyébként az esőcseppekben keletkező szivárvány színeit is hasonló jelenség okozza.

6. ábra. Sir Isaac Newton prizmával, London, Madame Tussauds-múzeum.

A korabeli elmélet szerint a fehér szín egy tiszta rezgés, amely az anyaggal történő kölcsönhatás során különböző alhullámokat bocsát ki magából. Én ezt a feltevést elvetettem, helyette a sajátomat alkalmaztam, amit nevezhetünk szubsztancia- vagy anyagelvnek. Kimondtam, hogy a fehér fényben megtalálható az összes szín, azaz a színek nem a fény elváltozásai, hanem a prizmán történő különböző mértékű fénytörés következményei. Ezeket az eredményeimet az 1700-as évek elején megjelent *Optiká*mban adtam közre.

De ne szaladjunk előre az időben! Ugyanis, bár csak később – a *Principiá*ban – publikáltam a mozgásra vonatkozó törvényeimet, már ifjú koromban elvégeztem a szükséges számításokat. Egyik legnagyobb sikeremről fogok most beszélni, úgyhogy kérem, figyeljenek! Kezdetben a görögök úgy gondolták, hogy két külön fizika létezik. Egyik, ami a Földön és annak közelében érvényes, míg egy másik, ami az égi objektumokra és a csillagokra érvényes. Az égi szférában *Tycho de Brache*nak a Mars bolygóval kapcsolatos méréseit felhasználva *Kepler* hosszú számítások útján felállította a bolygómozgás három törvényét. A földi szférában Galilei ejtési kísérletei – mint ahogy hallottuk – nyújtottak valami törvényszerűséget. Alig múltam húsz éves, és folyamatosan ezek a gondolatok jártak a fejemben, ezek a kérdések lebegtek a szemem előtt, én pedig türelmesen vártam, hogy a megvilágosodás apró sugarai végül egy kristálytiszta ragyogássá álljanak össze.

A múltkor egy kisfiú megkérdezte tőlem, hogy tényleg a fejemre esett-e egy alma. Ezt itt most le kell szögeznem, hogy, bár szüleim háza tényleg egy almáskert mellett volt, és tényleg sokat ültem almafák alatt, amikor otthon voltam, de ilyen soha nem történt. Ez valamelyik életrajzíróm reklámfogása. A lényeg viszont az, hogy az alma esését ugyanaz az erő okozza, mint ami a Holdat a Föld körül tartja, tehát csak egy fizika létezik. Bár Kepler jól írta le a bolygók mozgását, a miértre azonban én adtam meg a választ! Ez az erő pedig a gravitációs erő, az egyetlen erő, ami összetartja Naprendszerünket és bennünket a Földhöz ragaszt. A közönséges látható anyag fejti ki ezt az erőt, s ezen az erőn kívül – amely a távolság négyzetével csökken – nincs szükség más erőre! Ezt az eredményt – összekapcsolva a testek mozgásáról szóló kézirattal – publikáltam is, a könyv címe: *Philosophie Naturalis Principia Mathematica,* avagy röviden *Principia.* Ebben már szerepelt az általános összefüggéseket magyarázó három törvényem:

1. Minden test megmarad nyugalmi állapotában vagy egyenes vonalú, egyenletes mozgásában mindaddig, míg és amennyiben kívülről ráható erők ennek az állapotnak megváltoztatására nem késztetik.

2. A mozgásmennyiség megváltoztatása arányos a rá ható erővel s azon egyenesnek irányában megy végbe, amelyben ez az erő hat.

3. Minden hatással együtt egyenlő nagyságú és ellenkező irányú ellenhatás is fellép, vagy más szóval, két test kölcsönösen egymásra gyakorolt hatása egyenlő egymással s ellentétes irányú.

Van egy negyedik axióma is, amit ugyan nem én fedeztem fel, de a sajátjaim mellett igen jól mutat, és hiba lenne nem megemlíteni. Ez a Stevin-tétel.

4. Ha egy testre egyidejűleg több erő hat, akkor ezek együttes hatása megegyezik vektori eredőjük hatásával.

Köszönöm, hogy ennyien megjelentek előadásunkon, és bár sokan úgy gondolnak rám, mint valami félistenre, azt fontos leszögeznem, csak azért láttam messzire, mert olyan óriások vállán állhattam, mint Arkhimédész és Galilei."

✧

A Csodák Palotájában bemutatott színpadi jelenettel nagy örömünkre részt vehettünk – a magyar delegáció tagjaiként – a Koppenhágában megrendezett *Science on Stage* fesztiválon, 2011. április 16–19. között (*7. ábra*). Mind az ötlet, hogy színpadi kellékekkel, korhű öltözékben tegyük látványossá a fizikaórák olykor száraznak tűnő tananyagát, mind a megvalósítás sok elismerésben részesült. A kosztümös hallgatók látványa nemcsak a rendezvény megnyitóján, de folyamatosan vonzotta a média munkatársait és az érdeklődő látogatókat. Örömmel töltött el bennünket a görög küldöttség meghatódottsága Arkhimédész láttán, a román és bolgár vendégek kedves ajándéka, vagy a svéd delegáció meghívása a facebook-oldalukra. Kérésre büszkén álltunk az érdeklődők mellé egy-egy fénykép erejéig. Ilyenformán – ha személyesen nem is – az emlékek felidézése révén számos országba eljuthat kis csapatunk.

7. ábra. A *Science on Stage* konferenciák hazai szervezői *Kovách Ádám* és *Sükösd Csaba* társaságában a koppenhágai fesztivál magyar standja előtt.

Szinopszis

A tudós nem érheti be az igazságnál kevesebbel! De az igazság kényes. Hitben, hűségben, kitartásban a legjelesebbnek kell lenned, hogy rád figyeljen. Ő még csak ígéret, de te már a rabszolgája vagy, s elvárja, hogy az is maradj… a máglyáig, ha kell!

Hisszük, hogy olyan tudósokat idéztünk meg az elmúlt oldalakon, akik méltónak bizonyultak egykor az igazság mosolyára.

Irodalom

1. Paul Strathern: *Arkhimédész*. Elektra Kiadóház, 2000.
2. Száva István: *A szirakúzai óriás*. Saturn Kiadó, 2003.
3. Arthur Koestler: *Alvajárók*. Európa Kiadó, 2007.
4. Martin Rees (szerkesztő): *Univerzum – A Világegyetem képes enciklopédiája*. Euromedia Group Hungary, Ikar Kiadó 2006.
5. Steve Parker: *Isaac Newton és a gravitáció*. Magvető Kiadó, 1993.
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton
7. http://physx-on-stage.blogspot.com

300 ÉVES A KÍSÉRLETI FIZIKA OKTATÁSA SÁROSPATAKON

Bigus Imre

Árpád Vezér Gimnázium és Kollégium, Sárospatak

Az 1531-ben alapított sárospataki Református Kollégium a tudomány és a művelődés fellegvára volt évszázadokon át. Itt tanított a pedagógiai módszeréről leghíresebb pedagógus, *Johannes Amos Comenius* 1650 és 1654 között, aki beköszöntő beszédét *A lelki tehetségek kiművelésérő*l címen tartotta, és a szemléltető oktatás híve volt.

De itt tanított *Pósaházi János* (1628–1686), az első hazai „Philosophiae Naturalis" (1667) szerzője, aki elfogadta a tehetetlenség elvét: „valamely test megmarad abban az állapotában, amelyben van, hacsak valami más mozgó test akár belülről, akár kívülről innen ki nem mozdítja."[1] *Newton* és Pósaházi megfogalmazásai egyidőben keletkezhettek, nyilván mindketten jól ismerték *Galilei* 1632-es munkáját és elfogadták az abban szereplő fenti megállapítást.

Míg Comeniusnál a fizika a filozófia részeként szerepel, addig *Simándi István* immár 300 évvel ezelőtt, 1709-ben és 1710-ben kísérleti módszerekkel tanította a fizikát. Simándi munkássága azért is nagyon jelentős, mert talán egész Európában elsőként oktatta a fizikát

[1] M. Zemplén Jolán: *A magyarországi fizika története 1711-ig*, 285. o.

1. ábra. Bertha Zoltán festménye (1962)

kísérleti eszközök segítségével, ezzel az ország összes iskoláját megelőzte; a debreceniek híres professzorát, *Hatvani István*t negyven évvel, Hollandiát, ahol 1720 körül *S'Gravesande* tartott kísérleti előadásokat, tíz évvel előzte meg, de Oxford mögött is csak nyolc évvel maradt le, ahol *John Keill* (1671–1721) professzor az 1700–1701. tanévben tanított kísérleti fizikát.

Simándiról nem maradt fenn portré, arckép, olajfestmény, sem nyomtatott vagy kézzel írott feljegyzés, mindössze egyetlen sajátkezű aláírása olvasható a végrendeletén.

A Református Kollégium Gimnáziumának igazgatói irodájában látható egy fantáziakép, olajfestmény, amelyet *Bertha Zoltán,* a gimnázium tanára készített (1962), és ezen II. Rákóczi Ferencnek mutatja be Simándi a Hollandiából hozott egyik eszközét, a légszivattyút (*1. ábra*).

Simándi István 1675-ben született Abaúj megyében, de arra, hogy hol, nincs adat. Ekkorra a *Tolnai Dali János* és Comenius vezetésével virágkorát élő iskola már a múlté, mert 1671-ben az iskola feloszlott, a kisebb tanulók hazaköltöztek szüleikhez, a nagyobbak pedig Pósaházi János és *Buzinkay Mihály* vezetésével Debrecenen át Erdélybe vándoroltak, és magukkal vitték a nyomdát és a könyvtárat (*2. ábra*).

Erdélyben *Apafi Mihály* a gyulafehérvári Kollégiumban telepítette le őket. Sárospatakon 1682. december 22-ig nem volt iskola. A Thököly-féle felkelés hírére a diákság egy része visszaszivárgott *Sallai Pál* szenior vezetésével. Buzinkay 1683-ban, Pósaházi 1686-ban Erdélyben meghalt. Ebben az időben nem volt tanár az iskola élén. 1686. február 9-én *id. Csécsy János*t választották az iskola élére, de 1687. április 24-én az iskolát újra el kellett hagyni. A diákok Csécsy vezetésével 1687. június 12-én Göncön telepedtek le.

Közben Simándi iskoláskorú lett, arról sincs adat, hogy hol tanult mint kisdiák, de nagy valószínűséggel állítható, hogy a pataki Kollégium valamely partikulájában. Apja minden bizonnyal abba az iskolába adta, ahol ő is tanult, Sárospatakra, de a pataki iskola ekkor Göncön működött, így feltételezhetjük, hogy Göncön lett kisdiák.

Azt már biztosan tudjuk, hogy a főiskolai hallgatók sorába 1695-ben Göncön írták be, ám az iskola diákjainak 1695. március 25-én innen is távozniuk kellett. A bujdosó iskola Csécsy vezetésével Kassára vonult, és 1695. május 20-án Kassa belvárosában telepedtek le, de ez is csak egy évig tartott, mert 1696. március 27-én a külvárosba szorultak.

1701-ben a Kassa külvárosába kényszerült iskola első diákjává, szeniorrá választották a tehetséges, kiváló tanuló Simándit, aki lelkes segítője volt a nehéz időben Csécsynek. Tudása, rátermettsége alapján került 1702-ben a miskolci iskola élére. 1704-ben innen ment hároméves külföldi tanulmányútra. Minden okunk megvan arra, hogy feltételezzük, Európa azon egyetemeit látogatta, ahol a legkorszerűbb eszméket hirdették. Valószínű, hogy Utrecht, Leyden, Franeker akadémiáit látogatva képezte magát, de egy nem megbízható forrás szerint Bázelbe is eljutott.

II. Rákóczi Ferenc seregei ostrom alá vették Kassát. A győztes sereg egyik tábornoka, *Orosz Pál* Kispatakon kapott szállást, és a romladozó iskola épületét 1703. augusztus 25-én visszaadta a reformátusoknak. Csécsy csak 1705. május 14-én tért vissza Patakra, családja nélkül.

1705 szeptemberében, mint a zempléni reformátusok követe vett részt a szécsényi országgyűlésen, és miután 1706. január 26-án minden vagyonával együtt visszakapták az iskolát, 1706. március 4-én egész családjával Patakra költözött. Csécsy hívta meg Patakra tanárnak Simándit, egykori diákját, amit ő el is fogadott.

Simándi a hagyományoknak megfelelően külföldi vándorlásai során elsősorban teológiai tanulmányokat folytatott, de a teológián és a karteziánus filozófián túl felfigyelhetett a természettudományok eredményeire. Biztosan állíthatjuk, hogy a coccejanizmus nagy hatással volt rá, hiszen könyvtárhagyatékának lajstromában kétszer is szerepelnek *Coccejus* művei, egyszer latin és egyszer francia nyelven. Külföldről hozott könyveinek jegyzéke, amely huszonhat címet, mint-

2. ábra. Bujdosó pataki diákok, dombormű a Sárospataki Nagykönyvtár bejáratánál


De Staten Generael der Vereenighde Nederlanden

3. ábra. Simándi István egyik útlevele

egy negyven kötetet sorol fel, azt bizonyítja, hogy jól ismerte a németalföldi tudósok munkáit, a fizikában feltörő angol tudósok és filozófusok összefoglaló műveit, többek között *John Lightfoot,* a cambridge-i egyetem teológia professzora valamennyi munkáját.

Külföldi tanulmányútjáról 1707-ben tért haza. Sárospatakon beszámolt az iskolatanácsnak arról, amit látott és tapasztalt külföldi tartózkodása alatt, és javasolta, hogy a fejlődő tudományokkal tartsanak lépést Patakon is, ezért haladéktalanul kezdjék meg a természettudományok korszerű eszközökkel való oktatását. Ebből a beszámolóból nem maradt meg egy szó sem, pedig feltehetően a magyar pedagógiatörténet egyik legbecsesebb okmánya lehetne. De azt, hogy alapos, meggyőző erejű lehetett, mi sem bizonyítja jobban, mint az, hogy az iskolatanács 800 rhénusi aranyforintot[2] szavazott meg Simándinak, hogy a kollégium tönkrement felszereléseit pótolja és vásároljon új eszközöket, amelyeket az oktatás megreformálásához és eredményessé tételéhez szükségesnek tart. Simándi ismét útra kelt, és erről az útjáról két dokumentum is fennmaradt, két útlevele 1708-ból, amelyek egyikét a *3. ábra* mutatja.

Az 1708. július 20-án megtartott gyűlés három új tanár beállítását tervezte. A hittan tanítására *Rimaszombati Mihály*t, jogtanárnak *Szentpéteri Sámuel*t, a bölcsészeti- és természettudományok tanítására pedig *Simándi István*t választották meg. Simándi Külföldi útjáról Krakkón, Kassán, Göncön át érkezett Sárospatakra 57 darab fizikai eszközzel. 1709. január 13-án iktatták be rektorprofesszori tisztségébe.

A három tanár közül csak Simándi állt munkába, így nem csekély feladat hárult rá, hiszen a másik két tanár munkáját is neki kellett ellátni. Simándi tehát három tárgyat tanított, teológiát, jogot és természettudományokat.

[2] A rajnai (rhénusi) forint eredetileg azon Rajna menti választófejedelmek által veretett aranypénz volt, akik IV. Károly aranybullájában pénzverési jogot kaptak. Közép-Európában a 16–19. században használták a 60 krajcárt érő német (osztrák) ezüstforint megnevezésére. (forrás Wikipedia)

4. ábra. II. Rákóczi Ferenc tudósok körében

Szombathi János szerint természetjogot és népjogot ő tanított először a sárospataki iskolában. Noha Simándit a természettudományok oktatására nevezték ki, ismerte a világhírű heidelbergi jogprofesszor, *Pufendorf Sámuel,* valamint a modern nemzetközi jog megalapítója, *Grotius Hugó* a műveit is.

„Kísérleti fizikát, amennyire én tudom, Sárospatakon először Simándi István adott elő, aki az 1709. és 1710. évben volt tanár. Ő Belgiumból nem kevés fizikai és mennyiségtani eszközt is hozott az iskola használatára, amelyeknek egy bizonyos része még ma is megvan.” – írja Szombathi János.[3]

A „Physica generalis” és a „Physica particularis” helyett nála a „Physica experimentalis” szerepel, de arra vonatkozóan nincs adat, hogy mit tanított kísérleti fizika címen. A pataki főiskolán a matematika és a fizika tárgyak kötelezőek voltak mind a vallási, mind a világi pályára készülő diákok számára, de önálló tantárgyként nem találjuk, a bölcsészettel kapcsolatban tanították a filozófia egyik ágaként. Azt pontosan nem lehet megmondani, hogy az arisztotelészi bölcselet lenyűgöző hatása alól a fizika mikor szabadult meg a pataki iskolában, de az biztos, hogy 1791 előtt. Hiszen *Szilágyi Márton,* aki elkészítette a fizikai eszközök leltárát 1774-ben, még a „bölcsészet és a mathesis” nyilvános tanárának írja magát, de utóda, *Barczafalvi Szabó Dávid* 1791-ben a matematika és a fizika nyilvános és rendes tanárának nevezi magát.

A fizikai múzeumot Simándi alapozta meg az általa beszerzett eszközök segítségével, és a pusztán spekulációra épülő természetbölcseleti tanok helyett a tapasztalást, a megfigyelést és a kísérletezést helyezte előtérbe. Így azután egyre inkább elterjedt: „Simándi a sátán ivadéka”. Még azok is, akik szerették, csak úgy nevezték maguk között: „a pataki mágus”. A néphit azt tartotta róla, mint később Hatvani Istvánról, a híres debreceni tanárról, hogy az ördögökkel áll cimboraságban, és mágus könyve láncra kötve áll szobájában.

[3] Szombathi János: *A sárospataki főiskola története,* 196. o.

5. ábra. Simándi István leydeni légszivattyúja

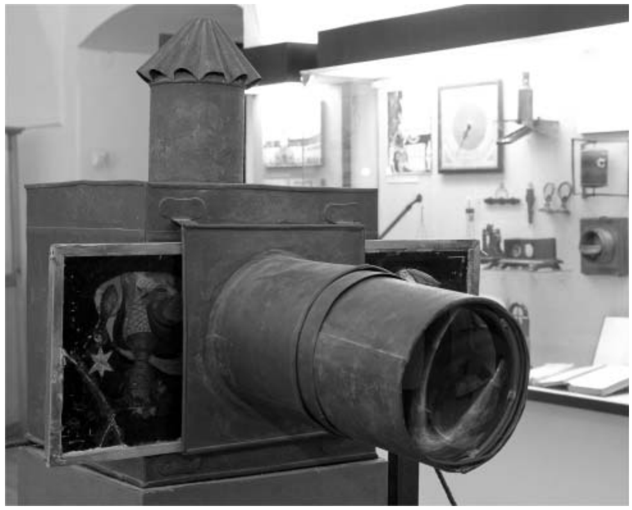
1709 nyarán a Simándi különleges tudásáról szóló szóbeszédek II. Rákóczi Ferenchez is eljutottak. *Benyiczky Gáspár,* a fejedelem magántitkára a fejedelem minden napját lejegyezte, és ezzel páratlan dokumentumot hagyott az utókorra. Benyiczky naplójában 1709. június 29-ről ez áll: „Délig eő Felsége devotizált, délután pedig á Reformátusok Colegiumában menvén, Simándi Professor által producált Mathezist nézte, maga is eő Felsége disceptálván véle." Másnapról, 1709. június 30-ról pedig a következőt jegyezte fel (*4. ábra*): „Szüntelen való írásiban eő Felsége foglalatoskodván, 12 óra felé az öreg-Templomban ment, és ott nagy devotióval Missét hallgatván, á Praedicatión is megmaradt; onnét pedig visszajövén, Méltóságos Fő-Generális Urral, Méltóságos Gróf idősbik Barkóczi Ferenczczel, és más Senátor Urakkal Fejedelmi Asztalához leült. Asztal után á Reformátusok Professorát Simándit á maga Instrumentumival á Várban híván, egész estig sok szép discursusokban mulatta magát."[4]

Rákóczi Ferenc tetszését leginkább a laterna magica nyerhette meg, hiszen ebben az időben még ritkaság volt az ilyen készülék. Rákóczi az oktatás ügyét, a tudományokat nemcsak mint patrónus támogatta, hanem az állam elsődleges feladatának tekintette. A történelem és a művelődéstörténet nagy pillanatának tekinthető a fiatal tudós professzor és a fejedelem találkozása.

A fizikai múzeum alapjait Simándi rakta le, de az első leltárt Szilágyi Márton készítette (1774). Az eredeti leltár nem található meg Sárospatakon, de *Ellend József* írásából[5] tudjuk, hogy mi volt a fizikai eszközök csoportosítása. Instrumenta Mechanika; Hydrostatika; Hydraulika; Aërometrica; Optica; Astronomica et Geographica; Magnetica et Elektrica; Expansionis Corporum ab Inge et Calore.

A leltárból az is kiderül, hogy Szilágyi Márton 132 eszközt tartott nyilván, ebből 65-öt ő készíttetett, tehát a többi 57 a Simándi által beszerzett eszköz.

A teljesség igénye nélkül nézzük meg, mik voltak



6. ábra. Laterna magica

ezek az eszközök, hogy képet kapjunk arról, milyen kísérleteket mutathatott be Simándi az experimentalis fizika keretében: Archimedes-csavar, hydraulikus gép, fém hygrométer, sötétkamra, Hooke-féle mikroszkóp, egyszerű mikroszkóp megvilágító tükörrel, éggömb, földgömb, armillaris gömb, Muschenbroek-féle pirométer, leydeni palack, korongos villamos gép, univerzális termométer, légszivattyú, laterna magica, horodictum meridionale.[6]

A Simándi által beszerzett eszközök legértékesebb darabja a légszivattyú, amelyet *Jan Van Muschenbroeck* készített 1708-ban Leydenben, és az 1900-as párizsi világkiállításon is bemutatták (*5. ábra*). A légszivattyú tartozékai 2 db magdeburgi félteke és Heron labdája sárgarézből, rézszájú cső ferde köpűvel. A légszivattyú ismeretében feltételezhetjük, hogy bemutatta a ma is jól ismert kísérleteket.

A hang terjedéséhez levegőre van szükség, légüres térben nem terjed. Simándi bemutathatta, hogy az élet fenntartásához levegő kell, mint azt *Benkő Béla* gimnáziumi tanár az 1900-as évek közepén az 1864-es beszerzésű légszivattyúval mutatta be. Benkő Béla a légszivattyú üvegharangja alá elhelyezett egy verebet, a verébnek a fulladás tüneteit kellett volna produkálni a légritkított térben, de a veréb vígan ugrándozott. Ekkor hangzott el a szállóigévé lett mondás: „Ez a veréb nem jó veréb, hozzanak egy másikat!" A kudarc oka a tömítést biztosító gumikorong elöregedése lehetett.

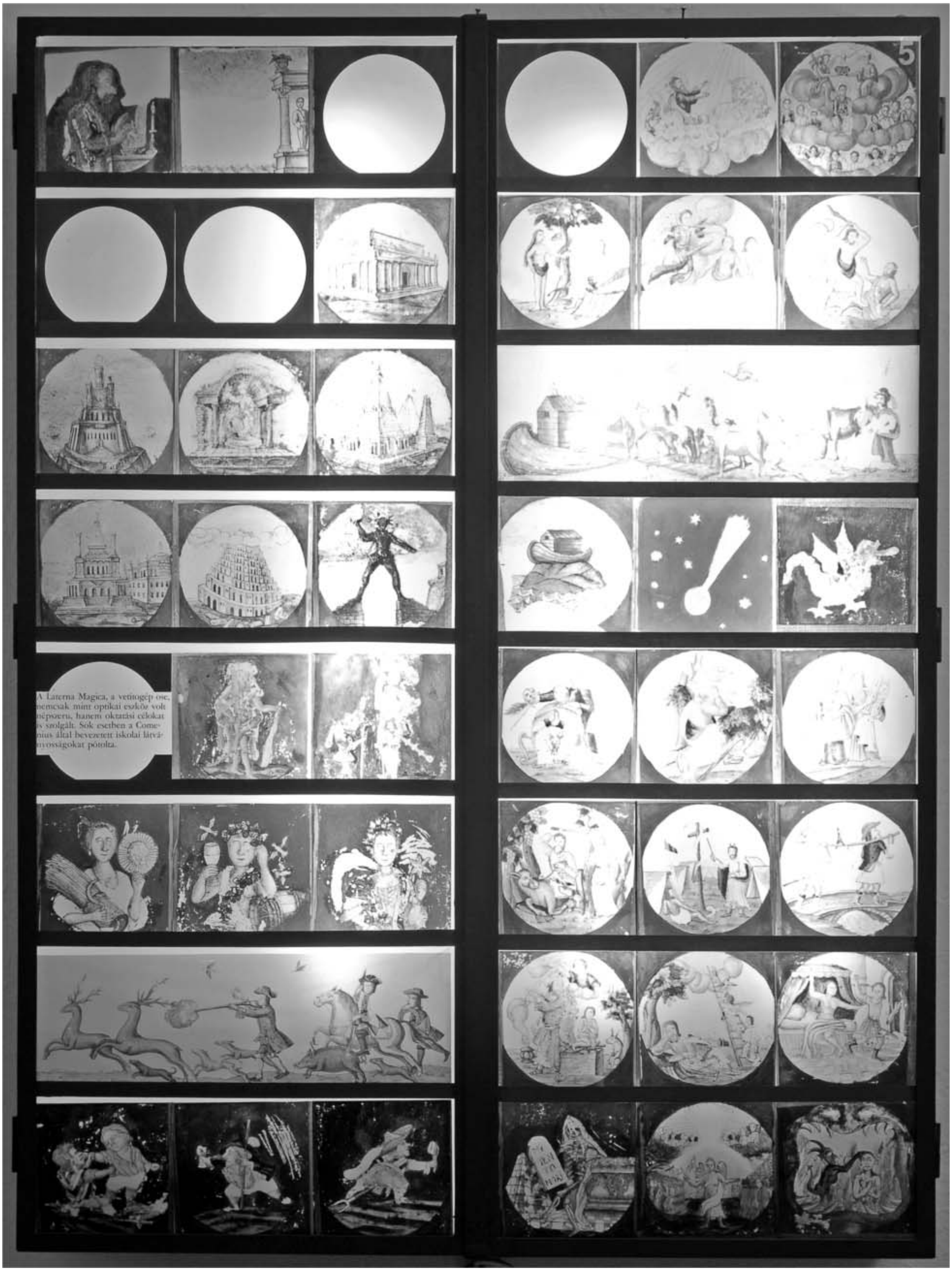
Simándi bemutathatta, hogy a légköri levegő mekkora nyomást gyakorol a magdeburgi féltekére, vagy azt is, hogy a légritkított térben már szobai hőmérsékleten is forr a víz. Vagy bemutatta azt is, hogy légüres térben a különböző testek egyszerre esnek.

A Kollégium Tudományos Gyűjteményében ma is megtalálható eszköz az 1709-ben Leydenből hozott laterna magica (*6. ábra*). Ez üveglapra festett áttetsző képeket felnagyítva ernyőre vetítő készülék. Ez a laterna magica egy 28 cm × 28 cm × 29 cm méterű fes-

[4] Thaly Kálmán: *Rákóczi tár,* 205. o.

[5] Ellend József: *A sárospataki főiskola fizikai museuma a XVIII. század végén*

[6] Ma már csak az utolsó három eszköz látható a tudományos gyűjtemény kiállított eszközei között.



7. ábra. Képek a laterna magicához

tett bádogdoboz, amelynek 14 cm átmérőjű lencséje ma is jól használható, éles képet ad. A világítóeszköz egy olajmécses volt, amelynek fényét a 16 cm átmérőjű, fémből készült homorú tükör összpontosította. A doboz tetején egy 10 cm átmérőjű, 12 cm magas kémény található.

8. ábra. A Simándi által beszerzett egyik eszköz a horodictum meridionale

Az 1774-ben Szilágyi Márton által elkészített leltárban a fénytani eszközök között ez olvasható: „2. Bűvös kamara, 18 üveglapra festett képpel” (*7. ábra*).

A 18 lapból 17 van meg. A két nagy kép egyikén Noé látható, amint az állatokat a bárkába hajtja, a másik pedig vadászjelenetet ábrázol. A többi 15 kép hármas tagolódású, és főleg bibliai jeleneteket ábrázol, de látható a világ hét csodáját mutató kép és a tavaszt, nyárt, őszt bemutató női alakok, amelyek szeme mozgatható.

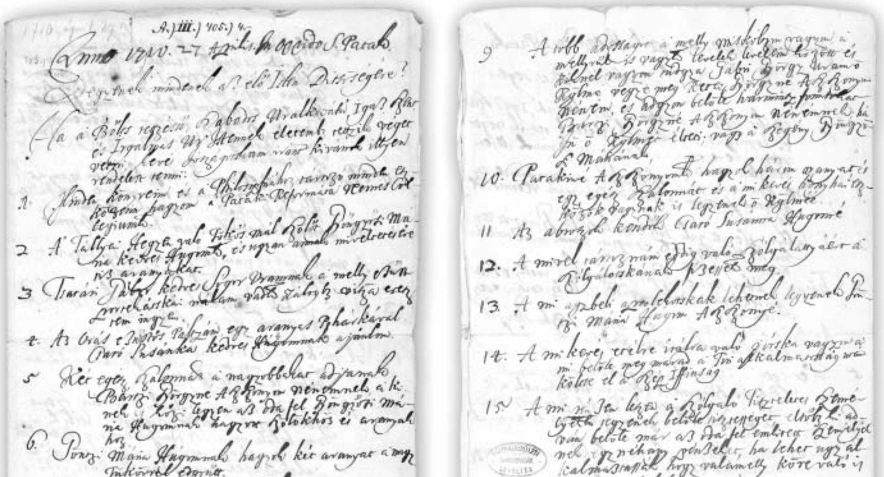
A laterna magicát szemléltető oktatásra használták, mint később más intézményekben is. Bécsben 1745-től tartottak fizikai demonstrációkat a jezsuiták kollégiumában.

Harmadikként megvan még a pontos idő meghatározására szolgáló horodictum meridionále (*8. ábra*).

Simándi a halálát közeledni érezvén fogalmazta meg végrendeletét 1710. április 27-én (*9. ábra*). A végrendelet első pontja így szól: „Minden könyveim és a Philosophiához tartozó minden eszközeim hagyom a Pataki Reformáta Nemes Collégiumnak.”[7]

Könyveinek jegyzéke 294 könyvet tartalmaz, amit a főiskolára hagyományozott, és a hagyaték egyetlen könyve ma is megtalálható a Sárospataki Nagykönyvtárban. A könyv külső borítóján olvasható neve STEPHANUS SIMANDI.

9. ábra. Simándi István végrendelete saját kezű aláírásával



A végrendelet végén magára vonatkozóan fogalmaz meg egy kérést: a pénzzel úgy gazdálkodjanak, „hogy valami kőre való is maradjon belőle”. 1710. május 2-án pestisben halt meg.

Végakaratát minden bizonnyal *Vécsey János* világi gondnok és *Szentgyörgyi Sámuel* szénior teljesítette, mert készült sírkő, amelynek felirata magyar fordításban:

„Ha kíváncsi vagy, hogy ki fekszik e kemény márvány alatt, nézd meg, kinek a neve olvasható itt. Mikrokosmos volt, híres professzora a tudományoknak, nála különbet alig szült a természet.”[8]

Simándi rövid pataki professzorsága alatt nagy tiszteletet, megbecsülést vívott ki, méltán mondhatjuk, hogy a magyar természettudományos oktatás úttörője volt.

„Csak sajnálni tudjuk, hogy ez a nagytehetségű tanár, ki mindjárt a legelsők között fel tudta fogni s megérteni a kor és a tudomány szellemét, hosszabb ideig nem működhetett a főiskolán…” – írta Ellend József.[9]

Irodalom

Gulyás J.: *A sárospataki református főiskola rövid története.* Sárospatak, 1931.

Ellend J.: A sárospataki főiskola kétszázados physikai museuma. *Magyar Pedagógia* (1899) 456–468.

Ellend J.: A sárospataki főiskola fizikai museuma a XVIII. sz. végén. Lenyomat leltári száma: ZZ.322. Megjelent *Matematikai és Physikai Lapok XI* (1902)

Szombathi J.: *A sárospataki főiskola története.* Sárospatak, 1919.

Thaly K.: *Rákóczi tár*

M. Zemplén J.: *A magyarországi fizika története 1711-ig.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1961.

Szinyei G.: A sárospataki református főiskola rövid története. *Iskolai értesítő,* 1895.

Urbán B.: Simándi István, a „pataki mágus”. *Borsodi Szemle* 1960/6.

[7] Kézirat, Levéltári száma A./III./504./4., Simándi István végrendelete 1. pont látható a 9. ábrán.

[8] Urbán Barna: *Simándi István a „pataki mágus”*

[9] Ellend József: *A sárospataki főiskola kétszázados physikai museuma,* 460. o.

MIKOLA SÁNDOR, 1871–1945

Szabó Tímea – Ungvári Tudományegyetem
Sikolya László, Szabó Árpád – Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Mezőgazdasági Kar

Mikola Sándor fizikus, pedagógus, a Magyar Tudományos Akadémia tagja. Tudományos munkássága főként a hangtan és a dielektrikumok fizikájára terjedt ki. Hangtani, elektrosztatikai vizsgálatai során eredeti kísérleti módszereket dolgozott ki és a dielektrikumok területén jelentős elméleti megállapításokat tett. A kísérleti fizikatanítás úttörője, elkötelezett terjesztője, a fizikatanítás módszertanának kiváló művelője, fizikatankönyvek szerzője.

Mikola Sándor 1871. április 16-án született Péterhegyen, Vas vármegyében, a Vend vidék (Szlovénia) területén. Szülei földműveléssel, gazdálkodással foglalkoztak. Elemi iskolába Körtvélyesen járt. Tudásvágya, a tanulás iránti érdeklődése már gyermekkorában megmutatkozott. Középiskolai tanulmányait 1883-tól 1891-ig a Dunántúl legrégibb középiskolájában, az 1557-ben alapított soproni Evangélikus Líceumban végezte. Matematikára *Eötvös Loránd* tanítványa, *Renner János* tanította. A líceumban eltöltött tanulóévekre mindig szeretettel és tisztelettel emlékezett. Egyetemi tanulmányait a Budapesti Tudományegyetemen az 1891–1895-ös években végezte. Itt szerezte meg 1895-ben matematika-fizika szakos tanári oklevelét. Első tanulmányát ugyanebben az évben publikálta. A Tudományegyetem elvégzése után egy évig a Kísérleti Fizikai Intézetben Eötvös Loránd mellett volt gyakornok. Tanárai közül Eötvös professzor volt rá a legnagyobb hatással. Szeretett professzorának több, igen szép életrajzi írásában állított emléket. 1897. szeptember 1-jén lett a budapesti Evangélikus Gimnázium helyettes tanára, 1898-ban rendes tanára és 1928-ban igazgatója. Mikola Sándor meghatározó egyénisége volt a Fasori Evangélikus Gimnáziumnak; 36 éves tanári – 1920 és 22 között nem tanított – és 7 évi igazgatói tevékenység után, 1935. szeptember 1-jén vonult nyugállományba. Nyugdíjazása után is rendszeresen bejárt az iskolába, változatlan energiával és lelkesedéssel munkálkodott „igazi otthonában”, a fizikai szertárban. Mikola Sándort néhányszor meghívták tanárnak a Pázmány Péter Tudományegyetemre, a meghívásokat azonban visszautasította, akadémikus létére továbbra is megmaradt középiskolai tanárnak.

*Wigner Jenő*t a későbbi Nobel-díjas fizikust, de a 20. század egyik legnagyobb matematikusát, *Neumann János*t is Mikola Sándor tanította fizikára, ugyanis ők is a Fasori Evangélikus Gimnáziumban végezték középiskolai tanulmányaikat. Mikola tanár úr tudományos és pedagógiai tevékenysége már munkássága kezdetén országosan ismertté tette nevét. Egész tanári tevékenysége során a matematika- és fizikatanítás színvonalának javításáért, egy minél közérthetőbb fizikusi gondolkodás kialakításáért küzdött. A fizika gondolatvilágának avatott mestere, mélyen gondolkodó, nagyon tájékozott, tudóstanár volt. A fizikatanításnál a hangsúlyt a fogalomalkotásra helyezte. Sohasem mulasztotta el a lényeg kiemelését és az összefoglalást. Fogalomformálási módszerének három pillére volt: a fejlődés elve, az analógiák használata, valamint a modellalkotás fontosságának és korlátainak a megmutatása. Egyszerű, világos nyelven beszélt, és ezt tanítványaitól is megkövetelte. Törekedett arra, hogy tanítványainak minél több lehetőséget adjon az önálló gondolkodásra. Gondosan előkészített óráin tanári kisugárzása több diákjában keltette fel a fizika iránti érdeklődést, hatására többen választották a fizikát élethivatásul. Szerette és nagyon tisztelte tanítványait, de ugyanakkor igazságosan szigorú volt.

Mikola Sándort tekintjük a kísérleti fizikaoktatás egyik úttörőjének. Igaz, a prioritás nem őt illeti meg. *Bozóky Endre,* a budapesti I. kerületi Állami Főgimnázium tanára 1903-ban az önként jelentkező gimnazisták számára már tartott tanulói gyakorlatokat. Mikola Sándor azonban 1907-ben kötelező jelleggel bevezette a tanulói gyakorlatokat, és a gyakorlatokhoz szükséges eszközöket gyakran saját maga készítette. Hangsúlyozta, hogy az a kísérlet a legértékesebb, amit maga a tanuló végez. A fasori tanulói gyakorlatok beindítása után, tapasztalva annak előnyeit, Mikola Sándor sürgette az országos bevezetést is. Így terjedtek el 1907 után a középiskolai fizikai tanulói gyakorlatok az egész országban.

Az 1920-as évek kezdetétől részt vett a tantervi módosításokkal kapcsolatos tanácskozásokon. Az 1924-es tantervhez az 1927-ben kiadott *Utasítások* fizika tanítására vonatkozó fejezete Mikola Sándor akadémikus munkája.

A Fasori Evangélikus Gimnázium tanári kara 1902-ben. Az ülő sorban balról a második Mikola, a jobbszélen Rátz László.

*Urániá*ban jelent meg 1909-ben az az értekezése, amelyben a tanulói laboratóriumi foglalkozások bevezetését sürgeti.

Aktív vezetőségi tagja volt a Matematikai és Fizikai Társulatnak. Előadásokat tartott. Az I. világháború befejeztével segítette életre kelteni a Társulatot. Társulati tevékenysége során 1916-tól kezdődően *Bartoniek Gézá*val és *Szabó Gábor*ral bekapcsolódott a fizikai tanulmányi versenyek szervezésébe. Mint a Matematikai és Fizikai Társulat titkára 1916-tól egészen 1924-ig *Fejér Lipót*tal közösen szerkesztette a *Mathematikai és Physikai Lapok* folyóiratot. Ebben a folyóiratban is több munkáját közölték. Jó tollú életrajzíró volt. 1918-ban báró Eötvös Loránd életrajzát írta meg. Nagyon érdekelte a fizika története is, írt tanulmányt *J. Kepler*ről, *R. Bunsen*ről, *W. Thomson*ról és másokról. Dolgozatainak és jelentősebb előadásainak száma 173.

A Magyar Tudományos Akadémia 1921-ben a levelező tagjává, majd 1942-ben rendes taggá választotta. Nevét kísérleti eszközei közül az egyenletes mozgás bemutatását szolgáló Mikola-cső őrzi. 1961-ben az Eötvös Loránd Fizikai Társulat a fizikatanítás előmozdítása érdekében Mikola Sándor-emlékdíjat alapított. Mikola-díjban a kiemelkedő oktatói munkát végző fizikatanárok részesülnek.

Mikola Sándor tagja volt az Országos Közoktatási Tanácsnak, az Országos Középiskolai Tanáregyesület igazgatóságának, a Középiskolai Tanárképző Intézet igazgatótanácsának és a Matematikai és Fizikai Társulat választmányának. Ezen tisztségeiben sokat tett a fizikaoktatás reformja ügyében. Már 1933-ban címzetes tankerületi főigazgató volt. 1943–1944-ben a felsőház tagja. Elnöke a Vendvidéki Szövetségnek, díszelnöke a Vendvidéki Magyar Közművelődési Egyesületnek.

Mikola Sándor két tanévben (1920–1922) nem tanított, hanem ezekben az években minden idejét a vend néppel kapcsolatos irodalmi tevékenysége kötötte le. 1921-ben már kiadta *Arany János Toldi* című művének vend nyelvű fordítását. *A vend nép múltja* című könyvében viszont összefoglalta a vend nép történelmét. Ezekben az évben ő szerkesztette a vend nyelvű *Domovina* című lapot. 1922-ben átdolgozta és kiadta *Fliszar János Magyar–Vend szótárát*. Tanulmányait hazai és külföldi folyóiratokban, szaklapokban publikálta. Mikola Sándor több nyelven beszélt.

Nagykanizsán halt meg 1945. október 1-jén.

Tanári, majd igazgatói működése mellett rendkívül gazdag volt a szakirodalmi és a tudományos tevékenysége. Sok didaktikai jellegű tanulmányt közölt. 1926-ban írta első tankönyvét: *Fizika a reáliskolák és reálgimnáziumok III. osztálya számára*. Ezt a fizikatankönyvet a reáliskolák tanulói egészen 1945-ig használták. Igen nagy jelentőségű az 1911-ben megjelent könyve: *A physikai alapfogalmak kialakulása*. Ebben a könyvében tárgyalja a végtelen, a tér és idő problémáit, a makro- és mikrovilág fizikáját. 1933-ban jelent meg *A fizika gondolatvilága* című könyve. Aktuális témát dolgozott fel az 1941-ben kiadott *A fizikai megismerés alapjai* című munkájában.

*Rátz László*hoz igen szoros baráti szálak fűzték, ez tudományos munkásságukban is megnyilvánult. 1914-ben társszerzőként jelentették meg *A függvények és az infinitezimális számítások elemei* című könyvet. Mikola Sándor e téren is úttörő munkát végzett. Nagy érdeme, hogy a differenciál- és integrálszámítás tanítását szemléletes alapokra fektette.

Mikola szakterületén a szigetelőanyagok elektromos viselkedésével foglalkozott, s vizsgálódásai során a japán *Eguchi*tól függetlenül kísérletileg előállította és behatóan tanulmányozta az elektrétet, az elektromos töltést igen hosszan megtartó dielektrikumot. Eredményeit 1925-ben a *Zeitschrift für Physik* folyóiratban is közölte.

Igen gazdag Mikola Sándor ismeretterjesztő, tudományt népszerűsítő irodalmi munkássága. 1911-től 1922-ig szerkesztette (*Klupathy Jenő*vel és *Szász Károlly*al) az *Uránia* népszerű tudományos folyóirat természettudományi fejezetét. Ő is több cikket írt a folyóirat számára a fizika legújabb vívmányairól. Az

Keresztúri Ákos: ASZTROBIOLÓGIA

Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 2011, 180 oldal, ára 1600 Ft

Az utóbbi évtizedekben a fizikára – más tudományágakhoz hasonlóan – két, egymással ellentétes folyamat jellemző: a kutatási területek egyre nagyobb fokú specializálódása, beszűkülése (aminek „eredményeként” olykor már két eltérő területen tevékenykedő fizikus sem érti meg egymást, amikor saját kutatásaikról beszélnek), valamint a nyitás más tudományágak felé, a máshol bevált módszerek átvétele, közös kutatások indítása, vagyis a fokozódó interdiszciplinaritás. A már több évtizedes múltú biofizika és a kissé fiatalabb biológiai fizika mellett egy még újabb kapocs alakult ki az élettudományok és a természettudományok között: az *asztrobiológia*.

Az új keletű diszciplína feladata a Földön kívüli élet lehetőségének és feltételeinek kutatása csillagászok, biológusok, geológusok, vegyészek, mérnökök együttműködésével, közös gondolkodásával olyan horderejű kérdésekre keresve a választ, mint van-e élet a Földön kívül, és hogyan alakult ki az élet saját bolygónkon. *Keresztúri Ákos Asztrobiológia* című könyvében e multidiszciplináris kutatási területet ismerteti tudományos alapossággal, de közérthető stílusban.

Az atommagok, elemek és molekulák kialakulásával foglalkozó első fejezetben az Univerzum kémiai fejlődéséről kap képet az olvasó.

Ezután a bolygókeletkezés folyamatát ismerteti a szerző. Az exobolygók felfedezésével a legutóbbi másfél évtizedben került igazán előtérbe az élet lehetősége más égitesteken.

Az eddig talált exobolygók egyike sem hasonlít a Földhöz, ezért a Földön kívüli élet fogalma is tisztázásra szorul. A földi élet is sok fázison ment át, amíg elérte a napjainkra jellemző szintet. Ám vannak a Földön olyan élőlények is, amelyek mintha nem is idevalósiak volnának. A különféle szélsőségeket tűrő, sőt kedvelő élőlények és azok életterének vizsgálata további adalékokat szolgáltat a Földön kívüli élet lehetőségeinek feltárásához.

Űrszondákon elhelyezett műszerek segítségével a Naprendszer jó néhány égitestjéről kiderült, hogy vannak rajtuk olyan helyek, ahol megfelelő körülmények alakultak ki egy alacsonyabb szintű élet számára. A Mars bolygón kívül ilyen égitest az Enceladus és a Titan – a Szaturnusz holdjai –, valamint a Jupiter egyik nagy holdja, az Europa.

Arra vonatkozó elmélet is létezik, hogy valamely égitesten kifejlődött élet hogyan juthat át más égitest(ek)re. Az erről szóló fejezet éppen a *Fizikai Szemle* e havi számában olvasható önálló tanulmányként.

Mindenesetre az élet tartós fennmaradásához rengeteg feltételnek kell egyidejűleg teljesülnie az életet hordozó égitesten, az ahhoz tartozó csillagon és a csillag kozmikus környezetében egyaránt.

Ami ebben az ismertetőben egy bekezdés, azzal a könyv egy teljes fejezeten át foglalkozik. És minden témánál olvashatunk az ahhoz kapcsolódó magyar vonatkozásokról is.

A Magyar Csillagászati Egyesület (www.mcse.hu) által kiadott, gazdagon szemléltetett könyv – 75 ábra és 14 táblázat található benne – hasznos olvasmány lehet a középiskolai tanárok számára, és mindazoknak érdemes belemélyedniük, akik szívesen eligazodnának napjaink csillagászati kutatásainak e fontos részterületén.

Szabados László

AZ ISKOLATEREMTŐ SIMONYI KÁROLY PROFESSZOR

Erdősi Gyula, Kádár Katalin (szerk.), Pontus Kft., Budapest, 2011, 220 oldal

Az *Iskolateremtő* könyvsorozat újabb kötete talán nem véletlenül jelent meg idén tavasszal, *Simonyi Károly* halálától számított tíz évre, amikor számos esemény mutatja, hogy az utókor tud hálás lenni, ha érzi az adósság terhét. A budapesti Műegyetem egyik legszebb és legújabb előadóterme május vége óta Simonyi Károly nevét viseli, és noha nagy befogadóképességű teremről van szó, az avatóünnepségen megjelent közönség alig fért el – ahogy az a Simonyi előadásokon sem volt ritkaság.

A könyvben megszólalókkal is az a helyzet, hogy sokan vannak, több mint hetvenen a kétszáz oldalhoz. A tucatnyi kissé terjedelmesebb írást leszámítva a többi visszaemlékezésre átlagosan két oldal jut. Az *Egyperces* sajátos műfaj, amellyel *Örkény* után is sokan próbálkoztak, kevés sikerrel. Szerencsére a kötetben megszólalók nem itt akartak irodalmi babérhoz jutni, és a személyes emlékek sok írásnak kölcsönöznek fényt, tükrözik azt a kisugárzást, ami az emlékezők mindegyikét megérintette.

Verő József emlékeiből mástól hallott, Simonyira nagyon jellemző mondat került a kötetbe: *Karlovits Jóska emlegette, hogy amikor Simonyi fent kuporgott, azt mondta: „Azt tudtam, hogy a gömbben a feszültségtől nem lesz bajom, de azt nem, hogy elbír-e a torony, milyen porcelánokat rakott be Horváth bácsi.”* (209. oldal)

Jánosi László Gödöllőn, az Agrártudományi Egyetemen hallgatóként találkozott Simonyi előadásával: *…a katedra sarkára állva, a hallgatósággal szemben hangosan gondolkodva beszélt, talán a rúdirányú erőkről. Jobb kezét ökölbe hajlítva, állát támasztva, bal kezével jobbját tartva, kissé előrehajolva állt szikár alakja, és halkan beszélve gondolkodott, hogy mit is érezhet egy rúd, amikor ilyen-olyan terhelés éri. A teremben pisszenés sem hallatszott, együtt gondolkodtunk és bele tudtuk magunkat képzelni a rúd helyébe, hogy vajon mi is történik akkor a rúddal (velünk), ha a terhelés éri.* (87. oldal)

Szlávik Ferenc az ismertebb történetek közül idéz, máig érvényes tanulsággal: *…elkezdte az akkor nálunk az egyetemen szép számmal előforduló kínai diákjai számára kínaiul is tanítani a villamosságtan szakszavait, s egyetemi jegyzetként kisvártatva megjelent az általa készített Magyar–Kínai Elektrotechnikai Szótár. Akkor járta a diákok között a következő, suttogva továbbított hír: „Hallottad? Simonyi professzor úr tanulja a kínai nyelvet. A hideg kiráz, ha arra gondolok, hogy állítólag már 1942-ben oroszul tanult.”* (29. oldal)

Ezekből a villanásokból is összeáll egy Simonyi-kép – hézagosan azoknak, akik ebből a kötetből ismerkednek Simonyi történetével, sokat mondóan azok számára, akik legalább egyetemi hallgatóként találkoztak vele, és legtöbbet az egykori munkatársak, közeli ismerősök tudnak értékelni a tudásközösség emlékeiből. Ez a *tudásközösség* kifejezés a könyvhöz adott CD nyelvi leleménye, amely szerint ide tartoznak a szerzőtársak, a munkatársak, tanítványok, barátok, tisztelők és a pályatársak, akikre munkáiban – gyakran kölcsönösen – hivatkozik.

A CD információ tárolására kiválóan alkalmas, így a könyv szereplői az öt oszlop (pályatársak, szerzőtársak, munkatársak, tanítványok, tisztelők) közül valamelyikben előfordulnak és az életrajzuk is behívható. Ez a rész nagyon sok információt tartalmaz, mégis mintha elsietett lenne – az életrajzok nagyon különböző stílusúak, gyakran változtatás nélkül átemelve a Wikipédiából, az ott szokásos kék és piros címszó-megjelölésekkel, míg másutt különböző célú önéletrajzok kerültek be szerkesztetlenül. Akad itt nekrológ is, amelyben benne maradt a Kosztolányi idézet „kissé módosítva”: *Ismertük Őt; nagy volt és kiváló…*

Az eredetiben: *Ismertük Őt; nem volt nagy és kiváló.*

Mindez sietségre mutat, ahogy az is, hogy nincs rá utalás, hogy az utolsó oszlop, a *tisztelők* nevei vajon milyen algoritmus alapján válogatódtak ki. Még csak az a gyakorlatias szempont sem hozható fel, hogy akiknél elérhetők voltak az életrajzok, mert itt a többségnél életrajzok sincsenek, csak név és születési dátum (vagy az se).

Hiba lenne a CD néhány szerkesztéstechnikai következetlenségénél leragadni, amikor egy sikerült kiadványról van szó. A könyvben a hosszabb írásokból összeállnak a legfontosabb Simonyi-tulajdonságok.

Csurgayné Ildikó írja, hogy *1972-ben kezdődött az a majd húsz esztendő, amikor Simonyi „robotosává” lettem. Napi nyolc órában egy szobában vele. Majd húsz, szép munkával teli év!* (92. oldal) A *Fizika kultúrtörténete* érdekében végzett napi munka epizódjairól szóló leírások teszik nyilvánvalóvá ezeket a mondatokat.

Esti Judit Simonyi szavait idézi a pedagógiáról: *…mi kell a jó pedagógussághoz: hát szeretet, szeretet, szeretet. Mit kell szeretni? Szeretni kell elsősorban a tárgyat. Amibe beletartozik, hogy azt tudni kell, tehát hogy az illető életcélja, élete legyen. Azután szeretni kell a hallgatóságot. A kapcsolatot meg kell találni, ha másképpen nem, a tekinteten keresztül. Rájuk kell nézni, és érezni kell azt, hogy együtt vagyunk. És végül az utolsó: szeretni kell a mesterséget magát. Majdnem azt mondanám egy kis öniróniával, hogy kicsit exhibicionistának kell lenni. Ez is hozzátartozik, a kitárulkozás.* (145. oldal)

Félelmetes az idős Simonyi éles, pontos fogalmazása. *Staar Gyula* idézi 2000 áprilisában az MTA elnökéhez írt leveléből:

Tisztelt Elnök Úr!

Levelét, melyben az Akadémiai Aranyérem odaítéléséről értesít, mély hálával, nagy örömmel, ugyanakkor a szorongásba hajló szomorúsággal olvastam. A hálát és az örömöt nem kell megindokolni, de a szorongás ebben az összefüggésben érthetetlennek, sőt abszurdnak tűnhet. Szeretném ezt megmagyarázni.

Nem vagyok sem álszerény, sem szerény. Mindig kritikusan szemléltem a világot, benne az embereket, de önmagamat is. A kritika nálam nem az elítélést jelenti, hanem a helykijelölést. Másokét és a magamét. Tehát az értékelést. Nem akarom saját értékeimet kicsinyíteni, de ezekért mindig megkaptam a megfelelő elismerést. Azon a területen, amelyen elért eredményekért az Aranyérmet adják, én semmi érdemlegeset nem alkottam. Nem hiszem, hogy a történelem igazolni fogja ezt a döntést. (111. oldal)

A kötet írásai közül a legtöbbet az unokaöcs, *Simonyi Ernő* szövege mond hőséről. Nemcsak azért kiemelkedő ez a fejezet, mert 28 oldalával messze a legterjedelmesebb, mert közeli rokonról lévén szó a legtöbb ismerettel rendelkezhet, hanem mert nagybátyjához hasonlóan tehetsége van az íráshoz, a lényeg megragadásához.

Apám és Kari bácsi rendszeresen hazajártak szülőfalujukba, s mindannyiszor testben-lélekben megerősödve tértek vissza a hétköznapokba. „Otthon” nagyon megbecsülte őket mindenki, nem csak azért, mert vissza-vissza tudtak kapcsolódni a paraszti munkába; arattak, kaszáltak, fuvarozták a lucernát, takarmányt. (72. oldal)

A „hosszú menetelés”, amelynek során apám és Kari bácsi az egyszerűbb közvetlen szülői háttér ellenére az értelmiségi lét kiemelkedő pozícióiba jutottak, egy a maga korában pontosan megfogalmazott nagycsaládi koncepció megvalósítási terve volt: „az egyik fiú legyen ügyvéd, a másik pedig mérnök, és csináljanak céget, irodát a szakmai fejlesztésekhez” … A továbbiak ennek jegyében zajlottak, a két tehetséges Semadam fiú „megfuttatása”, a tanulmányok, a nyelvi képzések, a sajátos személyi adottságok kiaknázása mind-mind a hozzáértő útvonal kijelölésről és a nem kevésbé gondos vezetésről tanúskodnak. … A mama mindehhez még hozzátett egy meghatározó elemet; a Simonyi vezetéknevét adta a két Semadam fiúnak. (75. oldal)

Még valamit jól közvetít ez a visszaemlékezés gyűjtemény – hogy Simonyi mindenek előtt mérnök volt, szakmai-pedagógiai munkássága a mérnökség érdekeit szolgálta. *Vámos Tibor* szép megfogalmazásában: *Ő tanított meg bennünket a matematikai fizikára. Ez a matematika a bonyolult folyamatok modellezésének természetes, képszerűen valós tartalmat sugárzó absztrakciója … Ebben a matematikai fizikában ismertük meg a természettudományos gondolkodás szépségét, lebilincselő tartalmát, ami a tananyag nyűgei fölé emelt bennünket. Esztétikai stílust kaptunk a Maxwell-egyenletek értelmezésében.* (204. oldal)

Füstöss László

Füstöss László: FIZIKA MAGYARORSZÁGON A KÉT VILÁGHÁBORÚ KÖZÖTT

Magyar Tudománytörténeti Intézet Budapest, 2010, 169 oldal

A könyv átfogó ismertetést nyújt a jelentősebb hazai fizikusokról és tevékenységükről, szól emellett az idegenbe szakadt és külföldön működött *Neumann János*ról, *Wigner Jenő*ről és *Gábor Dénes*ről. Röviden, a lényegre törően szól *Barnóthy Jenő, Bay Zoltán, Békésy György, Bródy Imre, Gombás Pál* és *Selényi Pál* nemzetközileg is elismert kiemelkedő alkotókról és főbb eredményekről, valamint *Pogány Béla* tanszékéről. Említ továbbá néhány eredményes alkotót. Az alkalmazott fizika terén szól a Tungsram Kutató Laboratóriumról.

A könyv „főhőse” *Ortvay Rudolf,* akinek ugyan nem volt tudományos alkotása, de kiemelkedő oktató volt. Az ő szerepeltetése rengeteg idézettel (így például Ortvay–Newton), valamint tananyagának részletes leírása aránytalan terjedelemben nem győzött meg arról, hogy ő a korszak legjelentősebb magyar fizikusa. Célszerű lett volna legalább néhány kiemelkedő tanítványáról is szólni *Gombás Pál* mellett, akik nála készítették doktori értekezésüket. Nem tudom, él-e még magyar fizikus, aki Ortvayt hallgatta. Talán néhány 87 év feletti fizikatanár. Én sohasem találkoztam Ortvayval.

Itt említem, hogy Ortvay utódja *Novobátzky Károly* volt, akinek *Marx György*gyel együtt végighallgattam 4 félévben nagyszerű előadásait. Novobátzky alkotó fizikus is volt, a könyv is megemlékezik róla.

Pogány Béla tanszékén dolgozott *Gerő Loránd,* a háború mártírja, aki 1945-ben egy fogolytáborban (malenkij robot) halt meg vérhasban. Ő szerepel a legtöbbet abból a korszakról a Sci Citation Indexben, megalapítása (1946) óta folyamatosan, 1937-es *Phys. Rev.* cikkét még 2011-ben is idézték. Valamely tudományos munka nemzetközi elismerésének egyik paramétere a hivatkozások száma mellett azok kora is, meddig él egy publikáció. *Kovács István* és *Budó Ágoston* akadémikusok nála készítették disszertációjukat. Ma már alig ismerik Gerő Loránd nevét. Bay Zoltán és Gombás Pál a másik két kiemelkedően idézett és nemzetközileg is elismert alkotó.

A Tungsram Kutatóban méltán említi *Winter Ernő*t és *Budincsevics Andor*t, de sajnálatos módon nem szól itt *Szigeti György*ről, akinek energiatakarékos fényforrás (fénycsövek) kutatásai mellett 1939-es USA elektrolumineszcens szabadalma a történelemben az első LED-szabadalom. Ezt jubileumi kiadásában elismerte az IEEE az elektronika történelmi eredményeinek felsorolásában. A könyv 165. oldalon közli Gábor Dénes 1948-ban Bay Zoltánhoz írt levelének képmását, amelyben a Hold-kísérletek mellett Szigeti „galvanolumineszcens” fényforrásához is gratulált. A ma használatos elektrolumineszcencia kifejezést később rendszeresítették.

Igen érdekesen mutatja be a 30-as években a kevés megüresedett tanszék betöltését. Óriási harcok, kilincselés (anglomániásan „lobbizás”), protekcionizmus folyt elnyerésükért. Mindezek ellenére a legkiválóbbak: Bay, Békésy és Gombás nyerték el a kinevezést. Akkor nem volt az MTA tagság követelménye saját tudományos eredmény.

Legyen szabad néhány apró kiegészítést tennem:

– A neutrínókutatásokat hazánkban *Barnóthy* kezdte el híres kozmikus sugárzás vizsgálataival egy szénbányában. Ezt velem közölte egy beszélgetésünkben.

– Békésy a Tungsram Kutatóban szerette volna doktori értekezését elkészíteni, de erre *Pfeiffer Ignác*tól nem kapott engedélyt. A 20-as években hazánkban a Posta Kísérlet Állomás volt állami kutatóintézet. Békésy itt kapott lehetőséget a telefónia témában, amely később a Nobel-díjához vezetett.

– Az alkalmazott fizika terén illendő lett volna *Zipernovszky* és *Kandó Kálmán* megemlítése is, akik a 30-as években még alkottak. Szerzőnek valószínűleg nem volt tudomása *Tihanyi Kálmán* mérnök feltalálóról. A tv első évtizedeiben használatos ikonoszkóp képfelvevő cső az ő találmánya, amit az RCA megvásárolt és *Zvorykin* (a könyvben szerepel) fejlesztett ki. Erre Tihanyinak nem álltak rendelkezésre a feltételek.

Én még élő tanú vagyok, a könyvben szereplő kiváló fizikusokat néhány kivétellel (Békésy, Bródy) személyesen ismertem, és nagyon tisztelem őket, Pogány, Bay, Novobátzky és Barnóthy tanítványa voltam. Szigeti György mesterem volt. Az 1949 évi alakuló ülésen részt vettem, azóta is az ELFT tagja vagyok.

A könyv számos érdekességet ír a hazai fizika akkori történetéről. Érdemes elolvasni.

Gergely György

Sean Carroll: MOST VAGY MINDÖRÖKKÉ – A VÉGSŐ IDŐELMÉLET NYOMÁBAN

Akadémiai Kiadó, Budapest, 2010, 589 oldal

A meglehetősen szépirodalmi csengésű cím ellenére a könyv nem tekinthető valamiféle „könnyű fajsúlyú” népszerűsítő munkának. Sőt… Tulajdonképpen minden állítást, közölt ismeretet és eredményt szakirodalmi hivatkozással támaszt alá. Közel háromszáz lapalji jegyzetet találhatunk a könyvben, amelyek részben magyaráznak, részben utalnak egyes cikkekre, amelyek pontos adatai a könyv végén a több mint háromszáz tételt tartalmazó, névsorba rendezett irodalmi jegyzékben megtalálhatók. A legújabb eredmények bemutatásában egészen 2008-ig elmegy, név szerint említve a legújabb eredményeket elért és ma is ezen a területen dolgozó aktív kutatókat. Nem egy kutatásban maga a szerző is részt vett.

Az előszó szerint a könyv „…az idő természetével, az Univerzum kezdetével és a mindezek alapjául szolgáló fizikai valóság szerkezetével foglalkozik”. Ennek során bemutatja, amit ma a kozmológiáról tudunk, továbbá ezen tudásunk alapjait és a hozzá vezető utat, valamint azokat a kiemelkedő tudósokat, akiknek ebben szerepük volt, így másokkal együtt *Newton*t, *Laplace*-t, *Maxwell*t, *Poincaré*t, *Einstein*t, *Planck*ot, *Hubble*-t, *Penzias*t és *Wilson*t, *Hawking*ot, *Guth*ot.

A kozmosz fejlődésében kiemeli az entrópia központi szerepét. Ezért mindenekelőtt részletesen és többször visszatérve ismerteti *Boltzmann* entrópiára vonatkozó munkáit, majd számos modern eredményt mutat be az Univerzum fejlődése és az entrópia közötti összefüggéssel kapcsolatban. A könyvben sokat foglalkozik az idő irányával, erről írja: „…megtudtuk, milyen szoros szálak kötik a termodinamika második törvényéhez, valamint feltártuk kapcsolatait a kozmológiával és az Univerzum eredetének kérdésével”. Itt az alapvető kérdés: „Miért olyan alacsony a megfigyelhető Univerzumunk entrópiája a korai időszakban?”

A fentiekre vonatkozó részletekre és a velük kapcsolatban fennálló problémákról is kapunk információt: „…meglehetős biztonsággal kijelenthetjük, hogy az entrópia növekszik, ahogy struktúrák alakulhatnak ki, és az Univerzum egyre göröngyösebbé válik, még ha nem rendelkezünk is pontos entrópia-formulával olyan rendszerekre, melyekben lényeges szerepet kap a gravitáció. … Valamikor, valamilyen oknál fogva a Világmindenség entrópiája igen kicsi volt az energiatartalmához képest, s az entrópia azóta állandóan növekszik. … jó okból mélyedünk el ily mértékben a fekete lyukak világában: az idő iránya ugyanis az entrópia növekedéséből származik, ami végeredményben a Nagy Bumm körüli alacsony entrópiájú állapotra vezethető vissza … tudnunk kellene, miként működik az entrópia gravitáció jelenlétében, azonban a megértésben komoly akadályt jelent a kvantumgravitáció hiányos ismerete.”

A szerző hangsúlyozza azt a ma már közismertnek mondható tényt is, hogy „…beköszöntött a precíziós kozmológia kora,[1] és mindent gyökeresen megváltoztatott: váratlan eredmények születtek az Univerzum gyorsuló tágulásától a kozmikus háttérsugárzás korai időszakot felfedő pillanatfelvételéig.”

Végül is a szerző a multiverzum-elmélet mellett teszi le voksát, azonban nem hallgatja el az ezzel kapcsolatos gondokat, illetve a fő problémát: „…büszkén állítjuk, hogy a tudomány művelői vagyunk, miközben az idő Univerzumunkban megjelenő irányát megfigyelhetetlen univerzumok végtelen sokaságával próbáljuk »magyarázni«. … Jóslatunk, mely szerint egy multiverzumban élünk, jelen ismereteink szerint ellenőrizhetetlen.”

A könyv négy fő részre tagozódik. Az elsőben az *idő* különböző jelentéseit mutatja be, továbbá foglalkozik azzal, hogy az idő irányát az entrópia méri, és bemutatja a világegyetem időbeli fejlődését (*Idő, tapasztalás és univerzum*). A második fejezet az időt Einstein speciális és általános relativitáselméletének fényében járja körül részletesen (*Az idő Einstein univerzumában*). A harmadik fejezet először is az idő reverzibilitásával és ezzel kapcsolatban az információ-megőrzés problémájával foglalkozik, majd

[1] A recenzens kiemelése.

visszatér az első fejezetben már szereplő entrópia szerepére az információval kapcsolatban különböző vonatkozásokban, végül a kvantumidő fogalmát elemzi (*Az entrópia és az idő iránya*). Végül az utolsó részben, amelynek nagyon különös a címe – *A konyhától a multiverzumig* – a „mégsem teljesen fekete” fekete lyukakat mutatja be, amelyekben véget ér a idő. Továbbá részletesen tárgyalja az Univerzum fejlődési fázisait a Nagy Bummtól kezdve, bemutatva a multiverzum-hipotézist és azt az elképzelést, hogy „…a tér és idő túlnyúlik az általunk Nagy Bummnak nevezett eseményen”.

A könyvet függelékként egy kis matematikai kiegészítés zárja a hatványokról, a kitevőkről és a logaritmusról, illetve köszönetnyilvánítás, továbbá a már fentebb említett irodalomjegyzék, végül egy részletes név- és tárgymutató.

Befejezésképpen hadd idézzem a könyv utolsó sorait. „…a tudomány hatalmas lépéseket tett a múlttal és a jövővel kapcsolatos ősi kérdéseink megválaszolására. Ideje, hogy megértsük végre hol is a helyünk az örökkévalóságban…” Azt hiszem ez gondolat a szépirodalmi csengésű címhez illő befejezés.

Berényi Dénes

HÍREK – ESEMÉNYEK

HORVÁTH ZALÁN, 1943–2011

Forgács Péter
MTA RMKI
Palla László
ELTE Elméleti Fizikai Tanszék

2011. április 5-én elhunyt *Horváth Zalán* fizikus akadémikus. Halálával a magyar (kvantum)térelméleti és elméleti részecskefizikai kutatások oszlopos tagját, meghatározó személyiségét vesztettük el. Bár a szűkebb hazai és nemzetközi szakmai közvélemény nagyon jól ismeri és nagyra értékeli Horváth Zalán oktatói és kutatói munkásságát, a *Fizikai Szemle* olvasói előtt is szeretnénk minél ismertebbé tenni nevét, ezért a következő néhány oldalon felvázoljuk életútját és röviden áttekintjük tudományos tevékenységének legsikeresebb területeit. Mint ahogy az az alábbiakból kitűnik, Horváth Zalán maradandót alkotott a fizikában, de ez nem csak szűkebb értelemben vett tudományos teljesítményében jelenik meg, hanem tanítványainak, munkatársainak átadott tudásban, a fizika igényes művelése iránti szenvedélyének továbbadásában, s nem utolsósorban magával ragadó emberi és tanári mivoltában is.

Életút

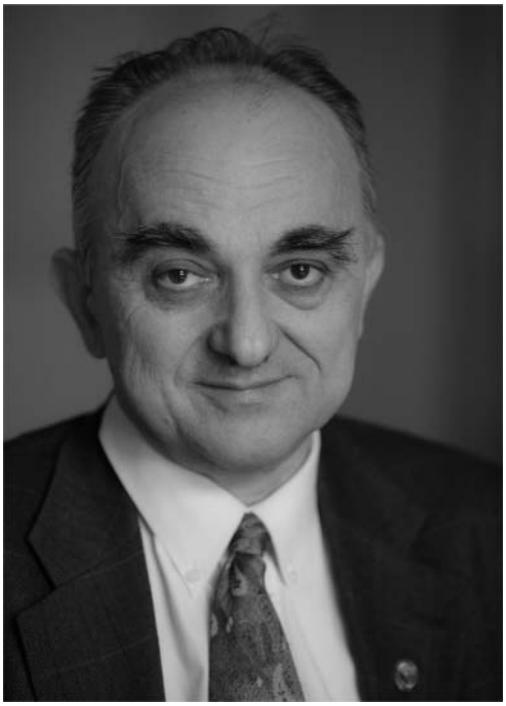
Horváth Zalán 1943-ban született Debrecenben, de iskolás éveit már Pesten töltötte. 1961-ben érettségizett az ország egyik legjobb középiskolájában, a pesti Piarista Gimnáziumban. Ez a végzettség akkoriban nem volt kifejezetten előnyös, így Zalánt kitűnő eredményei ellenére sem vették fel az egyetemre, és egy évig segédlaboránsként dolgozott. 1962-ben került az ELTE fizikus szakára, ahol 1967-ben, *Pócsik György* tanítványaként diplomázott. Ezután két évig a Miskolci Nehézipari Egyetemen dolgozott tanársegédként, majd Pócsik György és *Nagy Károly* támogatásával került az ELTE Elméleti Fizikai Tanszékére: először az Akadémia tanszéki Kutatócsoportjába, majd tanársegédként magára a tanszékre. Ezt követően élete utolsó napjáig a tanszék munkatársaként dolgozott. A hetvenes évek elején, „Visiting Scholar”-ként másfél évet töltött Dublinban, az Institute of Advanced Studies-ban, ahol életre szóló barátságot kötött *Lochlainn O'Raifeartaigh*-vel. Dublinból történt hazatérése után kezdett el foglalkozni az akkoriban újra népszerűvé vált mértékelméletek klasszikus megoldásaival. Ezen a területen hamarosan jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó eredményeket ért el, amelyeket az 1976-ban elnyert Novobátzky-, illetve az 1986-ban (megosztva) elnyert Akadémiai Díjjal ismertek el. Zalán ekkor még adjunktus volt: nem rendelkezett a tudományos, illetve egyetemi ranglétrán történő előrejutáshoz szükséges kandidátusi fokozattal. Emögött az állt, hogy nem akarta magát kitenni a fokozatszerzéshez szükséges ideológia vizsgával az ELTE-n akkoriban együttjáró megaláztatásoknak. Így csak 1991-ben lett (a kandidátusi fokozat kihagyásával) a fizikai tudomány doktora, majd 1992-től egyetemi tanár. 1993–2001 között ő vezette az ELTE Elméleti Fizikai tanszékét; 1995–2001 között pedig (az akkor még Tanszékcsoportnak nevezett) Fizikai Intézetet is. Az ELTE Fizika Doktori Iskolájának alapító tagja, majd 2001–2011 között vezetője volt. Az Akadémia 1998-ban levelező majd 2004-ben rendes tagnak választotta és összességében majdnem kilenc évig vezette elnökként az MTA Fizikai Osztályát. 2005–2011 között ő volt a Magyar CERN Bizottság elnöke, így tudományos ügyekben ő képviselte a magyar részecskefizikát a CERN-ben.

Tudományos tevékenység

Horváth Zalán elsősorban a kvantumtérelméletek nemperturbatív módszerekkel történő megközelítésének problémaköréhez kapcsolódó témákon (ideértve a húrelméletet is) dolgozott, hozott létre maradandót. Horváth Zalán tudományos tevékenységét nem időrendi hanem tematikus sorrendben tekintjük át, mert jó negyven éves munkássága során több területhez is számos alkalommal visszatért.

Térelméletek klasszikus megoldásai és szerepük a kvantumelméletben

Az 1970-es évek eleje az elméleti részecskefizikában a nem Abeli mértékelméletek (NAME) diadalmas visszatérésének ideje volt: a megelőző mintegy tíz év térelmélet-ellenes hangulatát elsöpörte a NAME renormálhatóságának bizonyítása és az a kísérletek által fokozatosan alátámasztott meggyőződés, hogy a részecskefizika igazán működő modelljei NAME-n alapulnak; vagy a spontán sértett (gyenge és elektromágneses kölcsönhatás) vagy a sértetlen (erős kölcsönhatás) változatukat használva.



A NAME kitüntető tulajdonsága, hogy klasszikus változatuk topológiai eredetű, nem Noether-típusú töltés(ekk)el rendelkezik, ez(ek) túléli(k) a kvantálást, és a töltés nem nulla értékével rendelkező állapotok a kvantumelmélet eddig még nem vizsgált szektorait adják. A legalacsonyabb tömegű töltött állapot (klasszikus megoldás) a *Dirac* által korábban tanulmányozott mágneses monopólus (MP) megfelelője, de a Dirac MP-tól eltérően nem pontszerű, hanem kiterjedt részecske, és fizikai tulajdonságait (például tömegét) a modell paraméterei meghatározzák. E monopólusok elméleti kutatásába kapcsolódott be Horváth Zalán. Az általános MP-k szerkezetéről írt két dolgozat után legnagyobb sikerét az úgynevezett BPS-limeszben fellépő tengelyszimmetrikus, sztatikus, tetszőleges számú egymásra szuperponált MP-t leíró[1] megoldás explicit konstrukciójával aratta, amelyeket a szolitonelméletből ismert Bäcklund-transzformáció alkalmas általánosításának iterálásával állított elő [1]. Később az eljárást az ugyancsak a szolitonelméletből ismert inverz szórási módszer segítségével kiterjesztette nem-tengelyszimmetrikus, „széthúzott” (egymástól véges távolságra elhelyezkedő) MP-kra is. Ezekről az eredményekről meghívott előadóként számolt be az 1981-es Trieszti Monopólus Konferencián.

Az elemirész-fizika eddig ismert jelenségeinek összességét nagy pontossággal leíró Standard modelljében az elektrogyenge szektor mértékcsoportja SU(2)×U(1). Ez a csoport az elektromágnességnek megfelelő U(1)-re sérül, viszont ebben az elméletben nincsenek nemtriviális topológikus töltésű szektorok, s ezzel összefüggésben a mágneses monopólusok éppúgy szingulárisak mint a Dirac-monopólusok az elektrodinamikában. *Nicholas Manton* mutatta meg, hogy a Standard modell vákuumszektorának topológiája nemtriviális. Zalán igen egyszerű, de általános meggondolással kimutatta, hogy egy igen nagy, fizikailag fontos elméletosztály nemtriviális topológiájú vákuumszektorral rendelkezik, s arra is rámutatott, hogy ezzel összefüggésben új típusú, bár instabil megoldások – szfaleronok – létezhetnek, s ezekre több fontos példát is konstruált [2]. Ezen szfaleron-megoldások instabilitásuk ellenére nagyon fontos szerepet játszanak, mert barionszámsértő folyamatokat indukálnak.

Zalán a legutóbbi években nemlineáris mezőelméletek térben lokalizált rezgő megoldásaival, oszcillonokkal foglalkozott. Az ilyen típusú objektumok nemlineáris, tömeges skalámező(ke)t tartalmazó elméletekben alakulhatnak ki, s mivel nem rendelkeznek valamilyen megmaradó töltéssel, amellyel nagyfokú stabilitásuk magyarázható lenne, azt várnánk, hogy az oszcillonok energiájukat gyorsan elsugározzák és eltűnnek. A numerikus szimulációk azonban azt mutatják, hogy igen sokszor az oszcillon energiája csak nagyon lassan csökken, és sok esetben ez az energiacsökkenés olyan lassú, hogy az oszcillon periodikusnak tűnik. Ráadásul megfigyelték, hogy sok nemlineáris dinamikájú rendszerben is oszcillon-szerű állapotok alakulnak ki periodikus gerjesztés hatására. Zalán egy nagyon általános módszert dolgozott ki (fiatalabb és idősebb munkatársaival), amely lehetővé teszi az oszcillonok jó közelítéssel történő leírását, és segítségével meghatározható tömegveszteségi rátájuk [3].

Kompaktifikáció

A térelméletben az 1920-es évekre, illetve *Kaluza* és *Klein* (KK) munkásságára visszamenő elképzelés, hogy 4 dimenziós világunk szimmetriáit egy magasabb dimenziós elmélet keretei között magyarázzuk meg. Ilyenkor a fölös dimenziók kicsiny méretű kompakt tartományok, amelyeket csak a 4 dimenzióban tömeges részecskék formájában megjelenő gerjesztéseik révén lehetne közvetlenül detektálni, viszont az addig függetlennek tekintett 4 dimenziós mezők, illetve csatolási állandók között különböző relációk állnak fenn. Természetesen alacsony energián csak azok

[1] Ebben a limeszben a MP-k közötti Coulomb-taszítást a skalárcsere éppen kiejti, így megvalósulhat sztatikus megoldás.

a mezők/részecskék érdekesek, amelyek a KK-mechanizmust nulla tömeggel élik túl.

A 70-es évek közepén, a korai húrelmélet miatt – amelyből természetesen következett a 4-nél magasabb téridő dimenziószám – ezek az elképzelések újra divatba jöttek. 1976-ban *Joël Scherk,* a korai húrelmélet egyik – sajnos fiatalon elhunyt – alapító atyja, Pesten járt és a vele folytatott diszkussziókból kiderült, hogy KK-módon még nem sikerült nulla tömegű fermionokhoz jutni, ami pedig elengedhetetlenül szükséges a sikeres modellépítéshez. Zalán a probléma megoldásaként azt javasolta, hogy az extra dimenziókba tegyünk egy nem triviális topológiájú mértékkonfigurációt (általánosított MP-t), hiszen akkor a nagyon mély tartalmú Atiyah–Singer-indextétel garantálja a nulla tömegű fermiont 4 dimenzióban. Az általános elgondolás mellett példaként az extra két dimenzióba tett Dirac MP esetén expliciten megkonstruált fermion nullamódusokat tartalmazó cikkre [4] mind a mai napig érkeznek a hivatkozások. *E. Witten* vizsgálatai kimutatták, hogy lényegében ez az egyetlen mechanizmus, amelynek révén a KK-modelleken belül 4 dimenzióban királis fermionokat lehet kapni.

Később a kompaktifikáció stabilitásával, illetve a szuperhúrelméletből következő 10 dimenzió nem szimmetrikus coset terekre történő kompaktifikálásával is foglalkozott, valamint megvizsgálta a KK-mechanizmus kozmológiai következményeit is.

Húrelmélet

Az 1980-as évek közepe a húrelmélet másodvirágzásának korszaka volt: kiderült, hogy a szuperhúrelmélet térelméleti limesze csak két speciális belső szimmetriacsoport esetén lehet anomáliamentes,[2] így felcsillant annak lehetősége, hogy az elemi részek fizikáját egy minden kölcsönhatást egyesítő, egyedi, „mindenség elmélete”-húrelméletből vezessük le. Így, a nemzetközi trendet követve, mintegy másfél éves (konform térelméletet és konform áramalgebrákat felölelő) tanulási folyamat után Zalán is (néhány munkatársával együtt) elkezdett húrelmélettel foglalkozni. Természetes módon Zalánt az általunk ismert 4 dimenziós téridőben létező húrelméletek, és azok fizikai következményei érdekelték. Az ismert világot leíró *egyedi* húrelmélet létezésébe vetett kezdeti optimista hitet kicsit aláásta az, amikor kiderült, hogy már 10 dimenzióban sem egyetlen heterotikus húrelmélet létezik, hanem 8 alapmodell, és 4 dimenzióban a lehetséges modellek száma is egyre nőni látszott.

Zalán húrelméletről írt dolgozatait két-három csoportra lehet osztani. Az egyik csoportba tartoznak azok a cikkek, amelyekben a húrelmélet extra dimenzióitól a húr (és nem a térelmélet) szintjén szabadul meg úgy, hogy téridő-koordináták helyett alkalmas tulajdonságokkal rendelkező (szuper) konform térelméleteket használ. Ebbe a csoportba tartozik a 8 dimenziós királis heterotikus húrelméletek önduális Euklideszi rácsokon alapuló teljes osztályozásáról szóló dolgozata, és 4 dimenziós királis heterotikus húrelméletek konstruálása [5], amelyből kitűnik, hogy a várt csillagászati számú lehetséges modell (a becsült felső korlát 10^{1500}(!) volt) helyett jóval kevesebb, mintegy 10^6, 4 dimenzióban konzisztens húrelmélet létezik.

Nagyon absztraktul nézve a húrelmélet nem más, mint számos kényszernek alávetett 2D konform térelmélet. Ez a nézőpont érvényesül az indukált (azaz az anyagterek kiintegrálása után kapott effektív) 2D gravitáció fizikai állapotait vizsgáló dolgozatban is, amelyben az irodalom ünnepelt KPZ-egyenletének egy új értelmezését is megadja [6].

Zalán számos dolgozatban vizsgálta a speciális (úgynevezett „plane fronted”) gravitációs hullám háttéren propagáló húr konstrukcióját, illetve tulajdonságait. A húrelmélet érdekes – és a gravitációhoz való különleges viszonyát hangsúlyozó – tulajdonsága, hogy konzisztenciája (a világsík Weyl-invarianciája) megköveteli, hogy a beágyazó téridő az Einstein-egyenletek megoldása legyen. A lapos Minkowski-téridő mellett nem könnyű olyan görbült beágyazó tereket találni, amelyeken még a húrelméletet is meg tudjuk oldani; az előbb említett gravitációs hullámok éppen ilyenek. E dolgozatokban Zalán főleg két dolgot vizsgált: egyrészt azt kereste, hogy amelyek azok a tulajdonságok, amelyek csak a Minkowski-térbeli húrokra igazak, de a görbült téren propagálókra nem, másrészt – ahol lehetőség nyílt rá – összehasonlítást keresett e húrok kovariáns és fénykúp kvantálása között [7].

Dualitás

Az elméleti fizikában dualitáson nagyon laza értelemben ugyanazon fizikai rendszer különböző módon történő leírását értjük. Gyakran fordul elő, hogy az egyik leírás a fizikai szabadsági fokok gyenge, míg a másik az erős kölcsönhatása esetén alkalmazható, s ez felbecsülhetetlenül hasznos lehet erősen kölcsönható rendszerek esetén. A húrelméletekben többféle olyan dualitási transzformációt is fölfedeztek, amelyek különbözőnek látszó elméleteket egymásba képeznek. Az egyik talán legfontosabb, a T-dualitás volt, amelyről hamar kiderült, hogy a klasszikus elméletben tulajdonképpen kanonikus transzformáció. Bár ismert tény, hogy klasszikusan kanonikusan ekvivalens modellek kvantumosan már lényegesen különbözhetnek, a korabeli irodalomban mindenki készpénznek vette, hogy a húrelmélet konform invarianciája miatt a T-dualitás kvantumosan is fennáll. Zalán munkatársaival együtt megmutatta, hogy a 4 dimenziós téridőbeli húrok effektív mezőinek kölcsönhatását leíró σ-modellekben renormálási effektusok miatt ez általában nem így van, de mindig elérhető a T-dualitási transzformációval összekapcsolható elméletek kvantumos ekvivalenciája [8].

[2] Ez a feltétel a kvantált elmélet legfinomabb ellentmondásmentességét garantálja.

Szilárdtestfizikai alkalmazások

Zalán tudományos munkásságának érdekes és egyéni részét alkotja az a számos dolgozat, amelyben különböző térelméleti fogalmakat és módszereket alkalmaz szilárdtestfizikai problémák megoldására. Ezek közül kiemelkednek a szilárd testekben mozgó Bloch-elektronok szemiklasszikus viselkedését módosító Berry-fázis[3] hatásának leírására vonatkozó vizsgálatok [9], valamint a polarizált fény terjedését, illetve az optikai Hall-effektust leíró eredmények [10]. Az első esetben a szemiklasszikus dinamikát az egzotikus Galilei-dinamikára kidolgozott módszerrel írja le és megmutatja, hogy ez valójában egy Hamiltoni rendszer. A második esetben pedig megmutatja, hogy a polarizált fény trajektóriájának a geometriai optikaitól való eltérése az általános relativitáselmélet szerint mozgó spines részecske geodetikus pályától való eltérésének analogonja.

[3] E tagok lényeges szerepet játszanak a ferromágneses anyagok anomális Hall-effektusa, valamint a spin Hall-effektus leírásában.

Irodalom

1. P. Forgács, Z. Horváth, L. Palla: *Phys. Lett. B99* (1981) 232, *Phys. Lett. B102* (1981) 131, *Ann. of Phys. 136* (1981) 371, *Phys. Lett. B109* (1982) 200.
2. P. Forgács, Z. Horváth: *Phys. Lett. 138B* (1984), 397.
3. G. Fodor, P. Forgács, Z. Horváth, Á. Lukács: *Phys. Rev. D78* (2008), 025003.
   G. Fodor, P. Forgács, Z. Horváth, M. Mezei: *Phys. Rev. D79* (2009), 065002, *Phys. Lett. B674* (2009), 319.
4. Z. Horváth, L. Palla, E. Cremmer, J. Scherk: *Nucl. Phys. B127* (1977) 57.
5. J. Balog, P. Forgács, Z. Horváth, P. Vecsernyés: *Nucl. Phys. B334* (1990) 431, *Phys. Lett. B197* (1987), 395.
6. Z. Horváth, L. Palla, P. Vecsernyés: *Int. J. of Mod. Phys. A4* (1989) 5261.
7. P. Forgács, Z. Horváth, P. A. Horváthy, L. Palla: *Heavy Ion Phys. 1* (1995) 65.
   C. Duval, Z. Horváth, P. A. Horváthy: *Phys. Lett. B313* (1993) 10.
8. J. Balog, P. Forgács, Z. Horváth, L. Palla: *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 49* (1996), 16, *Phys. Lett. B388* (1996), 121.
9. C. Duval, Z. Horváth, P. A. Horváthy, L. Martina, P. Stichel: *Mod. Phys. Lett. B20* (2006) 373, *Phys. Rev. Lett. 96* (2006) 099701.
10. C. Duval, Z. Horváth, P. A. Horváthy: *Phys. Rev. D74* (2006) 021701, *J. Geom. Phys. 57* (2007) 925–941.

ZALÁN RÓZSÁJA

Horváthy Péter
Tours-i Egyetem, Franciaország
Kínai Tudományos Akadémia Lanzhou, Kína

Bombaként csapott be a hír a dublini Workshop résztvevői közé 80 szeptemberében: két kutatócsoport is megoldotta, egyszerre, függetlenül, és különböző módon, a dupla töltésű monopólus-konstrukció 6 éve nyitott problémáját! Kettős sikerként könyvelték el Dublinban ezt a – matematikai-elméleti fizika berkeiben „világcsúcsnak” számító – eredményt: hiszen nem csak a „Sir Michael”, (azaz a Fields-medál-nyertes *Michael Atiyah*) oxfordi iskolájából jött *Richard Ward* volt akkor „nálunk” a Trinity College-ban, de *Zalán,* az ELTE *Forgács–Palla–Horváth* triászának legidősebb tagja, maga is dublini *scholar* volt pár éve![1]

– „Persze, ismerem, de nem, még névrokonok se vagyunk” – magyarázgattam büszkén a magyar nyelv finomságait – miközben igencsak sajnáltam azt a köztünk levő ipszilonnyi különbséget. Valójában alig ismertük egymást: mert mi kapcsolata van egy matekszakos hallgatónak egy fizikus adjunktussal? Mi a Múzeum körúton, ők a Puskin utcában…

1981 decemberében, a trieszti Monopólus Konferencián kerültünk aztán közelebbi kapcsolatba. *Dirac*ot, aki ötven évvel korábban ezt a rejtélyes és soselátott objektumot bevezette a fizikába, hiába hívták a szervezők: 80 évesen és télvíz idején, nem volt bátorsága nekivágni Floridából a nagy útnak. De sokan mások – a Nobel-díjas *Chen-Ning Yang,* a nagy cambridge-iek: *Peter Goddard, David Olive, Nick Manton, Ed Corrigan* Durhamból és persze Richard, Werner, Zalánék – Forgács Péter és Palla Laci mellett *Balog Jancsi, Gnädig Péter* és talán *Patkós Bandi* is – eljöttek, hogy a nagy elméleti áttörés legújabb fejleményeiről értesüljenek. Mert hetente-kéthetente jött ki akkor egy-egy újabb cikk a témáról: Szeparált megoldások! Magasabb töltésű monopólusok! Általános mértékcsoportok! Tartott még az izgalom. – „128 fizikus és *egy matematikus!*” – korrigálta Atiyah *Abdus Salam*ot, mikor az International Center of Theoretical Physics Nobel-díjas igazgatója a „129 összegyűlt fizikust” üdvözölte. A pesti csoport munkáját Zalán ismertette, érezhető és érthető lámpalázzal, egyórás, plenáris előadásban.

A nap előadói Salam asztalához voltak hivatalosak.

– „Érdekes geometriai interpretációt talált a doktoranduszom a tört töltésű önduális megoldásotokra!” – invitált Atiyah este egy pizzériába. S bevallom: bármily nagyszerű is volt a rövidesen, 26 évesen, oxfordi professzorrá előlépő *Donaldson* gondolatmenete, bizony korgó gyomorral és bánatosan pislogtam, látva, hogy hűl ki a frissen sült, sistergő pizza, amelyet Sir Michael, a konstrukció magyarázatának hevében, egyszerűen félrelökött!

Hazafelé menet – sokat kellett várni a kései buszra – *Nick Manton* monopólszórási elképzeléseit fejtegette Atiyah.

Ezután, az Óhazában járva, nem kerültem többé el a Puskin utca első emeletét: jó barátok és jó fizikusok vártak ott, akikkel jó volt megbeszélni, ki mit csinált időközben. Zalán meghallgatott és irodalmat adott. Közvetített, adta-vette az információt. Bíztatott és tanácsolt.

Vidám volt a Tudomány a Puskin utcában, s remegtek az ablakok, sőt talán még az öles falak is, ha Zalán elmosolyodott! Úgy éreztem magam náluk, mint aki hazaérkezett!

[1] Röviddel később egy harmadik közelítés is sikerrel járt. Szerzője, *Werner Nahm* ma a Dublini Insitute of Advanced Studies igazgatója.

Horváthy Péter, Horváth Zalán és a rózsa.

Fehér Laci Szegeden volt doktorandusz, de ő is felfeljárt Pestre konzultálni, megtudni, mik az aktuálisan legizgalmasabb problémák. 86 nyara különösen emlékezetes volt a számunkra. Augusztus elején, Zalánnal szinte egyidőben értünk Pestre. – „Manton a monopólszórás szimmetriáiról beszélt Durhamban, a konferencián. Elkértem tőle a preprintet, vidd le a Lacinak holnap Szegedre, ha mész! Érdekelni fogja!”

Levittem, és összeültünk: de jó lenne megérteni!

Két hét múlva, nyaralás közben, távirattal kopogott a postás: – „Kijött az első formula. Laci.”

Szeptemberben Siófokon rendezett konferenciát Zalán, Palla Laci és Patkós Bandi egy SZOT-üdülőben, amelyre Manton is eljött Cambridge-ből. – „És vajon mi ennek a magyarázata?” – zárta Nick az előadását. És akkor jött Fehér Laci, a következő előadó – és bemutatta a megoldást!

Este, miközben *Perjés Zoli* fürödni ment a sötét Balatonba, Palla Laci és Zalán az egyik előadás transzparenciáját másolta kézzel (mert hol volt akkor xerox?). Mi pedig első *Physics Letters* cikkünket fogalmaztuk Fehér Lacival!

90 felé változott a helyzet, s már nem kellett többé marxizmus vizsgát tenni a tudományos fokozat megszerzéséhez; Zalán is, Palla Laci is egyetemi tanárok lettek. A lépcsőházban még a Szovjet–Magyar Baráti Társaság táblája lógott, de ezután már Eötvös Loránd irodájában, a Báró portréja és Heisenberg kézírásos táblacsonkja alatt ülve beszélgettünk. (Az oda vezető lépcső kényelmességét Eötvös lovaglás-szeretetének tulajdonítja a fáma.) Nem sokkal később Zalán tanszékvezető, majd akadémikus lett, s egyre több adminisztráció szakadt a nyakába. De a fizikus *gondolkodni is* akar, s a kilencvenes évek derekától Zalán szívesen menekült ki hozzám, hogy nyugodtan töprenghessünk ezen-azon. – „Akarsz egy *Phys. Rev. Letters*t írni velem?” – jött az üzenet. Mint egy kamasz, ha kiszabadul a felügyelet alól: végre szabadon *kidolgozhatja* magát!

A 90-es évek végén kertes házba költöztünk, a Cher folyó partjára. Egyik vasárnap Zalán egy rózsatővel a kezében érkezett ebédre. S a 60 éves akadémikus nem restellt ásót fogni, majd lehajolni és kézzel egyengetni el a földet – pont olyan műgonddal és precizitással, mint mikor „kicsetert” egy bonyolultabb formulát. *Mutatta* a példát, nem csak dirigált.

2006 májusában Balog Jancsi és Fehér Laci volt dublini főnökünk, *O'Raifeartaigh* emlékére rendeztek konferenciát a KFKI-ban. Zalán jóvoltából – a tanszékvezetést akkor már Palla Laci vette át – az Akadémián volt a bankett. Akkor találkoztunk utoljára.

Utolsó, optikai Hall-effektussal kapcsolatos cikkünk miatt készültem írni neki, amikor utolért Fehér Laci fájdalmas üzenete.

Az évek során Zalán rózsája nagyra nőtt, kiterebélyesedett a kertemben. Virágba szökkenve hirdeti a Halhatatlanságot, Zalán emlékét – akárcsak a tanítványok, kollégák, barátok lelkébe csöpögtetett tudásszomj és szeretet!

PÁLFFY GYÖRGYNÉ, 1921–2011

Fájdalommal tudatjuk, hogy 91 éves korában, 2011. május 23-án elhunyt *Pálffy Györgyné Simon Vera,* nyugalmazott főiskolai tanár, a Pécsi Pedagógiai Főiskola Fizika Tanszékének, és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Baranya megyei Csoportjának egyik alapító tagja.

Pálffy Györgyné az 1948-ban alapított Pécsi Pedagógiai Főiskola első tanárainak egyike. 42 éven át dolgozott a Fizika Tanszéken, elsősorban a hőtant és a fénytant oktatta. Fizikatanárok százait tanította, nevelte, vizsgáztatta és bocsátotta a pedagógus pályára. Tanítványai között vannak azok is, akikkel sok éven át együtt dolgozott a Fizika Tanszéken, ahol tapasztalhatták példamutató életszemléletét, a munka és a becsület tiszteletét.

Pálffy Györgyné főiskolai oktató-nevelő munkája mellett nagy gondot fordított az általános iskolások természetismereti képzésére is. Országos hírnévre tett szert a 70-es évek elején *Marx György* akadémikussal végzett kutatómunkája, amelyben a természettudomány alapjainak az alsó tagozatban való tanítását vizsgálta. Kutatásainak eredményeit a *Fizikai Szemle* című folyóiratban foglalta össze. Kísérletét az 1978-as tantervi reform előkészítőjeként tartják számon, kutatása eredményei jelentős részben beépültek az 1978-ban megreformált környezetismeret tantárgy tantervébe.

Közéleti, társadalmi tevékenysége is jelentős. *Jeges Károly* tanszékvezető főiskolai tanárral együtt 1951-ben alakították meg az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Baranya Megyei Csoportját, amelynek 22 éven át volt a titkára. Sok pécsi fizikusrendezvény lebonyolításában vett részt (fizikus vándorgyűlés, fizikai eszközkiállítás, II. Sugárvédelmi Szimpózium, fizikatanári ankétok). Hosszú éveken át tevékenykedett a Baranya megyei Tudományos Ismeretterjesztő Társulatban is. Többször járt Japánban, ahol kitüntetett figyelemmel fordult az oktatás rendszere, körülményei, feltételei, színvonala felé. Benyomásairól, élményeiről, tapasztalatairól tanári körökben számos sikeres előadáson számolt be.

Kiemelkedő oktató-nevelő és kutató munkáját, közéleti tevékenységét több díjjal ismerték el. Ezek közül néhány: *Megyei MTESZ-díj, Eötvös Emlékérem, Grastyán-díj*.

Pálffy Vera (sokunk Vera nénije), mint az ELFT Baranya megyei Csoportjának alapítója és lelkes tagja fáradhatatlanul munkálkodott a társulati élet szervezésében, a fizika népszerűsítésében. Mindig számíthattunk lelkes, odaadó munkájára, bölcs tanácsaira.

Hisszük, hogy elhunyt tagtársunk – a fizikus társadalom, a fizika tanítása érdekében végzett – sok-sok fáradozása nem volt hiábavaló. Töretlen lelkesedését igyekszünk továbbvinni.

Pálffy Györgyné tagtársunk emlékét kegyelettel megőrizzük!

ELFT Baranya megyei Csoport vezetősége
és tagsága nevében *Szűcs József* elnök

A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Közhasznúsági jelentése a 2010. évről

A Fővárosi Bíróság 1999. április hó 26-án kelt 13. Pk. 60451/1989/13. sz. végzésével a 396. sorszám alatt nyilvántartásba vett Eötvös Loránd Fizikai Társulatot közhasznú szervezetnek minősítette. Ennek megfelelően a Társulatnak beszámolási kötelezettsége teljesítése során a közhasznú szervezetekről szóló (módosított) 1997. évi CLVI. törvény, a számvitelről szóló 2000. évi C. törvény, valamint a számviteli beszámolással kapcsolatban a számviteli törvény szerinti egyéb szervezetek éves beszámoló készítésének és könyvvezetési kötelezettségének sajátosságairól szóló 224/2000 (XII.19) Korm. sz. rendeletben foglaltak szerint kell eljárnia. A jelen közhasznúsági jelentés az említett jogszabályok előírásainak figyelembe vételével készült.

I. rész – Gazdálkodási és számviteli beszámoló

Mérleg és eredmény-kimutatás

A Társulat 2010. évi gazdálkodásáról számot adó mérleget a jelen közhasznúsági jelentés *1. sz. melléklete* tartalmazza. A *2. sz. mellékletként* csatolt eredmény-kimutatás szerint jelentkezett 227 eFt tárgyévi eredmény a mérlegben tőkeváltozásként kerül átvezetésre.

Költségvetési támogatás és felhasználása

Az állami költségvetésből származó, közvetlen támogatást a Társulat 2010-ben nem kapott, a pályázati úton elnyert támogatásokat a 2. sz. mellékletben foglalt eredmény-kimutatás tartalmazza. A 2009. évi személyi jövedelemadó 1%-ának a Társulat céljaira történt felajánlásából a tárgyévben 959 eFt bevétele származott. Ezt az összeget a Társulat a *Fizikai Szemle* nyomdai költségeinek részleges fedezeteként, valamint a társulat által szervezett tehetséggondozó versenyek támogatására használta fel.

Kimutatás a vagyon felhasználásáról

E kimutatás elkészítéséhez tartalmi előírások nem állnak rendelkezésre, így a Társulat vagyonának felhasználását illetően csak a mérleg forrásoldalának elemzésére szorítkozhatunk. A Társulat vagyonát tőkéje testesíti meg, amely a tárgyév eredményének figyelembe vételével 227 eFt értékben növekedett Így az 1989. évi állapotot tükröző induló tőkéhez (7 581 eFt) képest a tárgyév mérlegében mutatkozó, halmozott induló tőkeváltozás (−4 709eFt) ezzel az értékkel növekedett, értéke tehát jelenleg −4 482 eFt. Így a Társulat saját tőkéjének jelenlegi, a mérleg szerint és a tárgyév eredményének figyelembevételével számított értéke 3 099 eFt, szemben a tárgyévet megelőző, 2009. évre vonatkozó, hasonlóképpen számított 2 873 eFt tőkeértékkel.

Cél szerinti juttatások

A Társulat valamennyi tagja – a fennálló tagsági viszony alapján – a tagok számára természetben nyújtott, cél szerinti juttatásként kapta meg a Társulat hivatalos folyóirata, a *Fizikai Szemle* 2010-ben megjelentetett évfolyamának számait.

A Társulat a Borsod-Abaúj-Zemplén megyei Önkormányzatnak az árvízkárosultak megsegítésére 300 eFt támogatást nyújtott.

Kiemelt támogatások

A Társulat 2010-ben cél szerinti, a Khtv. 26. §. c.) pontjának hatálya alá eső feladatainak megoldásához az alábbi támogatásokban részesült (a vonatkozó rendeletben megadott forrásokra szorítkozva, ezer Ft-ban):

- Központi költségvetési szervtől 0 eFt
- Elkülönített állami pénzalapoktól 0 eFt
- Helyi önkormányzatoktól 150 eFt
- Kisebbségi területi önkormányzatoktól 0 eFt
- Települési önkormányzatok társulásától 0 eFt
- Egészségbiztosítási önkormányzattól 0 eFt
- Egyéb közcélú felajánlásból 0 eFt

A fenti összesítés magában foglalja a megadott forráshelyek alsóbb szervei által nyújtott támogatásokat is.

Vezető tisztségviselőknek nyújtott juttatások

A Társulat vezető tisztségviselői ezen a címen 2010-ben semmilyen külön juttatásban nem részesültek. A tisztségviselők a Társulat tagjaiként, a Társulat valamennyi tagjának a tagsági viszony alapján járó cél szerinti juttatásként kapták meg a *Fizikai Szemle* 2010. évi évfolyamának számait.

II. rész – Tartalmi beszámoló a közhasznú tevékenységről

A közhasznú szervezetként való elismerésről szóló, a jelentés bevezetésében idézett bírósági végzés indoklásában foglaltak szerint a Társulat cél szerinti tevékenysége keretében a Khtv. 26.§. c) pontjában felsoroltak közül az alábbi közhasznú tevékenységeket végzi:

(3) tudományos tevékenység, kutatás;
(4) nevelés és oktatás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés;
(5) kulturális tevékenység;
(6) kulturális örökség megóvása;
(9) környezetvédelem;
(19) az euroatlanti integráció elősegítése.

1. sz. melléklet

A 2010. év mérlege

Megnevezés	Előző év (eFt)	Tárgyév (eFt)
A. Befektetett eszközök	997	548
B. Forgóeszközök	5242	6568
Követelések	1409	1379
Pénzeszközök	3833	5189
C. Aktív időbeli elhatárolások	10464	607
Eszközök (aktívák) összesen	16703	7723
D. Saját tőke	2873	3099
Induló tőke	7581	7581
Tőkeváltozás	−2341	−4709
Tárgyévi eredmény	−2367	227
F. Kötelezettségek	13618	3953
G. Passzív időbeli elhatárolások	212	671
Források (passzívák) összesen	16703	7723

A tudományos tevékenység és kutatás területén a tudományos eredmények közzétételének, azok megvitatásának színteret adó tudományos konferenciák, iskolák, előadóülések, valamint más tudományos rendezvények szervezését és lebonyolítását emeljük ki.

A hazai és nemzetközi részvétellel megtartott és a Társulat, illetve szakcsoportjai által rendezett tudományos, szakmai továbbképzési célú és egyéb rendezvények közül meg kívánjuk említeni az alábbiakat:

- *Szkeptikus konferencia,* Budapest, 2010. február 27.
- a Statisztikus Fizikai Szakcsoport *Statisztikus fizikai nap* című rendezvénye, Budapest, 2010. március 22.
- a Sugárvédelmi Szakcsoport *35. Sugárvédelmi továbbképző tanfolyama,* Hajdúszoboszló, 2010. április 27–29.
- a Részecskefizikai Szakcsoport *elméleti fizikai iskolája,* Budapest, 2010.
- az Ortvay Kollégium keretében rendezett *Marx György Emlékülés,* Budapest, 2010. május 27.
- *Öveges József Verseny döntője,* Győr, 2010. május 28–30.
- *CERN Kutatói utánpótlás és tehetségnevelés, Tanártovábbképzés,* 2010. augusztus 14–22.
- *Fizikus Vándorgyűlés,* Pécs, 2010. augusztus 24–27.
- *Elméleti Fizikai Iskola,* Tihany, 2010. augusztus 30. – szeptember 3.
- *Science on Stage, Nemzeti Válogató Verseny,* Budapest, 2010. október 2.

2. sz. melléklet

Eredménykimutatás a 2010. évről

Megnevezés	Előző év (eFt)	Tárgyév (eFt)
A. Összes közhasznú tevékenység bevétele	54470	46652
Közh. célú műk.-re kapott támogatás	6189	8141
Központi költségvetéstől	0	0
Helyi önkormányzattól	140	150
Egyéb	6049	7991
ebből SzJA 1%	1089	959
Pályázati úton elnyert támogatás	17618	6150
Közh. tevékenységből származó bevétel	20120	24275
Tagdíjból származó bevétel	10360	7895
Egyéb bevétel	183	191
B. Vállalkozási tevékenység bevétele	0	0
C. Összes bevétel	54470	46652
D. Közhasznú tevékenység ráfordításai	56837	46425
Anyagjellegű ráfordítások	40827	27123
Személyi jellegű ráfordítások	14032	13856
Értékcsökkenési leírás	703	409
Egyéb ráfordítások	1275	4956
E. Vállalkozási tevékenység ráfordításai	0	0
F.Összes ráfordítás (D+E)	56837	46425
G. Adózás előtti eredménye (B−E)	0	0
I. Tárgyévi vállalkozási eredmény (G−H)	0	0
J. Tárgyévi közhasznú eredmény (A−D)	−2367	227

• *Eötvös Fizikaverseny* (több helyszínen), 2010. október 15.

• *Fórum a felsőoktatási törvény változásairól,* Budapest, 2010. december 17.

A Társulat elnöksége – a rendszeresen megtartott elnökségi ülésekhez csatlakozóan – nyilvános klubdélutánt szervezett.

A Társulat szakcsoportjainak egyéb tevékenységét érintve ki kell emelnünk a Részecskefizikai, a Termodinamikai, valamint a Vákuumfizikai Szakcsoport szemináriumszervező munkáját. E rendszeresen tartott szemináriumok, előadóülések a szakmai közélet értékes fórumai.

A Társulat szakcsoportjai és területi csoportjai a külön említetteken kívül – önállóan, vagy a fizika területén működő kutatóhelyekkel közösen, egyedi jelleggel vagy rendszeres időközönként – számos alkalommal rendeztek szakmai jellegű összejöveteleket, előadóüléseket, tudományos és ismeretterjesztő előadásokat, szervezték tagjaik részvételét külföldi szakmai konferenciákon.

A nevelés és oktatás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés és a kulturális tevékenység területein végzett szerteágazó munka zöme a Társulat oktatási szakcsoportjai, valamint területi csoportjai szervezésében folyt. A fizikatanári közösség számára módszertani segítséget, a tapasztalatcsere és szakmai továbbképzés lehetőségét kínálták a két oktatási szakcsoport által 2010-ban is megrendezett, elismert továbbképzésként akkreditált fizikatanári ankétok, így

• az *53. Középiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató,* Miskolc, 2010. június 26–29.

• a *34. Általános Iskolai Fizikatanári Ankét és Eszközkiállítás,* Eger, 2010. június 29. – július 1.

A Társulat szervezésében fizikatanárok 45 fős csoportja vett részt 2010. augusztus 14–22. között a CERN-ben magyar nyelven megtartott szakmai továbbképzésen.

A Társulat Sugárvédelmi Szakcsoportja 2010-ben megszerkesztette és elkészítette, és az Eötvös Kiadó kiadta a *Sugárvédelem* című tankönyvet.

A Társulatnak a képességfejlesztés szolgálatában álló versenyszervező tevékenysége az általános iskolai korosztálytól kezdve az egyetemi oktatásban résztvevőkig terjedően kínál felmérési lehetőséget a fizika iránt fokozott érdeklődést mutató diákok, hallgatók számára. A területi szervezetek többsége szervez helyi, megyei, adott esetben több megyére is kiterjedő vagy akár országos részvételű fizikaversenyeket. Ezek részletes felsorolása helyett csak meg kívánjuk említeni, hogy a 2010-ben szervezett és lebonyolított, adott esetben több száz főt is megmozgató versenyek száma változatlanul meghaladja a húszat. Ezek között számos olyan is szerepel, amelyek hosszabb idő óta évente rendszeresen kerülnek megrendezésre.

A Társulat 2010-ben is megrendezte hagyományos, országos jellegű fizikaversenyeit (Eötvös-verseny, Ortvay-verseny, Mikola-verseny, Öveges-verseny, Szilárd Leó Fizikaverseny). A korábbi évekhez hasonlóan 2010-ben is a Társulat szervezte meg a résztvevők kiválasztását és a magyar csapat felkészítését az évenkénti fizikai diákolimpiára.

A Társulat Elnöksége és oktatási szakcsoportjai a beszámolási időszakban kiemelt feladatuknak tekintették a fizika – és általában a természettudományok – közoktatásban betöltött szerepével való foglalkozást. Véleményezték az OKNT e tárgyban készített javaslatait, és maguk is megfelelően kiérlelt javaslatokkal fordultak az Oktatási, illetve a Nemzeti Erőforrás Minisztériumhoz.

A területi csoportok ismeretterjesztő rendezvényei közül kiemelendőnek tartjuk

• a Baranya megyei csoport *Kis esti fizika* című, hagyományos előadássorozatát;

• a Fejér megyei csoport ismeretterjesztő előadásait;

• a Hajdú-Bihar megyei csoport által 32. alkalommal megrendezett debreceni *Fizikusnapok*at;

• a Békés megyei csoport *Játsszunk fizikát!* című interaktív kiállítását;

• a Csongrád megyei csoport ismeretterjesztő rendezvényeit.

A továbbképzésben, szakmai ismeretterjesztésben és az információszolgáltatásban betöltött szerepe mellett a tehetséggondozás feladatait is szolgálja a Társulat folyóirat-kiadási tevékenysége. A Társulat 2010-ben kiadta a Társulat havonta megjelenő hivatalos folyóirata, a *Fizikai Szemle* 60. évfolyamának számait. A Társulat tagjainak tagsági jogon járó *Fizikai Szemle* megtartotta elismert szakmai színvonalát, változatlanul a magyarul beszélő fizikustársadalom egyik igen jelentős összefogó erejének tekinthető. A *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* kiadását 2007. január 1-jétől a MATFUND Alapítvány vette át, de a laptulajdonosok egyikeként a Társulat továbbra is közreműködik a lap megjelentetésében.

Az euroatlanti integráció elősegítése szolgálatában állt a Társulat nemzetközi tevékenysége, amellyel a hazai fizika nemzetközi integrálódásának folyamatát kívántuk erősíteni. Az Európai Fizikai Társulat (EPS) alapító tagegyesületeként a Társulat választott képviselői útján is tevékeny részt vett az EPS munkájában.

Kulturális örökség megóvása: Eötvös Loránd emléktábla és síremlék koszorúzása.

A kutatás területén elért eredmények elismerésére a Társulat 2010-ben is odaítélte tudományos díjait, amelyek közül a Bozóky László-díj (*Andrási Andor*), a Jánossy Lajos-díj (*Juhász Róbert*), a Novobátzky Károly-díj (*Lévay Péter*), a Selényi Pál-díj (*Biri Sándor*), a Szalay Sándor-díj (*Gál János*) és a Szigeti György-díj (*Osvay Margit*) került kiadásra.

A Társulat Küldöttközgyűlése a 2010. évi Prométeusz-érmet *Vida József*nek, a Társulat érmét *Patkós András*nak ítélte oda. A Társulat Eötvös-plakettjét 2010-ben *Blészer János* kapta.

Az általános és középiskolai tanároknak adományozható Mikola Sándor-díjat 2010-ben *Honyek Gyula* és *Kleizerné Kocsis Mária* kapta.

Ericsson-díjat kaptak 2010-ben a fizika népszerűsítéséért: *Jarosievitz Beáta, Wöller Lászlóné* és *Bigus Imre,* a fizika tehetségeinek gondozásáért: *Bülgözdi László* és *Somogyi Sándor.*

Az Alapítvány a Magyar Természettudományos Oktatásért Rátz Tanár Úr Életműdíjat *Várnagy István* és *Vida József* kapták.

HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

„Nem tudjuk megakadályozni az álhírek kiszivárogtatását”

Nemrég egy internetes blog arról számolt be, hogy megtalálták a Higgs-bozont, forrásként a CERN LHC (Large Hadron Collider) egyik kísérletét jelölve meg. A hír természetesen álhír volt – ennek kapcsán beszélgetett a *New Scientist* riportere *James Gillies*-vel, a CERN sajtófőnökével.

– *Rossz dolog-e az ilyen kiszivárogtatás?*

– Az történt, hogy az analízis egy korai szakaszában szivárogtak ki az adatok. Ha valami kiszivárog és aztán kiderül hogy nem igaz, azt a benyomást kelti, hogy nem igazán tudjuk, mit csinálunk.

– *Minek kell történnie, mielőtt ez a információ nyilvánosságra kerül?*

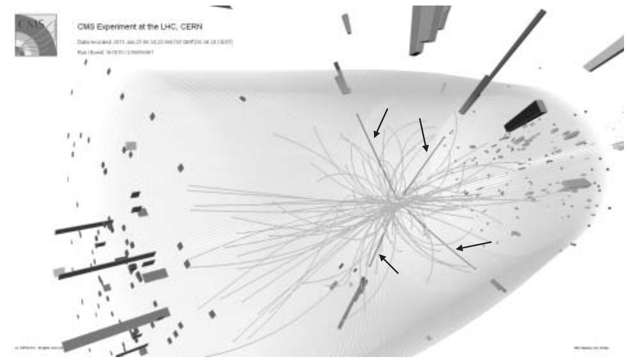
– A részecskefizikában kis munkacsoportok végzik az adatok elemzését, amelynek eredménye azután az együttműködés egésze elé kerül ellenőrzésre. Nagyon gyakran a kis csoporton nem is jut túl. Ha igen, akkor a teljes kollaboráció megvizsgálja. Ez lehet a történet vége, azonban ha kiállja a próbát, akkor egy szélesebb szakmai közösség elé kerül, és természetesen itt is megállhat a dolog. Nagyméretű együttműködéseknél azonban elkerülhetetlen, hogy az információ kiszivárogjon. Ilyen a dolog természete. Ezekben a kollaborációkban több mint 100 intézmény 3000 kutatója vesz részt.

– *Lesz-e boszorkányüldözés a CERN-ben a kiszivárgás miatt?*

– Ezt nem mondanám, de azért az emberek tudni akarják, mi történt és elvárják, hogy többé ilyen ne forduljon elő.

– *Mi fog történni, ha valaki a CERN-ben tényleg megtalálja a Higgs-részecskét?*

– Kidolgoztunk egy protokollt a szenzációs eredményekre vonatkozóan. Ha valamelyik kollaborációnak bejelentésre érdemes eredménye van, közölni kell a CERN főigazgatójával. Ez aztán az események egy láncolatát hozza mozgásba. Más kísérleteknek, amelyek ugyanazt a jelenséget vizsgálják, meg kell adni a lehetőséget, hogy megerősítsék az eredményt. Ha az eredmény nagyon nagy jelentőségű, mint például a szuperszimmetrikus részecske felfedezése, vagy a Higgs-bozoné, a többi laboratórium vezetőit, valamint az összes tagállamot informáljuk erről és megszervezünk a CERN-ben egy szemináriumot az eredmény bejelentésére.



Proton-proton ütközés a CMS detektorban, amelyben 4 nagy energiájú elektront (nyilakkal jelölt, sötét nyomvonalak) detektáltak. Az esemény azt a jelleget mutatja, amit a Higgs-bozon bomlásából várnánk, ugyanakkor megfelel a Standard Modell alapján várható, más folyamatokból származó eseményeknek is.

– *Ha a CERN-ben felfedezik a Higgs-bozont, kié lesz a felfedezés dicsősége?*

– Ez nehéz kérdés. Nem lehet a kutatók egy kis csoportját megjelölni, mint a múltban. Vegyük például az utolsó Nobel-díjat a CERN-ben. Mindenki egyetért abban, hogy a két kitüntetett, *Carlo Rubbia* és *Simon van der Meer* megérdemelte. Bár abban a projektben több száz kutató vett részt, e kettőnek köszönhető igazából az eredmény. Ma már ilyen helyzet nem létezik.

– *Származott-e valami jó is ebből a kiszivárogtatásból?*

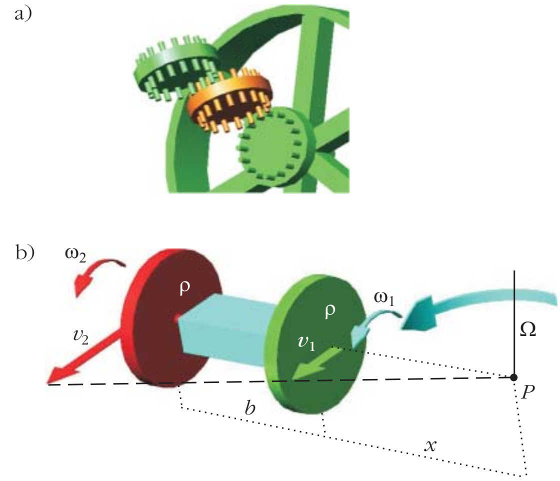
– A mostani, Higgs-részecskével kapcsolatos kiszivárogatás óta sok újságíróval beszélgettem, akik meg akarják érteni a felfedezés folyamatát a részecskefizikában. Ez rendkívül jó dolog. Az a tény, hogy az érdeklődés az eredmények iránt ilyen nagy, csak dicsérhető, és valamennyiünknek támogatnia kell ezt a hozzáállást.

(http://www.newscientist.com)

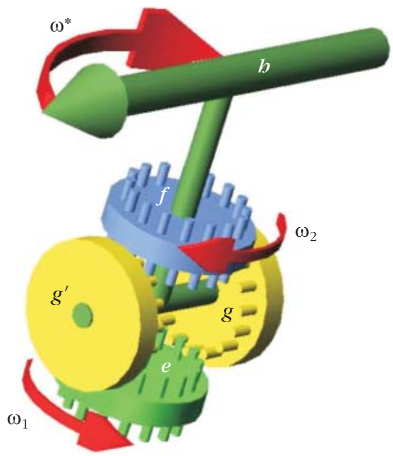
Szerkesztőség: 1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 29–33., 31. épület, II.emelet, 315. szoba, Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682
A Társulat Internet honlapja http://www.elft.hu, e-postacíme: mail.elft@gmail.com
Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Szatmáry Zoltán főszerkesztő.
Kéziratokat nem őrzünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.
Nyomdai előkészítés: Kármán Tamás, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Attila ügyvezető igazgató.
Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyszámlán.
Megjelenik havonta, egyes szám ára: 780.- Ft + postaköltség.
HU ISSN 0015–3257 (nyomtatott) és **HU ISSN 1588–0540** (online)

SZÍNESEN INFORMATÍVABB – a délirányt jelző kordé

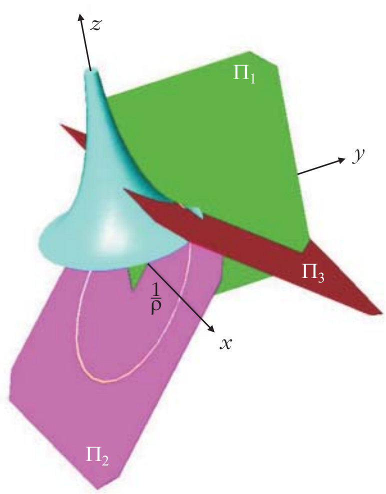
A délirányt jelző kordé mechanizmusa



Pálcás fogaskerekek / A síkon mozgó kordé sebességei



Az irányjelző differenciálműve



A pszeudoszféra főgörbületei

ОГЛАВЛЕНИЕ

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT
megjelenését anyagilag támogatják:
Nemzeti Kulturális Alap
paksi atomerőmű
Nemzeti Civil Alapprogram
A FIZIKA BARÁTAI

ISSN 0015325-7
9 770015 325009 11007